

Міністерство освіти і науки України  
Чернігівський промислово-економічний коледж  
Київського національного університету технологій та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з НР

\_\_\_\_\_ С.В.Бондаренко

\_\_\_\_\_ 2016 р.

**Методичні вказівки щодо організації  
самостійної роботи студентів III курсу  
Основи промислової електроніки,  
мікропроцесорної техніки та автоматики  
спеціальності 5.05070104 «Монтаж і експлуатація  
електроустаткування підприємств і цивільних споруд»**

Уклав

В.В. Олійник

Розглянуто на засіданні  
циклової комісії  
спеціальних електротехнічних дисциплін  
Протокол № 1 від 30.08. 2016 року

Голова циклової комісії

В.В. Олійник

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №1

### ТЕМА: ОСНОВНІ ВИДИ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДІОДІВ

МЕТА: оволодіти знаннями про основні види діодів

#### Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Випрямляючі діоди.
- 2 Імпульсні діоди.
- 3 Стабілітрони
- 4 Варикапи.
- 5 Світлодіоди.
- 6 Фотодіоди

#### Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Главное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

#### Питання для самоконтролю.

- 1 Будова принцип дії випрямляючих діодів.
- 2 Будова принцип дії імпульсних діодів.
- 3 Будова принцип дії стабілітронів
- 4 Будова принцип дії варикапів.
- 5 Будова принцип дії світлодіодів.
- 6 Будова принцип дії фотодіодів

### 1. Основні види напівпровідникових діодів(тунельні, високочастотні, імпульсні, фотодіоди, світлодіоди, варикапи, випрямляючі площинні, точкові)

**Випрямні діоди.** У випрямлячах змінної напруги найбільше застосування знаходять германієві і кремнієві напівпровідникові діоди. Основними методами одержання р-п переходів для випрямних діодів є сплавлення і дифузія.

Конструкція малопотужного сплавного кремнієвого діода показана на рис. 1.1, а. Електронно-дірковий перехід утворюється вплавленням алюмінію в кремній. Платівка кремнію з р-п переходом припаюється до кристалотримача, що є корпусом діода. До кристалотримача приварюється корпус зі скляним ізолятором, через котрий проходить вивід алюмінієвого електрода.

У дифузійних діодах р-n перехід створюється при високій температурі дифузією домішки в кремній або германій з середовища, що містить пари домішкового матеріалу. Конструкції дифузійних та сплавних випрямних діодів аналогічні.

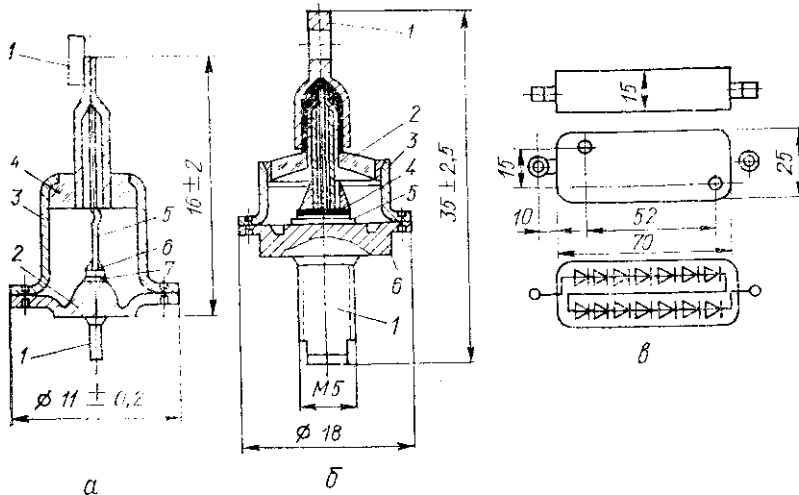


Рис. 6.1. Конструкція випрямительних діодів:

а — сплавной маломощный кремниевый диод (1 — внешние выводы; 2 — кристаллодержатель; 3 — корпус; 4 — стеклянный изолятор; 5 — алюминиевая проволока; 6 — кристалл; 7 — припой); б — мощный выпрямительный диод (1 — внешние выводы; 2 — стеклянный изолятор; 3 — корпус; 4 — кристалл; 5 — припой; 6 — кристаллодержатель); в — выпрямительный столб

Малопотужні випрямні діоди мають відносно невеликі габарити і масу і за допомогою гнучких висновків монтуються в схему. У потужних діодів кристалотримач є масивна тепловідвідна основа з гвинтом і плоскою зовнішньою поверхнею для забезпечення надійного теплового контакту із зовнішнім тепловідводом (рис. 6.1, б). Між кристалом і підставою зазвичай

поміщують платівку з вольфраму або підступний, що має приблизно такий же коефіцієнт лінійного розширення, як і матеріал кристала. Це сприяє зменшенню механічних напружень в кристалі при зміні температури.

Випрямні стовпи представляють собою кілька спеціально підібраних діодів, з'єднаних послідовно і залитих епоксидної смолою. Зовнішній вигляд і схематичне пристрій типового випрямного стовпа показані на рис. 6.1, ст.

Робота напівпровідникового випрямного діода заснована на властивості р-n переходу пропускати струм тільки в одному на-правлінні.

Основною характеристикою напівпровідникових діодів яв-відразу оформляете я вольтам Пернія характеристика. Для порівняння на рис.

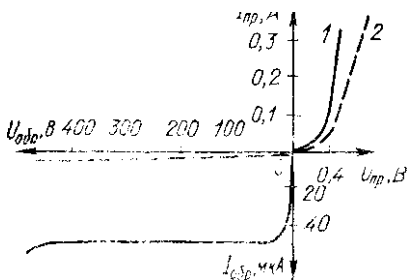


Рис. 1,2 Зрівнювальні вольт амперні характеристики германієвого 1) та кремнієвого (2) діодів

1.2 приведені типові вольт-амперні характеристики германієвого і кремнієвого діодів. Кремнієві діоди мають у багато разів менші зворотні струми при однаковій напрузі, чим германієві. Допустима зворотна напруга кремнієвих діодів може досягати 1000..1500 В, тоді як у германієвих воно лежить в межах 100..400 В. Кремнієві діоди можуть працювати при температурах - 60.. 150 °З, а германієві - 60.. 85 °С. Це обумовлено тим, що при температурах вище 85°З різко збільшується власна провідність германію, що призводить до неприпустимого зростання зворотного струму. В той же час пряме падіння напруги у кремнієвих діодів більше, ніж у германієвих. Це пояснюється тим, що у германієвих діодів можна отримати величину опору в прямому напрямі в 1,5-2 рази меншу, ніж у кремнієвих, при однаковому струмі навантаження. Тому потужність, що розсіюється усередині германієвого діода в стільки ж разів менше. У зв'язку з цим ст. випрямних пристроях низької напруги вигідніше застосовувати германієві діоди.

**До основних стандартизованих параметрів випрямних діодів відносяться:**

**Середній прямиий струм  $I_{пр,ср}$**  - середнє за період значення прямого струму.

**Максимально допустимий середній прямий струм  $I_{ен.ср.мах}$**

**Середній випрямлений струм  $I_{ен.ср}$**  - середнє за період значення випрямленого струму, що протікає через діод (з урахуванням зворотного струму).

**Максимально допустимий середній випрямлений струм  $I_{вп.ср.мах}$**

**Постійна пряма напруга  $U_{пр}$**  - значення постійної напруги на діоді при заданому постійному прямому струмі.

**Середня пряма напруга  $U_{пр.ср}$**  - середнє за період значення прямої напруги при заданому середньому значенні прямого струму.

**Постійна зворотна напруга  $U_{обр}$**  - значення постійної напруги, прикладеної до діода у зворотному напрямі.

**Максимально допустима постійна зворотна напруга  $U_{обр.мах}$**

**Максимально допустима імпульсна зворотна напруга  $U_{обр.і.мах}$**

**Постійний зворотний струм  $I_{обр}$**  - значення постійного струму, що протікає через діод у зворотному напрямі при заданій зворотній напрузі.

**Середній зворотний струм  $I_{обр.ср}$**  - середнє за період значення зворотного струму.

При розробці випрямних схем може виникнути необхідність отримати випрямлений струм, що перевищує гранично допустиме значення для одного діода. В цьому випадку застосовують паралельне включення однотипних діодів (мал. 1.3, а).

Для вирівнювання струмів, що протікають через діоди, послідовно з діодами включаються омичні додаткові резистори  $R_{доб}$  близько декількох ом.

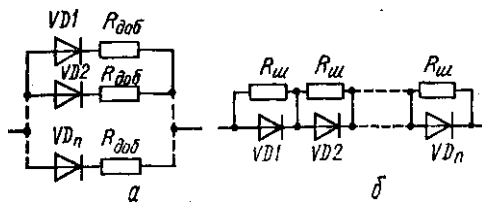


Рис. 1.3. Паралельне (а) і послідовне (б) з'єднання випрямних діодів

Це дозволяє штучно зрівняти прямі опори діодів, які для різних зразків приладів можуть бути істотно різними. У високовольтних ланцюгах часто використовують послідовне з'єднання діодів (мал. 1.3, б). При такому з'єднанні напруга розподіляється між усіма діодами. Для забезпечення надійної роботи діодів паралельно кожному з них слід включити резистор (близько 100 кОм) для вирівнювання зворотних опорів. В цьому випадку напруга на усіх діодах буде рівною.

### Кремнієві стабілітрони

Явище електричного пробою, небезпечне для звичайних діодів, знаходить корисне застосування в кремнієвих площинних діодах, що дістали назву кремнієвих стабілітронів, або опорних діодів.

При виготовленні стабілітронів найширше використовуються сплавною і дифузійно-сплавні методи отримання р-п переходів. Початковим матеріалом при виготовленні стабілітрона служить пластинка кремнію

n -типа. У неї вплавляється алюміній, що є акцепторною домішкою для кремнію. Кристал з р-п переходом поміщається зазвичай в герметизований металевий корпус (мал. 6.4).

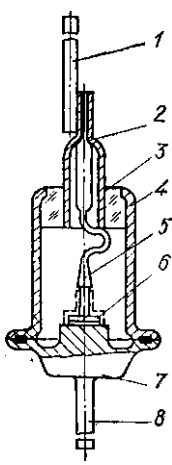


Рис. 6.4. Конструкция кремниевого стабилитрона:  
 1, 8 — внешние выводы; 2 — трубка; 3 — изолятор; 4 — корпус; 5 —  
 внутренний вывод; 6 — кристалл с переходом; 7 — кристаллодержатель

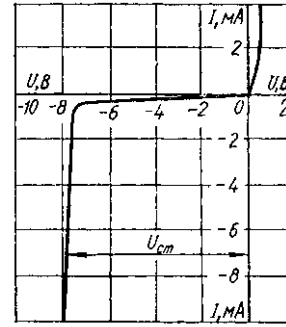


Рис. 6.5. Вольтамперная характеристика кремниевого стабилитрона

Нормальним режимом роботи стабілітронів є робота при зворотній напрузі, що відповідає оборотному електричному пробію р-п переходу.

Слід зазначити, що ефект Зенера і лавинний механізм електричного пробію р-п переходу спостерігаються як у кремнієвих, так і у германієвих діодів. Проте виділення тепла, супроводжуюче ці процеси, приводить для германію до додаткової теплової генерації носіїв заряду, що спотворює картину лавинного пробію. Тому в якості матеріалу для напівпровідникових стабілітронів використовується кремній, що має вищу температурну стабільність.

Найважливішою характеристикою стабілітрона є його *вольт-амперна характеристика* (мал. 6.5). У прямому напрямі вольт-амперна характеристика стабілітрона практично не відрізняється від прямої гілки будь-якого кремнієвого діода. Зворотна гілка її має вид прямої вертикальної лінії, що проходить майже паралельно осі струмів. Тому при зміні в широких межах струму падіння напруги на приладі практично не змінюється. Ця властивість кремнієвих діодів і дозволяє використовувати їх як стабілізатори напруги.

Оскільки електричний пробій настає при порівняно низькій зворотній напрузі, потужність, що виділяється в р-п переході навіть при значних зворотних струмах, буде невелика, що оберігає р-п перехід від теплового (безповоротного) пробію. Перевищення гранично допустимого зворотного струму стабілітрона приводить, як і в звичайних діодах, до виходу приладу з ладу.

**Основними параметрами кремнієвих стабілітронів є:**

**Напруга стабілізації  $U_{cm}$**  - падіння напруги на стабілітроні в області стабілізації при номінальному значенні струму.

**Мінімальний струм стабілізації  $I_{ст. min}$**  - таке значення струму через стабілітрон, при якому виникає стійкий пробій.

**Максимальний струм стабілізації  $I_{ст. max}$**  - найбільше значення струму через стабілітрон, при якому потужність, що розсіюється на стабілітроні, не перевищує допустимого значення.

**Диференціальний опір  $r_{ст}$**  - відношення приросту напруги на стабілітроні до приросту струму в режимі стабілізації

$$r_{ст} = \Delta U_{cm} / \Delta I_{ст}$$

Величина  $r_{ст}$  характеризує міру стабільності напруги стабілізації при зміні струму пробію.

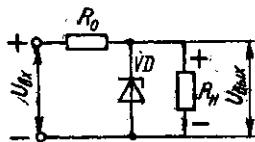


Рис. 6.6. Схема стабилизатора постоянного напряжения на кремниевом стабилитроне

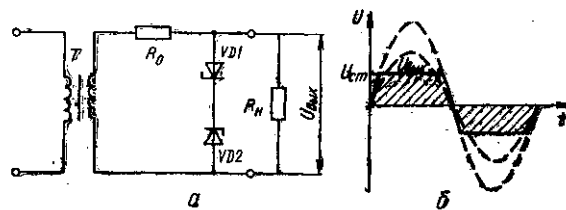


Рис. 6.7. Стабилизатор переменного напряжения (а) и форма его выходного напряжения (б)

Максимальна потужність розсіювання  $P_{max}$  - найбільша потужність, що виділяється в р-п переході, при якій не виникає тепловий пробій переходу.

Температурний коефіцієнт напруги стабілізації  $\alpha_{см}$  - відношення відносної зміни напруги стабілізації до абсолютної зміни температури довкілля (виражається в %/град).

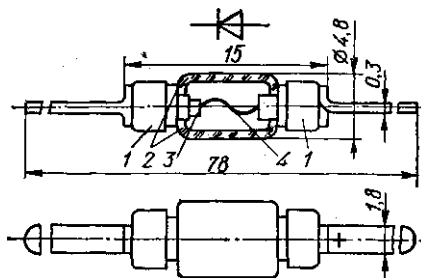
$$\alpha_{см} = \Delta U_{см} / (U_{см} \Delta T)$$

Найбільш проста, але досить поширена схема стабілізатора постійної напруги на кремнієвому стабилітроні приведена на мал. 6.6. Схема є дільником напруги, що складається з резистора  $R_0$  і стабилітрона VD. При зміні живлячої напруги  $U_{вх}$  напруга на стабилітроні і на навантаженні  $R_н$  змінюється трохи, в чому і виражається стабілізуюча дія схеми.

Одна з можливих схем стабілізатора змінної напруги на кремнієвих стабилітронах приведена на мал. 6.7, а. Напруга мережі через трансформатор Т поступає в схему, що складається з резистора  $R_0$  і зустрічно включених стабилітронів VD1 і VD2. Змінна напруга обмежується на рівні напруги стабілізації  $U_{см}$  стабилітронів VD1 і VD2. В результаті цього на виході виходить напруга  $U_{вих}$  трапецеїдальної форми (мал. 6.7, б). При зміні величини вхідної напруги амплітуда вихідної напруги залишається постійною, а діюче значення міняється трохи (за рахунок деякої зміни площі трапецій).

### 6.3. Високочастотні діоди

Високочастотні діоди - прилади універсального призначення. Вони можуть бути використані для випрямлення, детектування і інших нелінійних перетворень електричних сигналів в діапазоні частот до 600 МГц. Високочастотні діоди виготовляються, як правило, з германію або кремнію і мають точкову



Мал. 6.8. Конструкція точкового діода :

1 - виводи; 2 - скляний балон; 3 - кристал германію; 4 - електрод з вольфрамового дроту

структуру. Конструкція точкового германієвого діода показана на мал. 6.8. Діод складається з кристала германію, припаяного до кристалотримача, контактного електроду у вигляді тонкого вольфрамового зволікання і скляного балона. Розміри кристала складають 1 X 1 X 0,2 мм. Радіус області зіткнення зволікання з германієм зазвичай не перевищує 5- 7 мкм.

Для отримання р-п переходу діод в процесі виготовлення піддають струмовому формуванню. З цією метою через нього в прямому напрямі пропускається короткочасний імпульс струму величиною до 400 мА. В результаті формування тонкий шар напівпровідника, що примикає до вістря, придбаває діркову провідність,

а на межі між цим шаром і основною масою пластинки виникає р-п перехід. Така конструкція діода забезпечує невелику величину місткості р-п переходу (не більше 1 пФ), що дозволяє ефективно використовувати діод на високих частотах. Проте мала площа контакту між частинами напівпровідника з провідністю типу п і р не дозволяє розсіювати в області р-п переходу значні потужності. Тому точкові діоди менш потужні, чим площинні, і не використовуються у випрямлячах, розрахованих на велику напругу і струми. Вони застосовуються, головним чином, в схемах радіоприймальної і вимірювальної апаратури, працюючої на високих частотах, а також у випрямлячах на напругу не вище декількох десятків вольт при струмі близько десятків міліампер.

Включення високочастотних точкових діодів в схему принципово не відрізняється від включення площинних випрямних діодів. Аналогічний і принцип роботи точкового діода, заснований на властивості односторонньої провідності р-п переходу. Типова вольт-амперна характеристика точкового діода показана на мал. 6.9, а. Зворотна гілка характеристики точкового діода значно відрізняється від відповідної гілки характеристики площинного діода. Зважаючи на малу площу р-п переходу зворотний струм діода малий, ділянка насичення невелика і не так різко виражений. При збільшенні зворотної напруги зворотний струм зростає майже рівномірно. Вплив температури на величину зворотного струму позначається слабкіше, ніж в площинних діодах, - подвоєння зворотного струму відбувається при прирості температури на 15-20 °С (мал. 6.9, б). Нагадаємо, що в площинних р-п переходах зворотний струм зростає приблизно в 2-2,5 разу при підвищенні температури на кожні 10 °С.

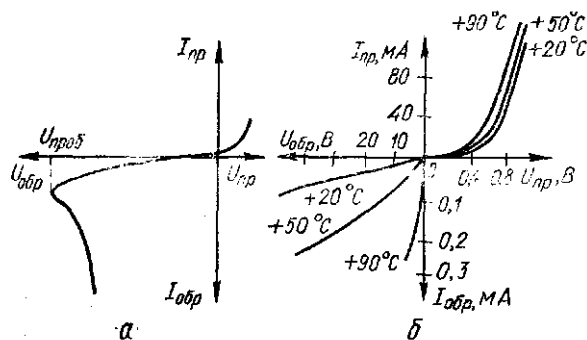


Рис. 6.9. Вольтамперная характеристика точкового діода (а) и ее зависимость от изменения температуры (б)

Властивості високочастотних діодів характеризують параметри, аналогічні вказаним в параграфі 6.1. Істотне значення для оцінки властивостей високочастотних діодів мають:

*Загальна місткість діода*  $C_d$  - місткість, виміряна між выводами діода при заданих напрузі зміщення і частоті.

*Диференціальний опір*  $r_{дкф}$  - відношення приросту напруги на діоді до малого приросту струму, що викликав його.

*Діапазон частот  $\Delta f$*  - різниця граничних значень частот, при яких середній випрямлений струм діода не менш заданої долі його значення на нижчій частоті.

Високочастотні точкові діоди можуть бути використані в схемах детектування, в якості обмежувачів, нелінійних опорів, комутаційних елементів і т. п.

Останніми роками усе більше застосування знаходять діоди, засновані на випрямлячій дії контакту метал - напівпровідник - так звані *діоди Шотки*. На відміну від звичайних точкових діодів, у яких контакт здійснюється притиском

металевої голки, у діодів Шотки контакт є тонкою плівкою металу (золото, нікель, алюміній, платина, вольфрам, молібден, ванадій та ін.). Як було показано вище прилади, що використовують контакт метал - підлозі-провідник, працюють на основних носіях заряду, що дозволяє істотно зменшити їх інерційність, а отже, підвищити швидкодію. Час перемикання діодів Шотки із замкнутого стану у відкрите і навпаки визначається малою величиною бар'єрної місткості, яка зазвичай не перевищує 0,01 пФ.

Основна перевага діодів Шотки в порівнянні з діодами на р-п переходах - можливість набуття менших значень прямого опору контакту, оскільки металевий шар за цими властивостями перевершує будь-кого, навіть сильно легований шар напівпровідника.

Малий прямиий опір і невелика місткість бар'єру Шотки дозволяє діодам працювати на надвисоких частотах. Типовий діапазон робочих частот складає 5-250 ГГц, а час перемикання - менше 0,1 нс. Зворотні струми діодів Шотки малі і складають декілька мікроампер. Зворотна напруга лежить в інтервалі 10.. 1000 В.

Слід зазначити, що діоди Шотки набули поширення порівняно недавно (на початку 70-х років), хоча їх теорія налічує більше 50 років. Це пояснюється тим, що лише останніми роками, завдяки вдосконаленню технології виробництва напівпровідникових приладів і інтегральних мікросхем, вдалося отримати бар'єри Шотки з характеристиками і параметрами, близькими до ідеальних.

#### 6.4. Імпульсні діоди

Імпульсні діоди призначені для роботи в швидкодіючих імпульсних схемах з часом перемикання 1 мкс і менш. При таких коротких робочих імпульсах доводиться враховувати інерційність процесів включення і виключення діодів і вживати конструктивно-технологічні заходи, спрямовані на зниження бар'єрної місткості і скорочення часу життя неврівноважених носіїв заряду в області р-п переходу.

За способом виготовлення р-п переходу імпульсні діоди підрозділяються на точкові, сплавні, зварні і дифузійні (меза і планерні).

Конструкція точкових імпульсних діодів практично не відрізняється від конструкції звичайних високочастотних діодів. В деяких випадках для поліпшення характеристик діода на вістря контактної голки наносять домішку (зазвичай індій або алюміній), що утворює акцепторні центри в германії і кремнії я-типа. В процесі електроформування приконтатна область напівпровідника сильно нагрівається і безпосередньо під вістрям голки утворюється невелика по розмірах р-область.

У сплавних діодах р-п перехід отримують вплавленням в кристал напівпровідника електронної провідності шматочка сплаву,

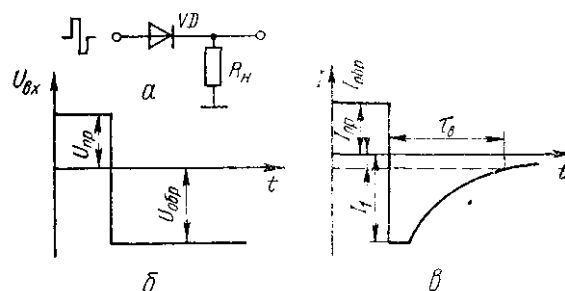


Рис. 6.11. Схема включення (а) и осциллограммы входного напряжения (б) и тока (в) импульсного диода



що містить атоми акцепторної домішки. Межа між початковим монокристалом і сильно легованим р-шаром р-п перехід. Зазвичай такий метод використовується при виготовленні кремнієвих імпульсних діодів. При створенні аналогічних германієвих діодів замість методу сплаву використовують метод імпульсного зварювання. В цьому випадку до кристала германію підводиться тонка золота (з присадкою галію) голка і через отриманий контакт пропускається імпульс струму великої амплітуди, внаслідок чого кінець золотої голки зварюється з германієм.

Найбільш швидкодіючі імпульсні діоди отримують методом дифузії донорних або акцепторних домішок в твердий напівпровідник. Проникаючи на деяку глибину напівпровідника, дифундуючи атоми міняють тип провідності цієї частини кристала, внаслідок чого виникає р-п перехід. Після отримання дифузійної структури здійснюють те, що хімічне труїть поверхні напівпровідника, після якого р-п перехід зберігається тільки усередині невеликої області яка височіє над іншою поверхнею у вигляді столика (меза). Такий вид кристала називають мезаструктурою. Місткість р-п переходів мезадіодів нижча, а напруга пробною вища, ніж у сплавних або зварних діодів. Час перемикавання мезадіодів не перевищує 10 нс.

Дуже перспективними є діоди, отримані за допомогою планарно-епітаксіальної технології. При їх виготовленні домішка вводиться в напівпровідник (зазвичай кремній) локально - через "вікна" в захисній окисній плівці SiO<sub>2</sub>. Що виходять при цьому р-п переходи відрізняються високою стабільністю параметрів і надійністю.

Проста схема включення імпульсного діода приведена на мал. 6.11, а. Під впливом вхідного імпульсу позитивної полярності (мал. 6.11, б) через діод протікає прямий струм, величина якого визначається амплітудою імпульсу, опором навантаження і опором відкритого діода. Якщо на діод, через який протікає прямий струм, подати зворотну напругу так, щоб його замкнути, то діод закривається не миттєво (мал. 6.11, в). У перший момент спостерігається різке збільшення зворотного струму  $I_1$  через діод і лише поступово з часом він зменшується і досягає сталого значення  $I_{обр}$ . Вказане явище пов'язане із специфікою роботи р-п переходу і є проявом так званого *ефекту накопичення*. Суть цього ефекту полягає в наступному. Під час протікання прямого струму через р-п перехід здійснюється інжекція носіїв. В результаті інжекції в безпосередній близькості до переходу створюється концентрація неосновних неврівноважних носіїв яка у багато разів перевищує концентрацію рівноважних неосновних носіїв в області р-п переходу : чим більше концентрація неосновних носіїв, тим більше зворотний струм. Час життя неврівноважних носіїв обмежений - поступово їх концентрація зменшується як за рахунок рекомбінації, так і за рахунок відходу через р-п перехід. Тому через деякий час ( $\tau_g$  на мал. 6.11, в) неврівноважні неосновні носії зникнуть; зворотний струм відновиться до нормального значення  $I_{обр}$ .

Основною характеристикою імпульсних діодів є їх перехідна характеристика. Вона відбиває процес відновлення зворотного струму і зворотного опору діода при дії на нього імпульсної напруги зворотної полярності (див. мал. 6.11, в).

Основні параметри імпульсних діодів :

*Час відновлення зворотного опору*  $\tau_g$  - інтервал часу від моменту проходження струму через нуль після перемикавання діода із заданого прямого струму в стан заданої зворотної напруги до моменту досягнення зворотним струмом заданого низького значення.

*Заряд перемикавання*  $Q_{пк}$  - частина накопиченого заряду, витікаюча в зовнішній ланцюг при зміні напрямку струму з прямого на зворотне.

Загальна місткість  $C_d$  - місткість, виміряна між виводами діода при заданих напрузі зміщення і частоті.

Імпульсна пряма напруга  $U_{np.u}$  - пікове значення прямої напруги на діоді при заданому імпульсі прямого струму.

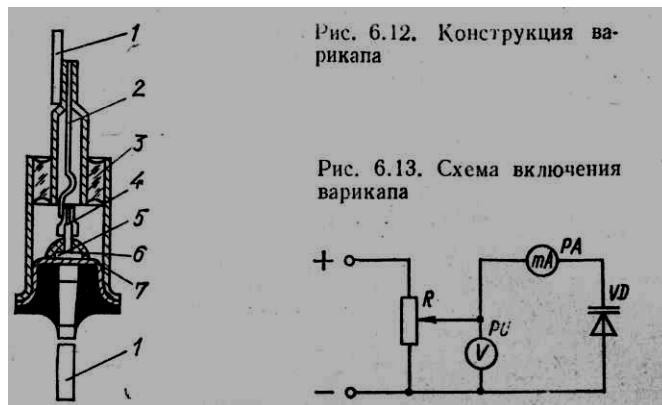
Імпульсний прямий струм  $I_{np.u}$  - пікове значення імпульсу прямого струму при заданій тривалості, шпаруватості і формі.

Для імпульсних діодів вказують також величину постійної прямої напруги  $U_{np}$  при протіканні постійного струму  $I_{np}$  і величину зворотного струму  $I_{обр}$  при заданій величині зворотної напруги  $U_{обр}$ . Граничні режими визначаються величиною максимально допустимої постійної зворотної напруги  $U_{обр.max}$ , максимально допустимою величиною імпульсної зворотної напруги  $U_{обр.u.max}$ , а також величинами максимально допустимого постійного прямого струму  $I_{np.max}$  і максимально допустимого імпульсного прямого струму /ін.  $I_{np.max}$ .

Імпульсні діоди широко застосовуються в імпульсних схемах самого різного призначення, наприклад в логічних схемах електронних цифрових обчислювальних машин.

## 6.5. Варикапи

Варикапами називають напівпровідникові діоди, у яких використовується бар'єрна місткість замкнутого р-п переходу, залежна від величини прикладеної до діода зворотної напруги. Конструкція варикапа показана на мал. 6.12. У кристал кремнію 5



з одного його боку вплавив у вакуумі алюмінієвий стовпчик 4 для отримання р-п переходу, а з іншого боку - сплав золото - сурма для отримання омичного контакту 6. Ця структура вплавляється у вакуумі в коваровий позолочений кристалотримач 7. До алюмінієвого стовпчика прикріплений внутрішній вивід 2. З'єднаний кристалотримача з балоном 3 і виводом 1 здійснюється сплавом у водні.

Для використання властивостей варикапа до нього потрібна підвести зворотна напруга (мал. 6.13).

Як відомо, за відсутності зовнішньої напруги між р- і n- областями існують контактна різниця потенціалів (потенційний бар'єр) і внутрішнє електричне поле. Якщо до діода прикласти зворотну напругу  $U_{зс}$  (мал. 6.14, а), то висота потенційного бар'єру між р- і n- областями зросте на величину прикладеної напруги (мал. 6.14, б),

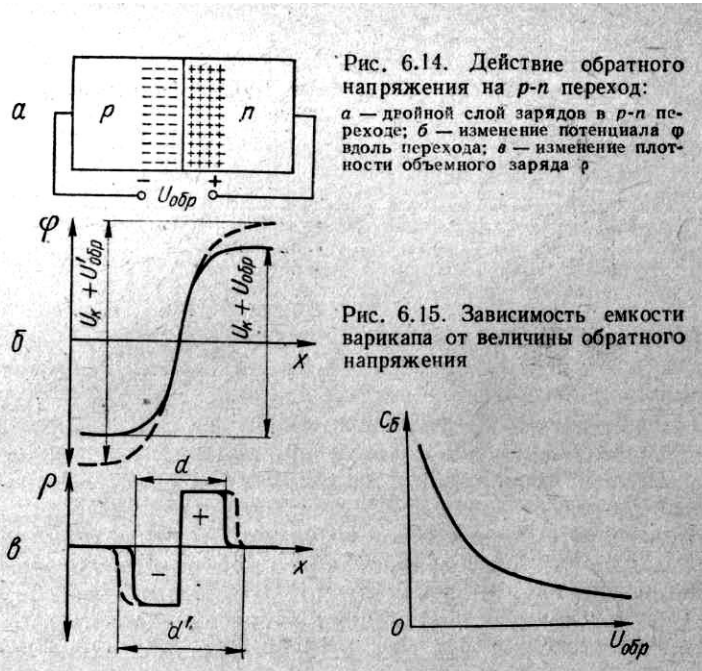
зросте і напруженість електричного поля в р-n переході. Зовнішня зворотна напруга відштовхує електрони глибше всередину n-область, а дірки - всередину р-область.

Таким чином, зміна зворотної напруги, прикладеної до р-n переходу, призводить до зміни бар'єрної місткості між р- і n -областями. Величина бар'єрної місткості діода Сб, може бути визначена з формули

$$C_b = \frac{\epsilon S}{4\pi d'}$$

де  $\epsilon$  - відносна діелектрична проникність напівпровідника; S - площа р-n переходу; d' - ширина р-n переходу.

Формула (6.3) аналогічна формулі для місткості плоского конденсатора. Проте, незважаючи на схожість цих формул, між бар'єрною місткістю і місткістю конденсатора є принципова відмінність. У звичайному конденсаторі відстань між його пластинами, а отже, і його місткість не залежать від напруги, прикладеного до конденсатора. Ширина ж р-n переходу залежить від величини прикладеної до нього напруги, отже, бар'єрна місткість залежить від напруги: при зростанні замикаючої напруги ширина р-n переходу збільшується, а його бар'єрна місткість зменшується.



Основною характеристикою варикапа є залежність його ємності від величини зворотної напруги (*вольт амперна характеристика*). Типова характеристика  $C_b = f(U_{зв})$  показана на мал. 6.15. Залежно від призначення величина номінальної ємності варикапів може бути в межах від декількох пікофарад до сотень пікофарад. Залежність місткості варикапа від прикладеної напруги визначається технологією виготовлення р-nпереходу.

### Параметри варикапів :

**Номінальна ємність** - Сном- ємність між - виводами варикапа при номінальній напрузі зміщення (зазвичай  $U_{см} = 4$  В).

**Максимальна ємність** - Стах- місткість варикапа при заданій напрузі зміщення.

**Мінімальна місткість** Смін - місткість варикапа при заданій максимальній напрузі зміщення.

*Коефіцієнт перекриття* -  $K_c$  - відношення максимальною ємності діода до мінімальної.

*Добротність*  $Q$  - відношення реактивного опору варикапа до повного опору втрат, виміряне на номінальній частоті при температурі  $20^\circ\text{C}$ .

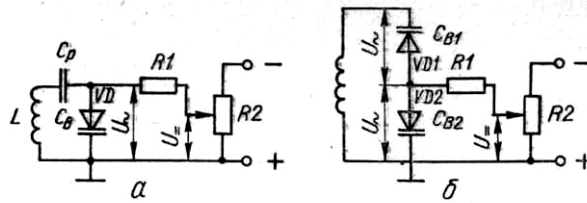


Рис. 6.16. Схеми електронної настройки коливальних контурів

*Максимально допустима напруга*  $U_{\text{max}}$  - максимальне миттєве значення змінної напруги, забезпечуюче задану надійність при тривалій роботі.

*Температурний коефіцієнт місткості* (ТКЕ) - відношення відносної зміни ємності при заданій напрузі до абсолютної зміни температури довкілля.

*Максимально допустима потужність*  $P_{\text{max}}$  - максимальне значення потужності, що розсіюється на варикапі, при якому забезпечується задана надійність при тривалій роботі.

Основне застосування варикапа - електронне налаштування коливальних контурів. На мал. 6.16, а приведена схема включення варикапа в коливальний контур. Контур утворений індуктивністю  $L$  і місткістю варикапа  $C_v$ . Розділовий конденсатор  $C_p$  служить для того, щоб індуктивність  $L$  не закорочувала варикап по постійному струму. Місткість конденсатора  $C_p$  має бути в декілька десятків разів більше місткості варикапа.

Постійна напруга  $U$ , що управляє, подається на варикап з потенціометра  $R_2$  через високоомний резистор  $R_1$ . Перебудова контуру здійснюється переміщенням движка потенціометра  $R_2$ .

Ця схема має істотний недолік - напруга високої частоти впливає на варикап, змінюючи його місткість. Це веде до розладу контуру. Включення варикапів за схемою, показанийній на мал. 6.16, б, дозволяє значно зменшити розлад контуру при дії змінної напруги. Тут варикапи включені по високій частоті послідовно один назустріч одному.

## 6.6. Тунельні діоди

*Тунельним називається напівпровідниковий діод, в якому використовується тунельний механізм перенесення носіїв заряду через p-n перехід і в характеристиці якого є область негативного диференціального опору.*

Для виготовлення тунельних діодів використовуються германій, арсенід і антимонід галію. Найбільш широкого поширення набули германієві тунельні діоди.

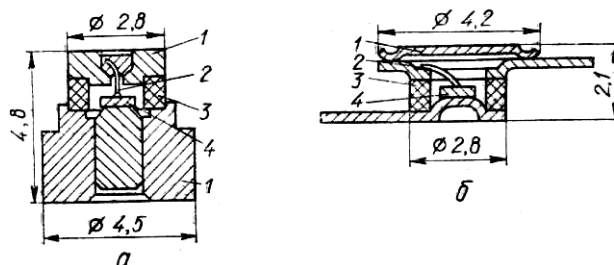


Рис. 6.17. Конструкція тунельних діодів:  
1 - виводи; 2 - контактна проволочка; 3 - керамічна ступка; 4 - кристал полупровідника

Незалежно від початкового матеріалу основним способом виготовлення р-п переходу тунельних діодів є вплавлення. Після вплавлення переходу для зменшення його площі (що потрібне для поліпшення частотних властивостей приладу) перехід піддають електролітичному труїнню. Потім діод поміщають в металокерамічний корпус, що має гнучкі виводи. Конструкції деяких тунельних діодів показані на мал. 6.17, а, би.

Властивості тунельного діода визначаються формою його вольт-амперної характеристики, для зняття якої може бути використана схема, приведена на мал. 6.18, а. Нагадаємо лише, що на ділянці А б вольт-амперної характеристики (мал. 6.18, б) тунельний діод може бути еквівалентно замінений деяким негативним опором певної величини.

Проте тунельний діод сам по собі не може бути генератором електричної енергії, оскільки це суперечить закону збереження енергії. Річ у тому, що негативний опір служить зручним математичним символом, а не реальною фізичною величиною, і означає лише, що на деякій ділянці вольт амперної характеристики приладу збільшення напруги зменшує струм (і навпаки). Усі відомі прилади можуть посилювати і генерувати електричні сигнали лише при подачі на них енергії від зовнішніх джерел (акумуляторів, батарей). У таких пристроїв до. п. д. завжди менше одиниці, а негативний опір в них виконує функцію автоматичного (у генераторах) або такого, що управляє зовнішнім сигналом (у підсилювачах) клапана, регулюючого вступ електричної енергії від джерела живлення в навантаження.

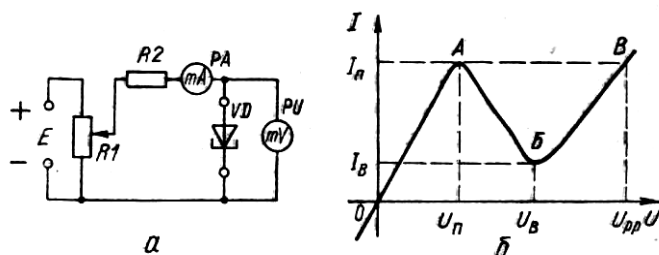


Рис. 6.18. Схема включення (а) и вольтамперная характеристика (б) туннельного диода

Важлива перевага тунельного діода перед звичайними напівпровідниковими приладами полягає в його дуже високий робочій частоті. Це пояснюється тим, що тунельний перехід електронів відбувається практично миттєво - порядку  $10^{11}$  Гц. тунельні діоди, що виготовляються нині, можуть працювати на частотах до 10й Гц.

Внаслідок того, що при тунельному переході електрони не витрачають своєї енергії, тунельний діод може працювати при дуже низькій температурі, при якій звичайні напівпровідникові прилади перестають працювати. Тунельний діод може працювати також і при вищій температурі, ніж звичайні напівпровідникові прилади. Однією з переваг тунельних діодів є дуже мала споживана потужність (не більше 1 % потужності, споживаної звичайним напівпровідниковим приладом).

**Основними параметрами тунельних діодів є:**

*Піковий струм*  $I_p$  - прямий струм в точці максимуму вольтамперної характеристики (мал. 6.18, б).

*Струм западини*  $I_v$  - прямий струм в точці мінімуму вольтамперної характеристики.

*Напруга піку*  $U_p$  - пряма напруга, відповідна піковому струму.

Напруга западини  $U_v$  - пряма напруга, що відповідає мінімальному струму.

Напруга розчину  $U_{pp}$  - пряма напруга на другій висхідній гілці при струмі, рівному піковому.

Місткість діода  $C_d$  - сумарна місткість переходу і корпусу діода при заданій напрузі зміщення.

За призначенням тунельні діоди діляться на наступні основні групи: **підсилювальні, генераторні, перемикальні.**

Розглянемо роботу тунельного діода в перемикальній схемі. Основний у більшості перемикальних схем на тунельних діодах являється ланцюг, що є послідовним з'єднанням тунельного діода з іншими елементами. Приклад такого ланцюга показаний на мал. 6.19, а.

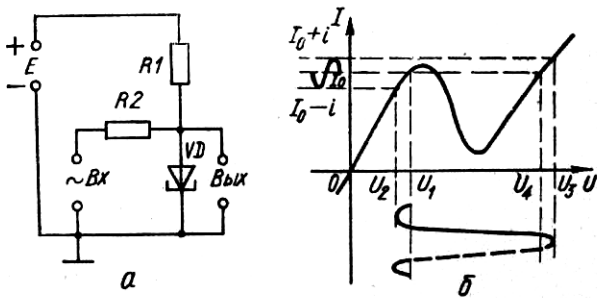


Рис. 6.19. Применение туннельного диода в режиме ключа:  
а — схема; б — графическое пояснение работы

До подачі змінного вхідного сигналу під дією зовнішньої напруги  $E$  в ланцюзі діода тече постійний струм  $I_0$ , а до діода прикладається напруга ярем  $U_1 = E - I_0 R_1$ . При подачі змінного сигналу залежно від його полярності струм в ланцюзі діода або зменшуватиметься на величину  $i$ , або збільшуватиметься на ту ж величину. При струмі  $I_0 - i$  на діоді буде напруга  $U_2$  (мал. 6.19, б), а при струмі  $I_0 + i$  - напруга  $U_3$ . Потім при мірі

зменшення струму на діоді падає до величини  $U_4$  і потім стрибком зміниться до  $U_1$ . В результаті при негативній напрузі сигналу напруга на діоді (і на виході) буде рівна  $U_2$ , а при позитивному значенні рівна  $U_3$ , причому  $U_3 > U_2$ . Ця різка різниця між величинами напруги на виході і дозволяє розглядати тунельний діод як прилад з двома стійкими станами, т. е. електронний ключ. Перехід з одного стійкого стану в інше здійснюється дуже швидко - за час  $10^{-9} \dots 10^{-8}$  с, у зв'язку з чим тунельні діоди принципово придатні для роботи в електронних обчислювальних машинах (у схемах тригерів, осередків, що запам'ятовують, логічних елементів і т. д.).

## Фотодіоди

Фотодіод є фотогальванічним приймачем випромінювання без внутрішнього посилення, фоточутливий елемент якого містить структуру напівпровідникового діода. Фотодіод поєднує в собі достоїнства напівпровідникових приладів (малі маса і розміри, великий термін служби, низька живляча напруга, економічність) з вищою чутливістю в порівнянні з електровакуумними фотоелементами і фоторезисторами.

Пристрій фотодіода аналогічно пристрою звичайного площинного напівпровідникового діода. На мал. 6.20 приведена конструкція типового фотодіода. Фотодіод виконаний так, що його р-п перехід однією стороною звернений до скляного вікна, через яке поступає світло, і захищений від дії світла з інших сторін.

Схема включення фотодіода приведена на мал. 6.21. Напруга джерела живлення прикладена до фотодіода у зворотному напрямі. Коли фотодіод не освітлений, в ланцюзі проходить зворотний (темневий) струм невеликої величини (10-20 мкА для германієвих і 1-2 мкА для кремнієвих діодів).

При освітленні фотодіода з'являється додаткове число електронів і дірок, внаслідок чого збільшується перехід

Рис. 6.20. Конструкция фотодиода:

1 — кристалл германия с р-п переходом; 2 — кристаллодержатель; 3 — металлический корпус; 4 — кольцо; 5 — вывод; 6 — металлическая трубка; 7 — стеклянный изолятор; 8 — оловянное кольцо; 9 — стеклянное окно

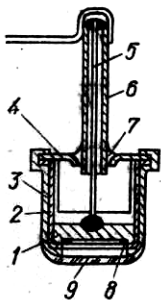
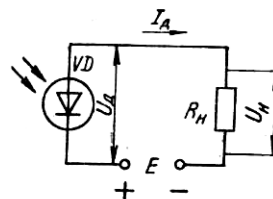


Рис. 6.21. Схема включения фотодиода



неосновних носіїв заряду : електронів з р- області в n- область і дірок у зворотному напрямі. Це призводить до збільшення струму в ланцюзі. При правильно підбраному опорі навантаження  $R_n$  і напрузі джерела живлення  $E$  цей струм залежатиме тільки від освітленості приладу, а падіння напруги на опорі можна розглядати як корисний сигнал, що впливає на інші елементи схеми.

Слід зазначити, що фотодіод можна включати в схеми як із зовнішнім джерелом живлення, так і без нього. Режим роботи фотодіода із зовнішнім джерелом живлення називають *фотодіодним*, а без зовнішнього джерела - *вентильним*.

У вентильному режимі у фотодіоді під дією світлового потоку виникає  $\mathcal{E}$ . д. е., тому він не потребує стороннього джерела напруги.

Розглянемо основні характеристики фотодіодів.

*Вольт-амперна характеристика*  $I_d = f(U_d)$  при  $\Phi = \text{const}$  визначає залежність струму фотодіода від напруги на нім при постійній величині світлового потоку (мал. 6.22, а). При повному затемненні ( $\Phi = 0$ ) через фотодіод протікає темновий струм  $I_m$ ,

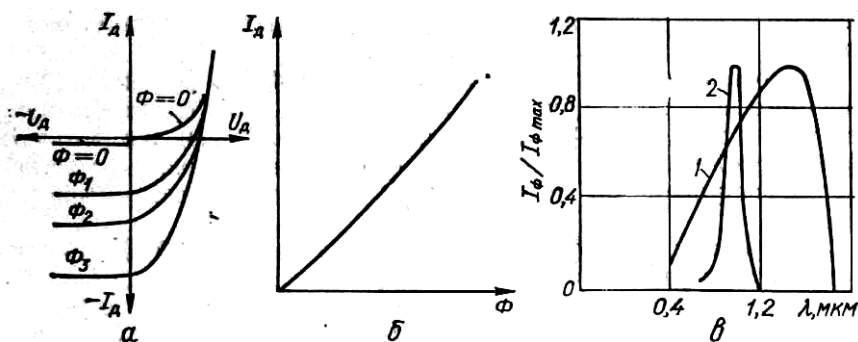


Рис. 6.22. Характеристики фотодиода:

а — вольтамперная; б — световая; в — спектральные (1 — германиевый фотодиод; 2 — кремниевый фотодиод)

рівний сумі зворотного струму насичення р-п переходу і струму витоку. З ростом світлового потоку  $I_d$  збільшується. Характерною особливістю робочої області вольт-амперних характеристик є практично повна незалежність струму фотодіода від прикладеної напруги. Такий режим настає при зворотній напрузі на діоді близько 1 В. Оскільки темновий струм малий, те відношення струму при освітленні до темного струму велике, що дуже важливо при індикації освітлення. Якщо зворотна напруга перевищить деяке допустиме значення, то в р-п переході виникає ефект лавиноподібного розмноження носіїв заряду, який може привести до виходу фотодіода з ладу.

*Світлова характеристика* зображує залежність струму фотодіода від величини світлового потоку при постійній напрузі на фотодіоді:  $I_d = f(\Phi)$  при  $U_d = \text{const}$ . У

широкому діапазоні змін світлового потоку світлова характеристика фотодіода виявляється лінійною (мал. 6.22, б).

*Спектральна характеристика* показує залежність спектральної чутливості від довжини хвилі світла, що падає на фотодіод. Спектральні характеристики германієвих і кремнієвих фотодіодів показані на мал. 6.22, в.

Параметри фотодіодів.

*Інтегральна чутливість*  $S_{\text{инт}}$  - відношення фотоструму діода до інтенсивності не монохроматичного випромінювання заданого спектрального складу, що падає, :  $S_{\text{инт}} = I_{\text{д}}/\Phi$ .

*Робоча напруга*  $U_p$ - постійна напруга, прикладена до фотодіода, при якому забезпечуються номінальні параметри при тривалій його роботі в заданих експлуатаційних умовах.

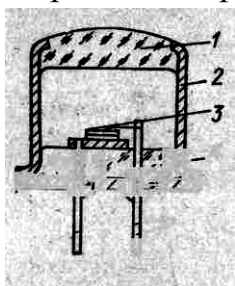
*Темновий струм*  $I_m$  - струм, що протікає через фотодіод при вказаній напрузі на нім у відсутність потоку випромінювання в діапазоні спектральної чутливості.

*Довговічність* - мінімальний термін служби фотодіода за нормальних умов експлуатації.

Фотодіоди, як і приймачі променистої енергії інших типів, широко застосовуються. Вони можуть використовуватися у фотометрії, фотоколориметрії, для контролю джерел світла, виміру інтенсивності освітлення, прозорості середовища, реєстрації і рахунку ядерних часток, автоматичного регулювання і контролю температури і інших параметрів, зміна яких супроводжується зміною оптичних властивостей речовини або середовища. Широке застосування фотодіоди знаходять також в пристроях введення і виведення сучасних ЕОМ, в оптоелектронних схемах.

## 6.8. Світлодіоди

Світлодіодом називають випромінюючий напівпровідниковий прилад з одним електронно-дірковим переходом, призначений для безпосереднього перетворення електричної енергії в енергію некогерентного світлового випромінювання.



Мал. 6.23. Пристрій світлодіода :

1 - лінза; 2 - коваровий балон; 3-напівпровідникова пластина з р-п переходом; 4 - ніжка; 5 – виводи

Як було показано вище (параграф 3.3), при подачі р-п перехід прямої напруги спостерігається інтенсивна інжекція неосновних носіїв заряду : електронів в р- область і дірок в п - область. Інжектвані неосновні носії рекомбінують з основними носіями цієї області напівпровідника і їх концентрація швидко падає у міру видалення від р-п переходу в глиб напівпровідника. При зустрічі електрона і дірки їх заряди компенсуються і ці носії заряду зникають. Тому при рекомбінації виділяється енергія. У багатьох напівпровідників рекомбінація носить безвипромінювальний характер - енергія, що виділяється при рекомбінації, віддається кристалічній решітці, т. е. перетворюється зрештою на тепло. Проте у напівпровідників, виконаних на основі карбїду кремнію (SiC), галію (Ga), миш'яку (As) і деяких інших матеріалів, рекомбінація є випромінювальною - енергія рекомбінації виділяється у вигляді квантів випромінювання - *фотонів*.



Тому у таких напівпровідників проходження через р-п перехід струму в прямому напрямі супроводжується некогерентним оптичним випромінюванням певного спектрального складу. Це явище використовується для створення *світлодіодів*, які іноді називають також *люмінесцентними діодами*.

Залежно від ширини забороненої зони напівпровідника і особливостей рекомбінації носіїв заряду випромінювання може лежати в інфрачервоній, видимій або ультрафіолетовій частинах спектру. Найбільшого поширення набули світлодіоди, випромінюючі жовте, червоне і зелене світло. Створені також зразки світлодіодів з переналаштовувачим кольором світіння.

Конструкція типового світлодіода, використовуваного в якості джерела випромінювання, показана на мал. 6.23. Кристал напівпровідника з відповідними виводами поміщають в коваровий або керамічний балон, верхня частина якого закінчується скляною (чи з епоксидної смоли) лінзою. За допомогою лінзи випромінювання придбаває задану спрямованість.

Властивості і ефективність роботи світлодіодів характеризуються сукупністю електричних, світлових і експлуатаційних параметрів. Найважливіші з них:

*Яскравість світіння діода*  $B$  (кд/м<sup>2</sup>) при максимально допустимому прямому струмі  $I_{пр.мах}$ , мА.

*Постійна пряма напруга*  $U_{пр}$  при максимально допустимому струмі, В.

*Повна потужність випромінювання*  $P_{полн}$ , мВт.

*Максимально допустима зворотна напруга*  $U_{обр.мах}$ , В.

*Ширина діаграми спрямованості* світлового випромінювання.

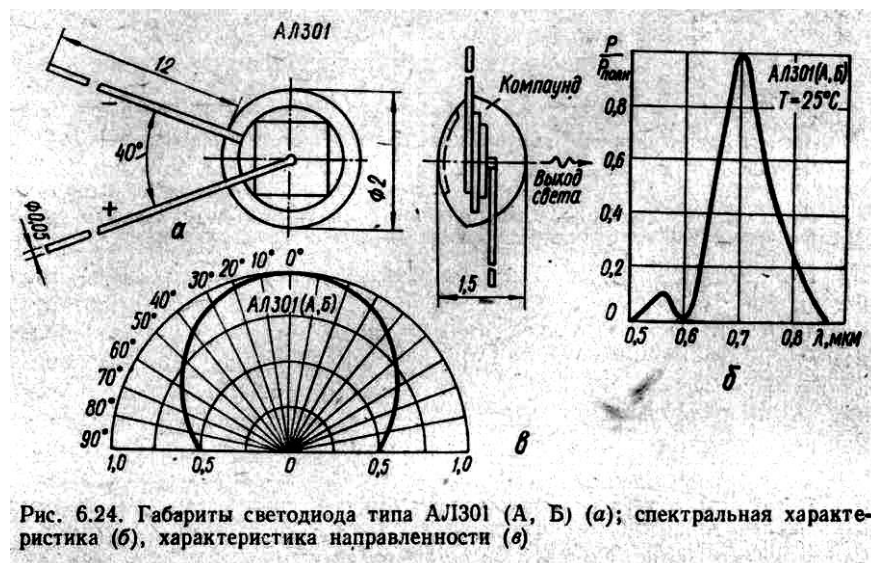


Рис. 6.24. Габарити світлодіода типу АЛ301 (А, Б) (а); спектральна характеристика (б), характеристика направленности (в)

Величина  $U_{пр}$  для більшості світлодіодів не перевищує декількох вольт;  $I_{пр.мах}$  має величину порядку одиниць - десятків міліампер; яскравість світіння  $B$  - десятки кандел на квадратний метр;  $P_{полн}$  - доли милліватта; маса приладу не перевищує декількох долей грама; температурний діапазон - 60 °С. . +70°С.

Найважливіші характеристики світлодіодів - *спектральна і характеристика спрямованості*. Перша з них є

залежність відносної потужності випромінювання  $\frac{P}{P_{полн}}$  від довжини випромінюваної хвилі при певній температурі середовища. Друга визначає величину інтенсивності світлового випромінювання залежно від напрямку випромінювання.

На мал. 6.24 показані габаритні розміри, спектральна характеристика і характеристика спрямованості світлового випромінювання світлодіодів типу АЛ301 (А, Б).

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №2

### ТЕМА: НАПІВПРОВІДНИКОВІ РЕЗИСТОРИ

**МЕТА:** оволодіти знаннями про основні види напівпровідникових резисторів

#### Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Основні види напівпровідникових резисторів.
- 2 Умовні позначення резисторів.

#### Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

#### Питання для самоконтролю.

1. Основні види напівпровідникових резисторів.
2. Умовні позначення резисторів.

### **1 Напівпровідникові резистори (варистори, терморезистори, фоторезистори)**

#### **Терморезистори**

Форма, габарити і конструктивні особливості сучасних терморезисторів дуже різноманітні: їх виконують у вигляді дисків (мал. 5.1, а), мініатюрних намистинок (мал. 5.1, б), плоских прямокутників (мал. 5.1, в) та ін.

Залежно від типу використовуваного напівпровідникового матеріалу і габаритів чутливого елемента початковий опір терморезисторів складає від декількох ом до десятків мегом.

На мал. 5.2 зображений простий електричний ланцюг, з чого стоїть з терморезистора  $R_K$  і лінійного резистора  $R$ , величина якого не залежить від температури. Якщо до цього ланцюга прикласти напругу  $E$ , в ній встановиться деякий струм  $I$ , величина якого визначається з рішення системи рівнянь :

$$E = U_m + U_R = U_T + IR,$$

$$U_T = f(I)$$

де  $U_T$  - падіння напруги на терморезисторі в сталому режимі.

Залежність  $U_T - f(I)$  є вольтамперною характеристикою терморезистора (мал. 5.3) з трьома основними ділянками: ОА, АВ і ВС. На початковій ділянці ОА характеристика лінійна, оскільки при малих струмах потужність, що виділяється у терморезисторі, мала і практично не впливає на його температуру.

Рис. 5.1. Внешний вид и основные размеры терморезисторов

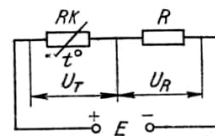
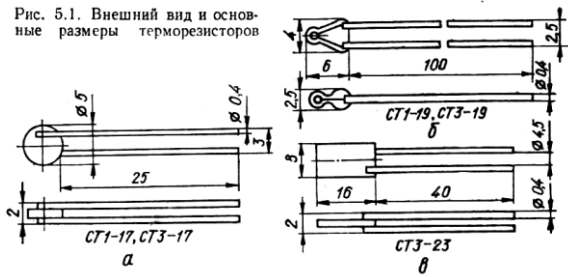


Рис. 5.2. Простейшая цепь с терморезистором

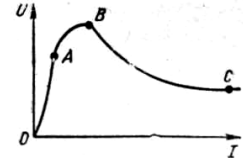


Рис. 5.3. Вольтамперная характеристика терморезистора

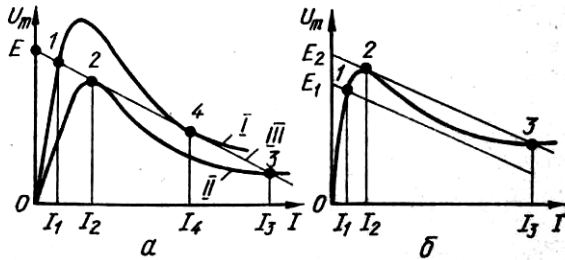


Рис. 5.4. Возникновение релейного эффекта:

а — при изменении температуры; б — при изменении приложенного напряжения

На ділянці А В лінійної характеристики порушується. З ростом струму температура терморезистора підвищується, а його опір зменшується. При подальшому збільшенні струму на ділянці ВС зменшення опору виявляється таким значним, що ріст струму веде до зменшення напруги на терморезисторі. У кінці ділянки ВС вольтамперна характеристика усе більш наближається до горизонтальної лінії паралельної осі абсцис. Це і дозволяє використовувати деякі типи терморезисторів для стабілізації напруги.

Характерним для ланцюга, що містить терморезистор  $RK$  і лінійний резистор  $R$ , являється різке, стрибкоподібне наростання або убавання струму, викликане зміною опору терморезистора. Це явище дістало назву релейного ефекту. Релейний ефект може статися в результаті зміни температури довкілля або величини прикладеної до ланцюга напруги.

На мал. 5.4, а показано виникнення релейного ефекту при зміні навколишньої температури.

Вольтамперна характеристика I терморезистора відповідає температурі довкілля  $T_1$  характеристика II - температурі  $T_2$ , III - зображує залежність  $U_T = E - IR$ . При температурі  $T_1$  струм в ланцюзі II, визначається абсцисою точки вольтамперної характеристики терморезистора і характеристики III. При підвищенні навколишньої температури від  $T_1$  до  $T_2$  вольтамперна характеристика терморезистора опускається. При цьому струм спочатку зростає плавно до значення  $I_2$  в точці 2, яка відповідає нестійкому стану схеми, і далі (при невеликому підвищенні температури) стрибком зростає до  $I_3$  в точці 3, де стійко зберігає своє значення при постійності температури. Це явище називається прямим релейним ефектом.

Зменшення температури призводить до плавного зменшення струму до значення  $I_4$  в точці 4 і далі - до стрибкоподібного зменшення струму до  $I_1$  (точка 1). Це явище називається зворотним релейним ефектом.

На мал. 5.4, б показано виникнення релейного ефекту при зміні прикладеної напруги.

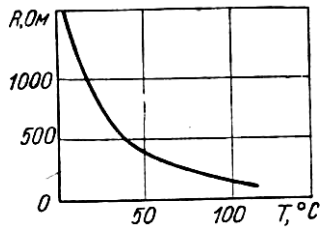


Рис. 5.5. Температурная характеристика терморезистора с отрицательным коэффициентом

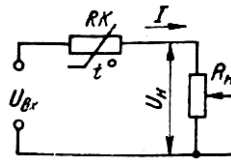


Рис. 5.6. К пояснению принципа работы позистора

При напрузі джерела Е1 режим роботи ланцюга визначається точкою 1. При збільшенні напруги до Е2 робоча точка переходить в положення 2. Тепер досить невеликого збільшення напруги, щоб робоча точка стрибком перемістилася в положення 3, що відповідає різкому збільшенню струму від І2 до І3.

Релейний ефект використовується в різноманітних схемах теплового захисту, температурної сигналізації, автоматичного регулювання температури і т. д.

Окрім вольтамперної характеристики, найважливішою характеристикою терморезистора є залежність його опору від температури. Типова температурна характеристика  $R = \varphi(T)$  терморезистора з негативним температурним коефіцієнтом приведена на мал. 5.5.

#### **Найважливішими параметрами терморезисторів є:**

*Номинальний (холодний) опір* - опір робочого тіла терморезистора при температурі довкілля 20 °С, Ом.

*Температурний коефіцієнт опору  $\alpha_T$* , що виражає у відсотках зміну абсолютної величини опору робочого тіла терморезистора при зміні температури на 1 °С. Звичайне значення  $\alpha_T$  приводиться для температури 20 °С. Значення  $\alpha_T$  для будь-якої температури в діапазоні 20-150 °З визначається із співвідношення

$$\alpha_T = \frac{B}{T^2}$$

де  $B = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1}$  - коефіцієнт температурної чутливості, залежний від фізичних властивостей матеріалу, К;

$T_1$  - початкова температура робочого тіла;  $T_2$  - кінцева температура робочого тіла, для якої визначається значення  $\alpha_T$   $R_{T1}$ , і  $R_{T2}$ , - опори робочого тіла терморезистора при температурах відповідно до  $T_1$  і  $T_2$ .

*Найбільша потужність розсіювання* - потужність, при якій терморезистор, що знаходиться при температурі 20 °С, розігрівається протікаючим струмом до максимальної робочої температури.

*Максимальна робоча температура* - температура, при якій характеристики терморезистора залишаються стабільними тривалий час (впродовж зазначеного терміну служби).

*Постійна часу  $\tau$*  - час, впродовж якого температура терморезистора стає рівною 63 °З при перенесенні його з повітряного середовища з температурою 0°З в повітряне середовище з температурою 100 °З, с. Таким чином, параметр  $\tau$  характеризує теплову інерцію терморезистора.

Постійна часу  $\tau$  є відношенням теплоємності  $C$  до коефіцієнта розсіювання  $b$

$$\tau = \frac{C}{b}$$

*Теплоємність  $C$*  - кількість тепла, яке необхідно повідомити терморезистору, щоб підвищити температуру робочого тіла на 1 °С, Дж/°С.

Коефіцієнт розсіювання  $b$  - потужність, що розсіюється терморезистором при різниці температур робочого тіла і довкілля в  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , Вт/град.

Терморезистори з негативним температурним коефіцієнтом використовуються для виміру і регулювання температури, термокомпенсації різних елементів електричному ланцюгу, працюючих в широкому інтервалі температур, виміру потужності високочастотних коливань і індикації променистої енергії, стабілізації напруги в ланцюгах постійного і змінного струмів, в якості регульованих безконтактних резисторів і т. п.

Терморезистори з позитивним температурним коефіцієнтом (позистори) виготовляються на основі титанату барію, легованої спеціальними домішками, які в певному інтервалі температур збільшують свій питомий опір на декілька порядків. Існуюча технологія дозволяє виготовляти позистори з позитивним  $\alpha$ , що становить  $0,15-0,2$  ( $1/^{\circ}\text{C}$ ). По своєму конструктивному оформленню позистори аналогічні терморезисторам типу (мал. 5.1, а) пігулки. Вони мають діаметр близько  $5\text{ мм}$  і висота  $1,5\text{ мм}$ . Дротяні виводи припаяні до торцевих поверхонь пігулки. Від атмосферних дій позистор захищений шаром електроізоляційної емалі.

Принцип роботи позистора ілюструє схема, приведена на мал. 5.6. У цій схемі позистор  $R_K$ , включений послідовно з опором навантаження  $R_n$ , використовується в якості обмежувача струму. Коли опір навантаження падає нижче певного значення, в ланцюзі збільшується струм і зростає температура позистора. Опір позистора при цьому зростає, що обмежує струм в ланцюзі навантаження.

## 5.2. Фоторезистори

Фоторезистори виготовляються на основі сульфіду кадмію, селеніду кадмію, сірчистого свинцю, а також полікристалічних шарів сірчистого і селенистого кадмію. Конструкції фоторезисторів різноманітні. Світлочутливі елементи зазвичай поміщаються в пластмасовий або металевий корпус, а в окремих випадках

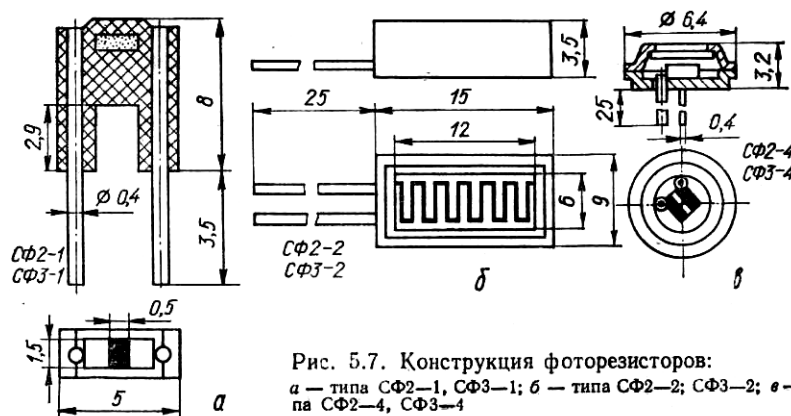
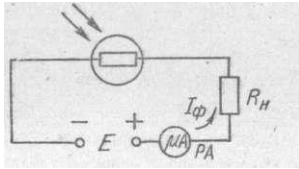


Рис. 5.7. Конструкція фоторезисторів:  
а — типа СФ2-1, СФ3-1; б — типа СФ2-2; СФ3-2; в — ти-  
па СФ2-4, СФ3-4

Рис. 5.8. Схема включення фоторезистора



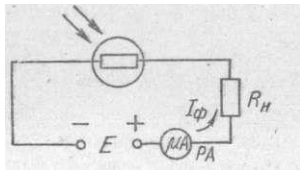
коли потрібно малі габарити, випускаються без корпусу. Приклади конструктивного оформлення деяких типів фоторезисторів показані на мал. 5.7.

Фоторезистор включається в ланцюг послідовно з джерелом напруги і опором навантаження (мал. 5.8).

Якщо фоторезистор знаходиться в темряві, то через нього тече *темновий струм*

$$I_m = \frac{E}{R_m + R_n} \quad (5.5)$$

де  $E$  - э. д. с. джерела живлення;  $R_m$  - величина електричного опору фоторезистора в темряві, звана *темновим опором*;  $R_n$  - опір навантаження.



При освітленні фоторезистора енергія фотонів йде на перекид електронів в зону провідності. Кількість вільних електронно-діркових пар зростає, опір резистора падає і через нього тече *світловий струм*

$$I_c = \frac{E}{R_c + R_n}$$

(5.6)

Різницю між світловим і темновим струмом дає значення струму  $I_\phi$ , *первинного фотоструму провідності*, що дістав назву

$$I_\phi = I_c - I_m \quad (5.7)$$

Коли променистий потік малий, первинний фотострум провідності практично безінерційний і змінюється прямо пропорціонально величині променистого потоку, що падає на фоторезистор. У міру зростання величини променистого потоку збільшується число електронів провідності. Рухаючись усередині речовини, електрони зіштовхуються

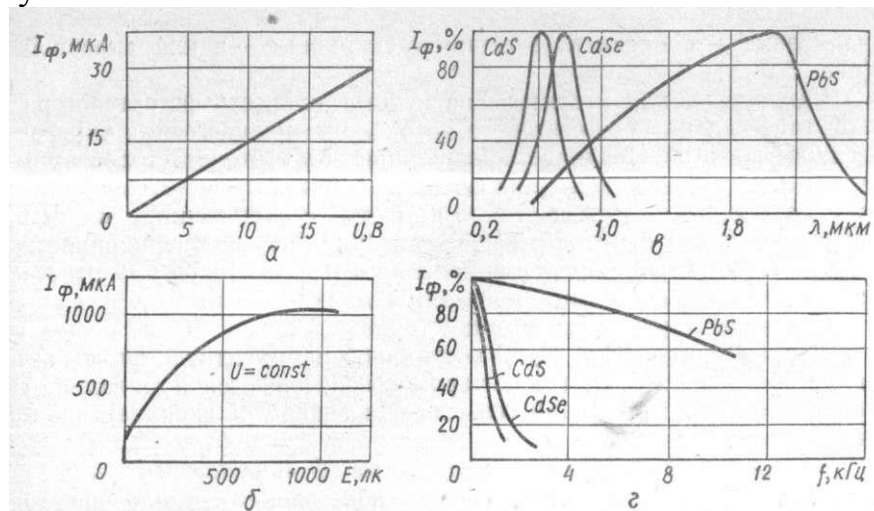


Рис. 5.9. Характеристики фоторезисторів: а — вольтамперная; б — световая (люксамперная); в — спектральные; г — частотные

з атомами, іонізують їх і створюють додатковий потік електричних зарядів, що дістав назву *вторинного фотоструму провідності*. Збільшення числа іонізованих атомів гальмує рух електронів провідності. В результаті цієї зміни фотоструму запізняються в часі відносно змін світлового потоку, що визначає деяку інерційність фоторезистора.

Основними характеристиками фоторезисторів є:

*Вольт-амперна*, характеризуюча залежність фотоструму (при постійному світловому потоці  $\Phi$ ) або темпового струму від прикладеної напруги. Для фоторезисторів ця залежність практично лінійна (мал. 5.9, а).

*Світлова (люкс-амперная)*, характеризує залежність фотоструму від світлового потоку постійного спектрального складу, що падає. Напівпровідникові фоторезистори мають нелінійну люкс-амперну характеристику (мал. 5.9, б). Найбільша чутливість виходить при малих освітленнях. Це дозволяє використовувати фоторезистори для виміру дуже малих інтенсивностей випромінювання. При збільшенні освітленості світловий струм росте приблизно пропорційно кореню квадратному з освітленості. Нахил люкс-амперної характеристики залежить від прикладеної до фоторезистора напруги.

*Спектральна*, характеризує чутливість фоторезистора при дії на нього потоку випромінювання постійної потужності певної довжини хвилі. Спектральна характеристика визначається матеріалом, використовуваним для виготовлення світлочутливого елемента. Сірчано-кадмієві фоторезистори мають високу чутливість у видимій області спектру, селенисто-кадмієві - в червоній, а сірчисто-свинцеві - в інфрачервоній (мал. 5.9, в).

*Частотна*, характеризує чутливість фоторезистора при дії на нього світлового потоку, що змінюється з певною частотою. Наявність інерційності у фоторезисторів призводить до того, що величина їх фотоструму залежить від частоти модуляції світлового потоку, що падає на них, - із збільшенням частоти світлового потоку фотострум зменшується (мал. 5.9, г). Інерційність обмежує можливості застосування фоторезисторів при роботі із змінними світловими потоками високої частоти.

Основні параметри фоторезисторів :

*Робоча напруга  $U_p$*  - постійна напруга, прикладена до фоторезистора, при якому забезпечуються номінальні параметри при тривалій його роботі в заданих експлуатаційних умовах.

*Максимально допустима напруга фоторезистора  $U_{max}$*  - максимальне значення постійної напруги, прикладеної до фоторезистора, при якому відхилення його параметрів від номінальних значень не перевищує вказаних меж при тривалій його роботі в заданих експлуатаційних умовах.

*Темновий опір  $R_m$*  - опір фоторезистора у відсутність випромінювання, що падає на нього, в діапазоні його спектральної чутливості.

*Світловий опір  $R_c$*  - опір фоторезистора, виміряний через певний інтервал часу після початку дії випромінювання, що створює на нім освітленість заданого значення.

*Кратність зміни опору  $K_R$*  - відношення темнового опору фоторезистора до опору при певному рівні освітленості (світловому опору).

*Допустима потужність розсіяння* - потужність, при якій не настає безповоротних змін параметрів фоторезистора в процесі його експлуатації.

*Загальний струм фоторезистора* - струм, що складається з темнового струму і фотоструму.

*Фотострум* - струм, що протікає через фоторезистор при вказаній напрузі на нім, обумовлений тільки дією потоку випромінювання із заданим спектральним розподілом.

*Питома чутливість* - відношення фотоструму до добутку величини світлового потоку, що падає на фоторезистор, на прикладену до нього напругу, мкА/(лм · В)

$$K_0 = I_{\phi} / (\phi U) \quad (5.8)$$

де  $I_{\phi}$  - фотострум, рівний різниці струмів, що протікають по фоторезистору в темряві і при певній (200 лк) освітленості, мкА;  $\Phi$  - світловий потік, що падає, лм;  $U$  - напруга, прикладена до фоторезистора, В.

*Інтегральна чутливість* - твір питомої чутливості на граничну робочу напругу  $S_{\text{инт}} = K_0 U_{\text{max}}$ .

*Постійна часу*  $\tau_{\phi}$  - час, впродовж якого фотострум змінюється на 63 %, т. е. у  $e$  разів ( $e \approx 2,718$ ).

Постійна часу характеризує інерційність приладу.

Останніми роками фоторезистори широко застосовуються в багатьох галузях науки і техніки. Це пояснюється їх високою чутливістю, простотою конструкції, малими габаритами і значною допустимою потужністю розсіювання. Значний інтерес представляє використання фоторезисторів в оптоелектроніці (параграф 10.1).

### 5.3. Варистори

Варистори є напівпровідниковими резисторами із струмопровідним елементом, виконаним з карбїду кремнію і керамічного єднального матеріалу. Зовнішній вигляд варисторів стержневого і дискового типів показаний на мал. 5.10, а. Деякі напівпровідникові варистори призначені для застосування в мікросхемах. Конструктивне оформлення мікромодульного варистора показано на мал. 5.10, б.

Схема включення варистора приведена на мал. 5.11, а. Із збільшенням прикладеної напруги опір варистора зменшується, а струм, що протікає в ланцюзі, наростає. Основною особливістю варистора є нелінійність його вольт-амперної характеристики (мал. 5.11, б), яка пояснюється явищами, провітаючими на контактах і на поверхні кристалів карбїду кремнію.

При підвищенні напруги, прикладеної до варистору, віз-розтане напруженість електричного поля між окремими кристалами. Це супроводжується електростатичною емісією з гострих зубців і граней кристалів карбїду кремнію. Одночасно відбувається пробій оксидних плівок, що утворюються на поверхні кристалів, а також мікронагрів контактних точок між кристалами. Усе це призводить до підвищення провідності варистора, причому полярність прикладеної напруги істотного значення не має - нелінійний ріст струму через прилад спостерігається при підвищенні напруги будь-якої полярності. Оскільки вольт-амперна характеристика симетрична, варистор

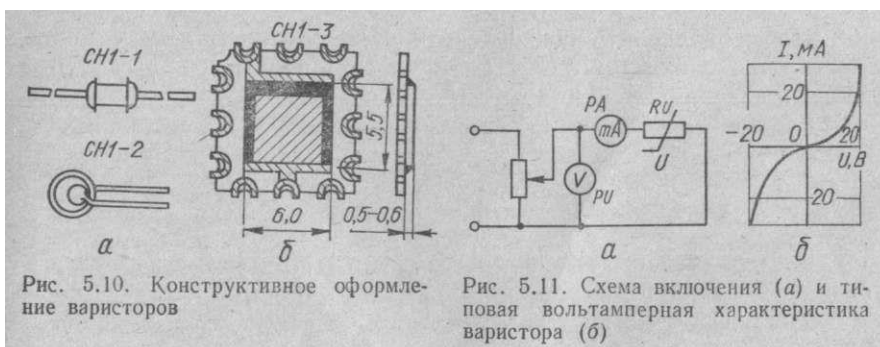


Рис. 5.10. Конструктивне оформлення варисторів

Рис. 5.11. Схема включення (а) і типова вольтамперная характеристика варистора (б)

може бути використаний в ланцюгах і постійного, і змінного струму. Основні параметри варисторів :



Статичний опір  $R_{cm}$  - значення опору варистора при постійних величинах струму і напруги

$$R_{cm} = \frac{U}{I}$$

Динамічний опір  $R_{\delta}$  - опір варистора змінному струму

$$R_{\delta} = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

Динамічний опір в цій точці вольт-амперної характеристики може бути визначений по тангенсу кута нахилу дотичної до вольт-амперної характеристики.

Коефіцієнт нелінійності  $\beta$  - відношення статичного опору у вибраній точці вольт-амперної характеристики до динамічного опору в цій же точці

$$\beta = \frac{R_{cm}}{R_{\delta}} = \frac{\Delta IU}{\Delta UI} \quad (5.9)$$

Величина  $\beta$  позитивна. Для варисторів, що випускаються нині, вона має значення близько 2...6 залежно від типу і номінальної напруги варистора.

Показник нелінійності  $\alpha$  - величина, зворотна коефіцієнту нелінійності

$$\alpha = \frac{1}{\beta} \quad (5.10)$$

У широкому діапазоні напруги і струмів вираження для вольт-амперної характеристики варистора може бути представлене у виді

$$I = BU^{\beta}; U = AI^{\alpha}, \quad (5.11)$$

де  $A$  і  $B$  - постійні коефіцієнти, пов'язані між собою співвідношенням

$$B = A^{-\frac{1}{\alpha}} = A^{-\beta} \quad (5.12)$$

Щоб визначити показник або коефіцієнт нелінійності, досить знайти струми  $I_1$  і  $I_2$ , протікаючі через варистор при значеннях напруги  $U_1$  і  $U_2$ . Тоді

$$\beta = \frac{\lg \frac{I_2}{I_1}}{\lg \frac{U_2}{U_1}} = \frac{\lg I_2 - \lg I_1}{\lg U_2 - \lg U_1}, \quad (5.13)$$

$$\alpha = \frac{\lg \frac{U_2}{U_1}}{\lg \frac{I_2}{I_1}} = \frac{\lg U_2 - \lg U_1}{\lg I_2 - \lg I_1} \quad (5.14)$$

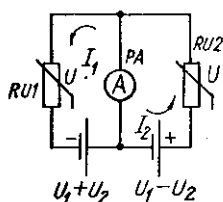


Рис. 5.12. Схема перемноження двох величин з допомогою варисторів

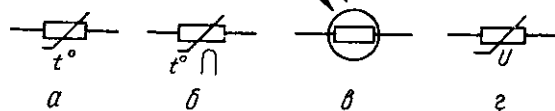


Рис. 5.13. Условные обозначения полупроводниковых резисторов

*Класифікаційна напруга* - напруга на варисторі при цьому значенні струму.

Класифікаційну напругу стержневих варисторів зазвичай визначають при струмі 10 мА. У дискових варисторів класифікаційну напругу визначають при струмах 2...3мА.

Класифікаційна напруга не є робочою експлуатаційною напругою варистора, яку вибирають виходячи з допустимої потужності розсіювання варистора і значення допустимої амплітуди напруги.

Допустима амплітуда імпульсної напруги зазвичай вказується в технічних умовах на варистор.

*Класифікаційний струм* - струм, при якому визначають класифікаційну напругу варистора.

*Температурний коефіцієнт струму* - характеризує зміну (підвищення) електропровідності варистора з ростом температури

$$TKI = \frac{I_2 - I_1}{I_2(t_2 - t_1)} \cdot 100\%, \quad (5.15)$$

де  $I_1$  - струм при температурі  $t_1$  рівної  $20 \pm 2$  °С;  $I_2$  - струм при температурі  $t_2$ , рівною зазвичай  $100 \pm 2$  °С.

*Допустима потужність розсіювання* - потужність, при якій варистор зберігає свої параметри в заданих технічними умовами межах впродовж терміну служби.

Сучасні варистори використовуються в різноманітних електронних схемах: для захисту приладів і елементів схем від переїнапруги; стабілізації напруги і струму; регулювання і перетворення електричних сигналів.

### **САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №3**

#### **ТЕМА: ОСНОВНІ СХЕМИ ВМИКАННЯ І СТАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БІПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА**

**МЕТА:** оволодіти знаннями про основні види напівпровідникових приладів

#### **Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

- 1 Схеми вмикання транзистора
- 2 Статичні вальт-амперні характеристики

#### **Література:**

1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.

2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроелектроніки (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

### Питання для самоконтролю.

- 1 Накреслити схему вмикання транзистора зі СБ
- 2 Накреслити схему вмикання транзистора зі СК
- 3 Накреслити схему вмикання транзистора зі СЕ
- 4 Види статичних вольт-амперних характеристик

## 1. Основні схеми вмикання і статичні характеристики біполярного транзистора

Як елемент електричного кола транзистор зазвичай використовується так, що один із його електродів є вхідним, другий вихідним, а третій - спільний відносно входу та виходу. У коло вхідного електроду вмикається джерело вхідного змінного сигналу, що його треба підсилити за потужністю, а у коло вихідного - навантаження, на якому виділяється посилена потужність. Залежно від того, який електрод є спільним для вхідного і вихідного кіл, як це показано на рис. 2.14, розрізняють три схеми вмикання транзисторів:

- зі спільною базою - з СБ;
- зі спільним емітером - з СЕ;
- зі спільним колектором - з СК.

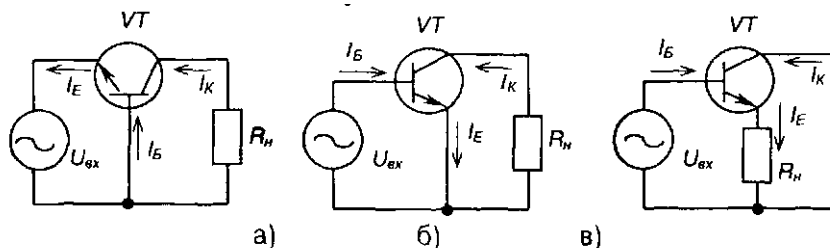


Рис. 2.14 - Схеми вмикання транзистора: а) з СБ; б) з СЕ; в) з СК

Слід зазначити, що основні схеми вмикання розглядаються для сигналу напруги змінного струму.

У схемі з СБ:  $I_E$  - вхідний струм,  $I_K$  - вихідний, передатність струму:

- статична -  $\alpha = \frac{I_K}{I_E}$ ;
- динамічна -  $\alpha_{дин} = \left. \frac{dI_K}{dI_E} \right|_{U_{КБ} = const}$

У схемі з СЕ:  $I_B$  - вхідний струм,  $I_K$  - вихідний, передатність струму:

• статична -  $\beta = \frac{I_K}{I_B} = \frac{I_K : I_E}{(I_E - I_K) : I_E} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$ ; (2.6)

• динамічна -  $\beta_{дин} = \left. \frac{dI_K}{dI_B} \right|_{U_{КБ} = const}$  (2.7)

У схемі з СК:  $I_B$  - вхідний струм,  $I_E$  - вихідний,  $\frac{I_E}{I_B} = \frac{1}{1 - \alpha} \approx 1 + \beta$ .

Для електричних схем на біполярних транзисторах існує чотири сім'ї **статичних вольт-амперних характеристик** ("статичних" у тому розумінні, що для транзистора задаються фіксовані значення напруги між деякими його електродами або струму в

одному з кіл, і знаходяться відповідні їм значення струму у другому колі або напруги між іншими електродами - у статичному режимі):

- сім'я **вхідних характеристик**  $i_{ax} = f(U_{ax}) \Big|_{U_{вих} = const}$

(сім'я - тому, що для кожного конкретного значення  $U_{вих}$  маємо **свою** залежність  $i_{вх} = f(U_{вх})$ );

- сім'я **вихідних характеристик**  $i_{вих} = f(U_{вих}) \Big|_{I_{ax} = const}$ ;

- сім'я **характеристик керування** (характеристик ~~прямої дії~~  $i_{вих} = const$ );

- сім'я **перехідних характеристик** (характеристик ~~зворотної дії~~  $i_{вх} = const$ ).

Для кожної схеми вмикання з чотирьох сімей статичних ВАХ незалежними є лише дві. Для аналізу роботи транзистора та визначення його параметрів використовують частіше перші дві.

Для схеми з СБ статичні ВАХ, наведені на рис. 2.15, описуються залежностями:

- вхідні  $-I_E = f(U_{BE}) \Big|_{U_{КБ} = const}$

(при  $U_{КБ} = 0$  маємо ВАХ прямо зміщеного базо-емітерного  $p-n$  переходу);

- вихідні  $-I_K = f(U_{КБ}) \Big|_{I_E = const}$ ;

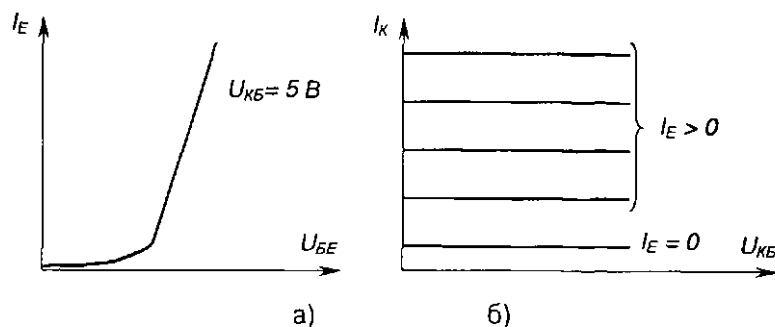


Рис. 2.15 - ВАХ транзистора, увімкненого за схемою з СБ: а) вхідні; б) вихідні

Із рисунку видно, що вихідні характеристики майже паралельні осі напруги. Наявність невеликого нахилу (деяке збільшення  $I_K$  з ростом  $U_{КБ}$ ) пояснюється тим, що колекторна напруга має вплив, хоча і слабкий, на рух носіїв до колекторного переходу (в основному через звуження бази з ростом  $U_{КБ}$  за рахунок розширення колекторно-базового  $p-n$  переходу).

Вихідна характеристика описується досить точним співвідношенням

$$I_K = \alpha I_E + I_{K0} + \frac{U_{КБ}}{r_K}, \quad (2.8)$$

де  $I_{K0}$  - зворотний струм колектора (тепловий),  $r_K$  — нелінійний опір колекторного переходу.

Вхідні характеристики утворюють щільний пучок, що пояснюється слабким впливом колекторної напруги на струм емітера. Тому при практичних розрахунках достатньо мати не сім'ю, а одну вхідну характеристику для колекторної напруги, зазвичай, величиною 5 В (рис. 2.15,а).

Для схеми з СЕ статичні характеристики, що наведені на рис. 2.16, є залежностями:

- вхідні  $-I_B = f(U_{BE}) \Big|_{U_{KE} = const}$

(при маємо ВАХ прямо зміщеного базо-емітерного р-п переходу);

- вихідні  $-I_K = f(U_{KE}) \Big|_{I_B = const}$

(при  $I_B = 0$  фактично маємо ВАХ зворотно зміщеного базо-колекторного р-п переходу);

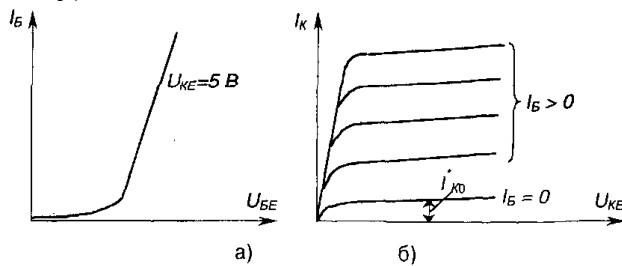


Рис. 2.16 – ВАХ транзистора, увімкненого за схемою з СЕ: а) вхідні; б) вихідні

Вихідні ВАХ схеми з СЕ досить точно можна описати виразом:

$$I_K = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_B + \frac{I_{K0}}{1-\alpha} + \frac{U_K}{r_K(1-\alpha)} \quad (2.9)$$

або

$$I_K = \beta I_B + I_{K0}^* + \frac{U_K}{r_K^*}, \quad (2.10)$$

де

$$I_{K0}^* = I_{K0}(\beta + 1); \quad r_K^* = \frac{r_K}{(\beta + 1)}. \quad (2.11)$$

Вихідні характеристики схеми з СЕ мають більший нахил, ніж у схеми з СБ (це пояснюється сильнішим впливом колекторної напруги на передатність струму - на коефіцієнт  $\beta$ ), вхідні характеристики більш лінійні.

ВАХ схеми з СК схожі з характеристиками схеми з СЕ, тому що в обох схемах вхідним є струм бази, а вихідні струми ( $I_E$  або  $I_K$ ) відрізняються незначно. Тому при практичних розрахунках вихідні ВАХ схеми з СЕ можна використовувати як вихідні ВАХ схеми з СК, якщо замінити струм колектора на струм емітера.

Вирази для статичних характеристик схеми з СК мають такий вигляд:

- вхідні  $I_B = f(U_{BE}) \Big|_{U_{KE} = const}$  ;

- вихідні  $I_E = f(U_{KE}) \Big|_{I_B = const}$  .

Порівнюючи статичні характеристики біполярного транзистора з характеристиками гіпотетичного підсилюючого елемента (див. рис. 2.10) ми бачимо, що транзистор далеко не ідеальний елемент.

Його вхідні характеристики не є прямими, що починаються з нуля (крім того, їх положення залежить від напруги у силовому колі транзистора), а є, швидше, експонентами (які з допущеннями можна вважати за прямі, зміщені відносно нуля на деяке значення напруги). Це виключає можливість підсилення сигналів, менших за  $\varphi_K$  (див. рис. 1.7).

Вихідні характеристики не паралельні осі напруг (мають деякий нахил: у схеми з СЕ більший, ніж у схеми з СБ), а також, реально, нерівномірно розміщуються залежно від рівномірних змін  $I_{Б}$  або  $I_{К}$  (наприклад, коефіцієнт  $\beta$ - величина непостійна для різних значень  $I_{Е}$ ). Більше того, вихідні характеристики схеми з СЕ починаються не від осі  $I_{К}$  через що, при малих напругах  $U_{КЕ}$  струм  $I_{К} \neq \beta I_{Б}$  і транзистор втрачає керуваність.

Також слід зазначити, що, як і у всіх НП приладів, параметри транзистора (а отже, і положення його характеристик) значною мірою залежать від температури.

Тим не менше, ці електронні прилади якнайширше використовуються для реалізації конкретних підсилювачів, а їх неідеальність компенсується до необхідних значень схемотехнічними прийомами.

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №4

### ТЕМА: СКЛАДЕНІ ТРАНЗИСТОРІ. ОДНОПЕРЕХІДНИЙ ТРАНЗИСТОР

#### МЕТА: оволодіти знаннями про основні види напівпровідникових приладів

#### Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1. Складені транзистори. Будова, принцип дії.
2. Вхідна вольт-амперна характеристика транзистора.
3. Принцип дії одно перехідного транзистора.

#### Література:

1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред.. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.

2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Главное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

#### Питання для самоконтролю.

1. Конструкція складеного транзистора.
2. Вхідна вольт-амперна характеристика транзистора.
3. Принцип дії одно перехідного транзистора.

## 5. Складені транзистори

Для значного підвищення коефіцієнта підсилення за струмом застосовують комбінації з двох і більше транзисторів, з'єднаних так, що у цілому конструкція, як і одиночний транзистор, має три зовнішніх виводи і називається **складеним транзистором**.

Схема складеного транзистора, виконаного на транзисторах одного типу провідності, наведена на рис. 2.22,а. Її ще називають *схемою Дарлінгтона*.

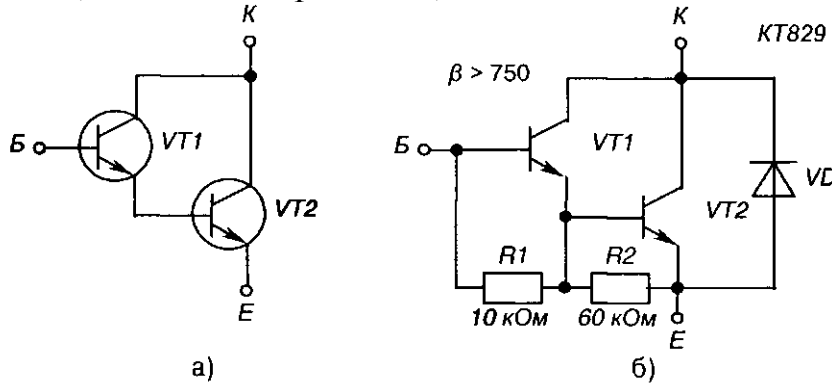


Рис. 2.22 – Складений транзистор за схемою Дарлінгтона

Тут вхідний струм є струмом бази першого транзистора. Після підсилення останнім у  $\beta_1$  разів він подається у базу другого транзистора, яким підсилюється ще в  $\beta_2$  разів. У результаті загальний коефіцієнт підсилення за струмом становить

$$\beta = \beta_1 \beta_2.$$

Таку схему широко застосовують як у дискретному виконанні, так і в інтегральному. На рис. 2.22,б, наприклад, наведено еквівалентну схему потужного транзистора КТ829, що має  $\beta \geq 750$ .

Тут резистори  $R_1$  і  $R_2$  забезпечують відведення від бази зворотного струму колекторних переходів, а діод  $VD$  захищає структуру від дії зворотної напруги.

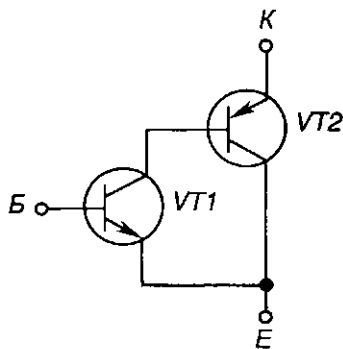


Рис. 2.23 – Складений транзистор за схемою Шиклаї

Схема складеного транзистора, виконаного на транзисторах різного типу провідності - *схема Шиклаї*, наведена на рис. 2.23. Її особливістю є те, що тип провідності конструкції в цілому визначається типом провідності першого транзистора. Так, у даному разі ми маємо еквівалент транзистора *n-p-n* типу (незважаючи на те, що на виході встановлено транзистор *VT2 p-n-p* типу - його емітер є колектором, а колектор - емітером складеного транзистора).

## 2.4.6. Одноперехідний транзистор

*Одноперехідний транзистор* або двобазовий діод - це НП прилад з одним *p-n* переходом. Його схематична конструкція і ВАХ наведені на рис. 2.24.

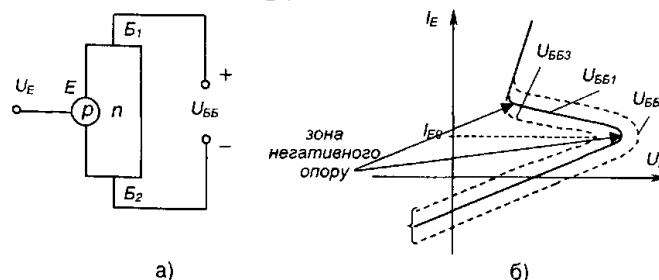


Рис. 2.24 – Одноперехідний транзистор: а) конструкція; б) вхідна ВАХ

Шар *p*-типу має назву емітера, а зони монокристалу по обидва боки емітера, що мають електронну провідність, називаються базами. Зазвичай, довжина нижньої бази

$B_2$  набагато менша, ніж довжина верхньої бази  $B_1$ . Якщо до контактів базових зон підімкнути зовнішню напругу із зазначеною на рис. 2.24 полярністю, то через обидві бази протікатиме невеликий струм - так званий струм зміщення.

Оскільки ділянка між базовими електродами має лінійний опір, то спад напруги на базових зонах пропорційний їх довжині. Напруга на емітерному переході зумовлюється різницею потенціалів емітера та базової зони  $B_2$ . Якщо потенціал емітера не перевищує потенціалу бази  $B_2$ , то емітерний перехід зміщений у зворотному напрямку і через нього протікає невеликий зворотний струм. При зміщенні емітерного переходу у прямому напрямку емітерний струм зростає, і при певному його значенні  $I_{E0}$  починається лавиноподібне зменшення опору бази  $B_2$  за рахунок проникнення носіїв заряду через  $p-n$  перехід. Наслідком цього є зниження напруги емітера за одночасного зростання емітерного струму - ділянка негативного опору на вхідній ВАХ (тут негативним змінам напруги відповідають позитивні зміни струму). При змінах зовнішньої міжбазової напруги  $U_{ББ}$  ВАХ зсувається, не змінюючи форми, як показано на рис. 2.24,б.

Наявність ділянки з негативним опором дозволяє використовувати одноперехідний транзистор у електронних ключах, генераторах, релейних схемах і т. ін. Донедавна вони якнайширше використовувались у пристроях генерування імпульсів керування тиристорами, які ми розглянемо нижче.

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №5

**ТЕМА: БУДОВА ПРИНЦИП ДІЇ ПОЛЬОВОГО ТРАНЗИСТОРА.**

**МЕТА: оволодіти знаннями про основні види напівпровідникових приладів**

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

- 1 Загальні відомості
- 2 Польові транзистори з керуючим  $p-n$  переходом
- 3 МДН-транзистори

### Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. и доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники и микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

### Питання для самоконтролю.

- 1 Конструкція польового транзистора.
- 2 Будова, принцип дії польового транзистора



## 1 Загальні відомості

До класу уніполярних відносять транзистори, принцип дії яких ґрунтується на використанні носіїв заряду лише одного знаку (електронів або дірок). Керування струмом в силовому колі уніполярних транзисторів здійснюється зміною провідності каналу, через який протікає струм під впливом електричного поля. Тому уніполярні транзистори ще називаються польовими (ПТ).

Розрізняють ПТ з керуючим *p-n* переходом (з затвором у вигляді *p-n* переходу) та з ізольованим затвором. Останні, в свою чергу, поділяються на ПТ із вбудованим каналом та індукованим каналом. ПТ з ізольованим затвором належать до різновиду МДН-транзисторів: конструкція «метал - діелектрик - НП». Коли в якості діелектрика використовують оксид кремнію: конструкція «метал - оксид - НП», ПТ називають відповідно МОН-транзистором.

Характерною рисою ПТ є великий вхідний опір ( $10^8 - 10^{14}$  Ом).

Широкого розповсюдження ПТ набули завдяки високій технологічності у виробництві, стабільності характеристик і невеликій вартості за масового виробництва.

## 2 Польові транзистори з керуючим *p-n* переходом

Конструкція та принцип дії ПТ з керуючим *p-n* переходом пояснюється на моделі, наведеній на рис. 2.23.

У такого ПТ канал протікання струму являє собою шар НП, наприклад, л-типу, вміщений між двома *p-n* переходами. Канал має контакти із зовнішніми електродами. Електрод, від якого починають рух носії заряду (у даному разі -електрони), називається витокom В, а електрод, до якого вони рухаються - стоком С.

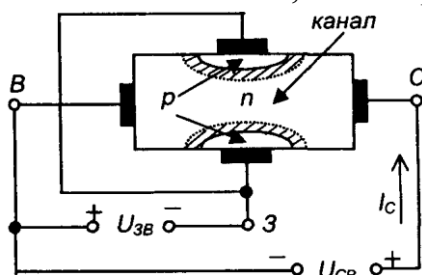


Рис. 2.23 – ПТ з керуючим *p-n* переходом

НП шари/кгапу, що створюють із *n*-шаром *цвар-p-n* переходи, виконані з більш високою концентрацією основних носіїв, ніж *p*-шар. Обидва/ьшари електрично з'єднані і мають зовнішній електрод, що називається затвором З.

Вихідна напруга під мікається між стоком і витокom ( $U_{cb}$ ), а вхідна напруга (керуюча) - між витокom та затвором ( $U_{zb}$ ), причому на затвор подається зворотна щодо витоку напруга.

Принцип дії такого ПТ полягає у тому, що зі змінами вхідної напруги  $U_{zb}$  змінюється ширина *p-n* переходів, які являють собою ділянки НП, ібіднені носіями зарядів (запірний шар). Оскільки *p*-шар має більшу концентрацію домішки, зміна ширини *p-n* переходів відбувається го-новним чином за рахунок більш високоомного

и-шару. При цьому змінюється переріз струмопровідного каналу, а отже і його провідність і відповідно вихідний струм  $I_c$  приладу.

Особливість цього транзистора полягає у тому, що на провідність каналу впливає як керуюча напруга  $U_{зв}$ , так і напруга  $U_{св}$ . Вплив напруг на провідність каналу ілюструє рис. 2.24, де заради спрощення не показані ділянки «-шару, що розміщені поза  $p$ - $n$  переходами.

На рис. 2.24,а зовнішню напругу прикладено лише у вхідному колі транзистора. Зміна напруги призводить до зміни провідності каналу за рахунок зміни на однакову величину його перерізу вздовж усього каналу. Та оскільки  $U_{св}=0$ , вихідний струм  $I=0$ .

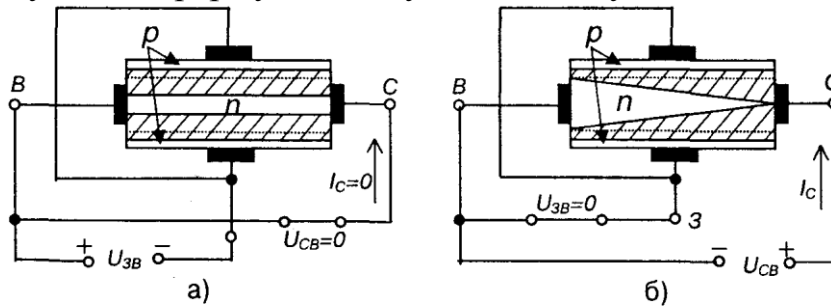


Рис. 2.24 – Вплив напруг на провідність каналу ПТ з керуючим  $p$ - $n$  переходом:  
а) при  $U_{св}=0$ ; б) при  $U_{зв}=0$

Рис. 2.24,б ілюструє зміну перерізу каналу під впливом лише напруги  $U_{св}$  ( $U_{зв}=0$ ). Коли  $U_{св}>0$ , через канал протікає струм. Внаслідок цього виникає спад напруги, що зростає у напрямку стоку. Сумарний спад напруги ділянки стік-витік дорівнює  $U_{сд}$ . Відповідно, потенціали точок каналу вздовж нього неоднакові: зростають у напрямку стоку від нуля до  $U_{сд}$ . Потенціал точок  $p$ -області відносно витіку визначається потенціалом затвора відносно витіку і у даному випадку дорівнює нулю. У зв'язку із зазначеним зворотна напруга, прикладена до  $p$ - $n$  переходів, зростає у напрямку витік-стік і  $p$ - $n$  переходи розширюються у напрямку стоку. Це явище призводить до зменшення перерізу каналу. Підвищення напруги  $U_{сд}$  викликає збільшення спаду напруги у каналі і подальше зменшення його перерізу, а отже, і провідності каналу. При певному значенні  $U_{св}$  межі обох  $p$ - $n$  переходів змикаються (див. рис. 2.21,б) і опір каналу стає великим.

Очевидно, що за сумарної дії  $U_{св}$  та  $U_{зв}$  змикання  $p$ - $n$  переходів відбувається швидше. При цьому у приладі діє автоматична система

керування, що забезпечує протікання фіксованого значення  $I_c$ - струм через канал не залежить від  $V_{сд}$  (відповідає режиму насичення).

Аналогічно працюють транзистори з каналом  $p$ -типу, лише полярність напруг повинна бути зворотною.

На рис. 2.25 наведені умовні позначення ПТ з керуючим  $p$ - $n$  переходом.

Роботу зазначених транзисторів визначають сім'ї ВАХ двох видів: стокові і стік-затворні.

Стокові (вихідні) характеристики, наведені на рис. 2.26 показують залежність струму стоку від напруги стік-витік за фіксованої напруги затвор-витік:

$$I_c = f(U_{св}) \Big|_{U_{зв}=const.}$$

На ділянці 1  $\{Oa\}$  маємо велику залежність  $I_c$  від вихідної напруги  $U_{св}$ . Це неробоча ділянка для випадку використання приладу у якості підсилюючого елемента. Тут його використовують як керований резистор.

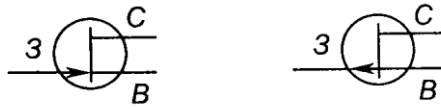


Рис. 2.25 – Умовні позначення ПТ з керуючим *p-n* переходом: а) з каналом *n*-типу, б) з каналом *p*-типу

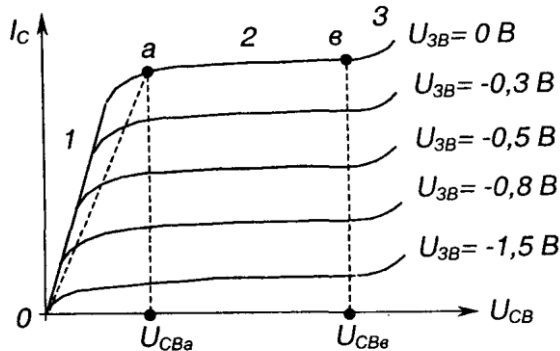


Рис. 2.26 – Стокові ВАХ ПТ з керуючим *p-n* переходом

На ділянці 2 (*ав*) залежність вихідного струму від вихідної напруги мала - маємо насичення. Це робоча ділянка у режимі підсилення.

Ділянка 3 відповідає пробою приладу.

У точці *a* відбувається змикання *p-n* переходів (напруга  $U_{CB}$ ). Причому, чим вища напруга  $U_{зв}$  (абсолютна величина), тим швидше зникаються *p-n* переходи.

Напруга на затворі, за якою струм вихідного кола  $I_C=0$ , називається напругою запирання або напругою відтинання  $U_{зв0}$ . Числове значення  $U_{зв0}$  дорівнює  $U_{CB}$  у точці *a* ВАХ транзистора.

Стік-затворні (вхідні) ВАХ відображають залежність струму стоку від напруги затвор-витік за фіксованої напруги стік-витік:

$$I_C = f(U_{зв}) \Big|_{U_{CB} = const}$$

Вхідна ВАХ зображена на рис. 2.27.

Параметри ПТ з керуючим *p-n* переходом:

- максимальне значення струму стоку  $I_{Cmax}$  (відповідає його значенню у точці *b* на вихідних ВАХ при  $U_{зв}=0$ ), сягає від десятків міліампер до одного ампера;
- максимальне значення напруги стік-витік  $U_{CBти}$  (задають у 1,2-1,5 рази меншим за напругу пробою ділянки стік-витік при  $U_{зв}=0$ ), становить до 100 В;

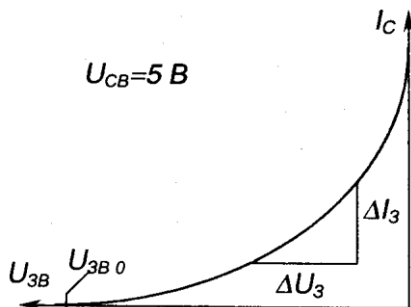


Рис. 2.27 – Вхідна ВАХ ПТ з керуючим *p-n* переходом

– внутрішній опір  $r_i = \frac{dU_{CB}}{dI_C} \Big|_{U_{3B} = const}$ ;

– крутизна стік-затворної характеристики  $S = \frac{dI_C}{dU_{3B}} \Big|_{U_{CB} = const}$ ;

– вхідний опір  $r_{ex} = \frac{dU_{3B}}{dI_3}$ , становить десятки мегаом.

### 3 МДН-транзистори

На відміну від ПТ з керуючим  $p-n$  переходом, у яких затвор має безпосередній електричний контакт із суміжною областю струмопровідного каналу, у МДН-транзисторів затвор, що являє собою, наприклад, алюмінієву плівку (Al), ізолюваний від зазначеної області шаром діелектрика. Тому МДН-транзистори відносять до класу ПТ з ізолюваним затвором. Наявність діелектрика забезпечує високий вхідний опір цих транзисторів ( $10^{12} + 10^4 \text{ Ом}$ ).

Частіше у якості діелектрика використовують оксид кремнію ( $\text{SiO}_2$ ) і тоді ПТ називають МОН-транзистором (метал - оксид - НП). Такі транзистори бувають із вбудованим і індукованим каналами. Останні більш розповсюджені.

Конструкція МОН-транзистора з індукованим каналом я-типу зображена на рис. 2.29.

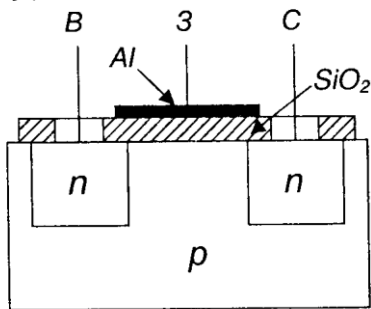


Рис. 2.29 – Конструкція МОН-транзистора з індукованим каналом

При  $U_{3B} = 0$  або від'ємному,  $I_C = 0$  (два  $p-n$  переходи увімкнені назустріч). При позитивній напрузі на затворі відносно витoku поверхневий шар на межі НП з діелектриком збагачується електронами, які притягуються з глибини  $p$ -шару (де вони є завдяки тепловій генерації вільних носіїв заряду) до затвору: виникає явище інверсії НП у при-межовій зоні, коли  $\nearrow$ -шар стає  $p$ -шаром. Таким чином, між зонами  $n$ -шарів наводиться (індукується) канал, по якому може протікати струм від стоку до витoku.

Вихідні ВАХ ПТ з ізолюваним затвором подібні до ВАХ ПТ з керуючим  $p-n$  переходом, тільки характеристики проходять вище зі збільшенням напруги  $U_{3B}$ .

Умовні позначення МДН-транзисторів наведені на рис. 2.30.

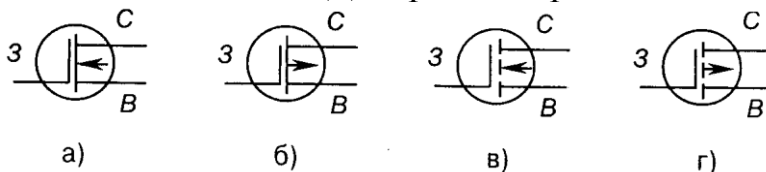


Рис. 2.30 – Умовні позначення МДН-транзисторів з каналами: вбудованим  $n$ -типу (а); вбудованим  $p$ -типу (б); індукованим  $n$ -типу (в); індукованим  $p$ -типу (г)

ПТ широко використовують як дискретні компоненти електронних пристроїв, а також у складі інтегральних мікросхем.

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №6

### ТЕМА: СІТ – ТРАНЗИСТОРИ. БІПОЛЯРНІ ТРАНЗИСТОРИ З ІЗОЛЬОВАНИМ ЗАТВОРОМ

**МЕТА:** оволодіти знаннями про основні види напівпровідникових приладів

#### Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1. Особливості будови і принципу СІТ - транзистора.
2. Особливості будови і принципу БТІЗ - транзистора.

#### Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

#### Питання для самоконтролю.

- 1 Особливості будови і принципу СІТ - транзистора.
- 2 Особливості будови і принципу БТІЗ - транзистора..

#### 1.СІТ-транзистори. Біполярні транзистори з ізолюваним затвором

У середині 70-х років минулого століття багаторічні дослідження - У. Шеклі, Нішізава - завершилися створенням ПТ із статичною індукцією: **СІТ-транзистора**. Цей транзистор, будучи за суттю ПТ з керуючим  $p-n$  переходом, є твердотільним аналогом електронновакуумної лампи- тріода, у якій вихідна ВАХ при нульовому значенні сигналу керування за формою нагадує ВАХ  $p-n$  переходу. З ростом негативної напруги керування характеристики зсуваються вправо.

На відміну від площинної горизонтальної конструкції ПТ з керуючим  $p-n$  переходом, СІТ-транзистор має вертикальну конструкцію:  $p$ -шари затвору вводяться в  $n$ -шар вертикально. Таке виконання забезпечує роботу прилада при напругах до 2000 В й частотах до 500 кГц. А розміщення на одному кристалі великого числа елементарних транзисторів із наступним паралельним з'єднанням кількох тисяч елементарних структур забезпечує робочі струми до 500 А - це вже є силовий електронний прилад!

Крім роботи у режимі ПТ, цей транзистор може працювати і у режимі біполярного транзистора, коли на затвор подається позитивне зміщення і протікає струм керування. При цьому падіння напруги на приладі у відкритому стані значно зменшується.

Структура, умовне позначення та вихідні ВАХ  $n$ -канального СІТ- транзистора наведені нарис. 2.30. Зверніть увагу: в зображенні структури транзистора індекси при позначенні типу провідності напівпровідника (наприклад,  $n^+$ ,  $n^-$ ) вказують на ступінь

його легування - на введення більшої або меншої кількості домішки, у даному разі - донорної.

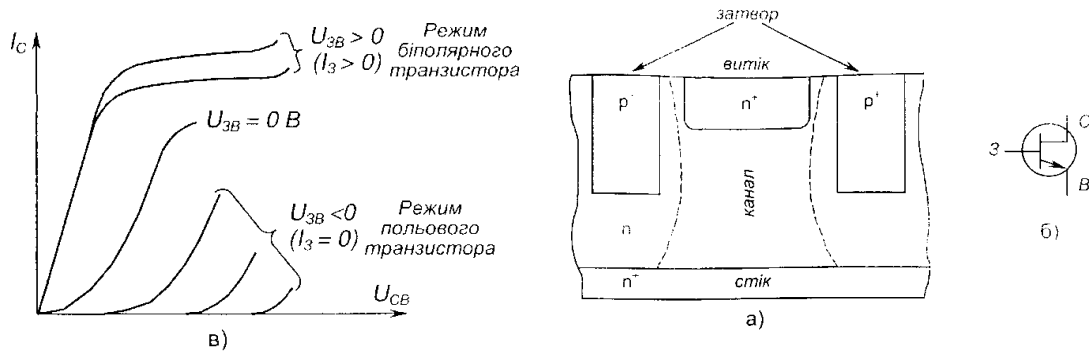


Рис. 2.30 - Структура (а), умовне позначення (б) та вихідні ВАХ (в) /7-канального СІТ-транзистора

## 2 Біполярні транзистори з ізольованим затвором (БТІЗ)

Біполярні транзистори з ізольованим затвором з'явилися у 80-х роках минулого століття і відтоді інтенсивно використовуються як силові прилади, витісняючи у багатьох застосуваннях тиристори.

Як видно, він являє собою складну багатшарову структуру, створення якої стало можливим із розвитком інтегральної технології: це вже, фактично, інтегральна мікросхема.

БТІЗ поєднує властивості МОН-транзистора щодо керування з властивостями біполярного транзистора у силовому колі.

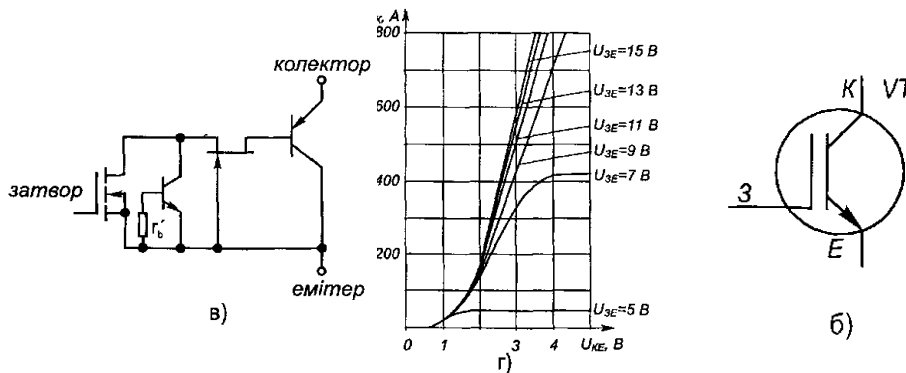


Рис. 2.33 - Структура (а), умовне позначення (б), та вихідні ВАХ (г) БТІЗ

Ці транзистори виконуються на напруги до 1800 В при частоті до 100 кГц та силі струму до 2000 А, що забезпечується паралельним з'єднанням великої. При розрахунку силових електронних пристроїв одним із основних параметрів електронних ключових приладів (що визначає втрати енергії у приладі, а, отже, ступінь його нагріву) є падіння напруги на приладі у відкритому стані, для транзисторів - у режимі насичення.

кількості елементарних транзисторів на одному кристалі (як і у СІТ-транзистора).

З наведених на рис. 2.33,г вихідних ВАХ БТІЗ типу SKM 500 GA-3 фірми SEMIKRON (Німеччина), максимальне значення струму колектора якого становить 550 А, видно, що падіння напруги на транзисторі у режимі насичення досить значне. Більш того, воно не буває меншим десь за 0,8 В. Це пояснюється наявністю в області

колектора БТІЗ базо-емітерного  $p-n$  переходу біполярного транзистора  $p-n-p$  типу. Значення падіння напруги залежить від площі  $p-n$  переходу і об'єму  $n$  шару.

Аналогічні параметри біполярних транзисторів кращі (падіння напруги у режимі насичення складає від 0,2 В). У традиційних тиристорів вони також кращі (падіння становить від 1 В - у порівнянні з біполярними транзисторами воно збільшене на падіння на базо-емітерному переході біполярного транзистора  $p-n-p$  типу, що зрозуміло з еквівалентної схеми тиристора, наведеної на рис. 2.34,6). У тиристорів, призначених для роботи на підвищених частотах (сотні герц), падіння десь таке ж, як і у БТІЗ.

А взагалі вихідні ВАХ БТІЗ, якщо не враховувати наведеного вище, подібні до вихідних ВАХ ПТ з ізолюваним затвором.

Окрім дискретного виконання, БТІЗ також продукують і у вигляді модулів, в яких міститься від одного до семи транзисторів, а також зворотні діоди. Це дозволяє зменшити габарити електронних пристроїв.

У поєднанні з широкою номенклатурою типових керуючих пристроїв у мікроелектроніці БТІЗ у наш час якнайширше застосовують в пристроях енергетичної електроніки.

### **САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №7**

#### **ТЕМА: СПЕЦІАЛЬНІ ТИПИ ТИРИСТОРІВ ( СИМІСТОР, ФОТОТИРИСТОР, ДВООПЕРАЦІЙНИЙ ТИРИСТОР, ОПТОТИРИСТОР, ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИЙ ТИРИСТОР, ЗАПІРНИЙ ТИРИСТОР )**

**МЕТА:** оволодіти знаннями про основні види напівпровідникових приладів

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

- 1 Особливості будови і принципу дії симістора.
- 2 Особливості будови і принципу дії фототиристора.
- 3 Особливості будови і принципу дії двоопераційного тиристора.
- 4 Особливості будови і принципу дії оптоотиристора.
- 5 Особливості будови і принципу дії електростатичного тиристора.
- 6 Особливості будови і принципу дії запірного тиристора.

#### **Література:**

1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.

2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Главное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Главное изд-во, 1987.

6 Бабилов М.А. Косинский А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

#### **Питання для самоконтролю.**

- 1 Особливості будови і принципу дії симістора.
- 2 Особливості будови і принципу дії фототиристора.
- 3 Особливості будови і принципу дії двоопераційного тиристора.

- 4 Особливості будови і принципу дії оптотиристора.
- 5 Особливості будови і принципу дії електростатичного тиристора.
- 6 Особливості будови і принципу дії запірного тиристора.

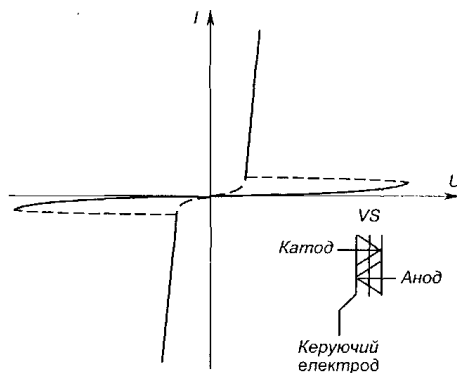


Рис. 2.42 – ВАХ симістора та його умовне позначення

## 7. Спеціальні типи тиристорів (симістор фото тиристор, двоопреційний тиристор, оптотиристор). Електростатичні тиристори. Запірний тиристор з МОН-керуванням

**Симістор** або симетричний тиристор - прилад, який є керованим як при позитивній, так і при негативній напрузі на ньому. ВАХ симістора та його умовне позначення наведено на рис. 2.42. Прилад являє собою п'ятишарову структуру. Його параметри подібні до параметрів триністора. **Фототиристор** - прилад, що керується світловим потоком. Параметри його силового кола приблизно такі ж, як і у триністора. Умовне позначення фототиристора наведено на рис. 2.43,а.

**Двоопераційний тиристор** - прилад, що не тільки вмикається, але й вимикається керуючим сигналом: вмикається як звичайний тиристор, а вимикається подачею в коло керування імпульсу від'ємної напруги, чим забезпечується переривання струму в структурі за рахунок відведення об'ємного заряду з бази. Умовне позначення двоопераційного тиристора наведено на рис. 2.43,б.

**Оптронний тиристор** - це поєднання світлодіода і а фототиристора в одному корпусі. Якщо через **світлодіод** пропускати **струм** (під дією  $U_{кер}$ ), він генеруватиме світловий потік, який, падаючи на структуру тиристора в юні керуючого р-п переходу, призведе до генерації в НП вільних носіїв заряду. Ці носії під дією прикладеної до тиристора напруги створюють струм керування і тиристор вмикається. Головна перевага оптронних тиристорів (як і фототиристорів) - це відсутність гальванічного зв'язку між колом керування та силовим колом. Умовне позначення оптронного тиристора наведено на рис. 2.43,в.

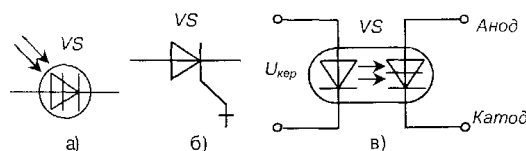


Рис. 2.43 – Умовні позначення фототиристора (а), двоопераційного (б) та оптронного (в) тиристорів



Наявність у тиристорів внутрішнього позитивного зворотного зв'язку (зона негативного опору на ВАХ) надає їм декілька важливих властивостей.

**Головне:** для вмикання тиристора достатньо в його коло керування подати короткий імпульс струму невеликої потужності. Далі відкритий стан підтримується за рахунок внутрішнього позитивного зворотного зв'язку. Тому тиристори мають дуже великий коефіцієнт підсилення за потужністю (десятки тисяч).

Порівняно з транзисторами, тиристори більш стійкі до перевантажень, але мають досить вузький діапазон робочих частот (до сотень герц).

### Електростатичні тиристори

Технологія їх виготовлення настільки складна, що опанована у світі лише декількома фірмами. Відповідно їхня вартість досить висока.

Еквівалентна схема і позначення такого тиристора наведені на рис. 2.44. У нормальному стані він проводить струм. Вимикання здійснюється подачею на керуючий електрод позитивної відносно катода напруги.

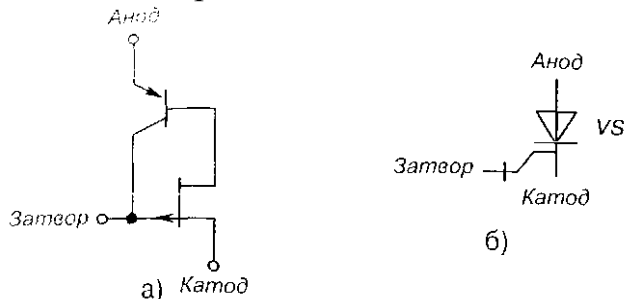


Рис. 2.44 – Еквівалентна схема (а) і позначення (б) електростатичного тиристора

### Запірний тиристор з МОН-керуванням

Найбільш перспективним із тиристорів для пристроїв енергетичної електроніки є тиристор, керований напругою - **запірний тиристор з мон -керуванням**. Його еквівалентна схема і позначення наведені на рис. 2.45. Він містить МОН-структури з  $n$ - ( $VT4$ ) та  $p$ -каналами ( $VT1$ ) і тиристорну чотиришарову структуру  $p-n-p-n$  ( $VT2$ ,  $VT3$ ).

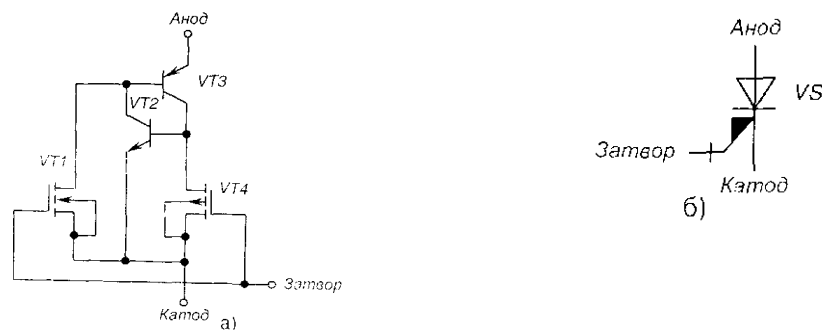


Рис. 2.45 – Еквівалентна схема (а) і позначення (б) запірного тиристора з МОН-керуванням

Вмикають його подачею імпульсу напруги позитивної відносно катода полярності на затвор  $n$ -канального МОН-транзистора  $VT1$ . Вимикання здійснюється подачею імпульсу напруги негативної полярності на затвор  $p$ -канального МОН-транзистора  $VT4$ , що на короткий час шунтує катодний перехід тиристорної

структури: емітерний перехід транзистора VT2. Цим забезпечується мала потужність у колі керування приладу.

Подібні тиристори (Integrated Gate-Commutated Thyristor або скорочено IGCT) типу 5SHY 35L4510 (фірма ABB Switzerland Ltd Semiconductors, Швейцарія) працюють при напругах до 4500 В і струмові вимикання до 4000 А (допустимий струм перенавантаження - 32 кА). Час вмикання і вимикання у них становить 10 мкс за мінімального періоду вмикання-вимикання 60 мкс. Тиристор комплектується драйвером з оптронним керуванням.

## **САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №8**

### **ТЕМА: ІНТЕГРАЛЬНІ СХЕМИ. РЕАЛІЗАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ В ІНТЕГРАЛЬНИХ МІКРОСХЕМАХ**

**МЕТА:** оволодіти знаннями про основні види напівпровідникових приладів

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

- 1 Особливості будови біполярних транзисторів.
- 2 Особливості будови польових транзисторів.
- 3 Особливості будови резисторів.
- 4 Особливості будови діодів.
- 5 Особливості будови конденсаторів.
- 6 Особливості будови котушок.

### **Література:**

1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.

2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроелектроніки (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

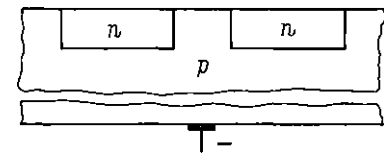
6 Баби́ков М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

### **Питання для самоконтролю.**

- 1 Особливості будови біполярних транзисторів.
- 2 Особливості будови польових транзисторів.
- 3 Особливості будови резисторів.
- 4 Особливості будови діодів.
- 5 Особливості будови конденсаторів.
- 6 Особливості будови котушок.

## 8 Реалізація елементів в інтегральних схемах (ізоляція, біполярні транзистори, супер-бета транзистор, составні транзистори, транзистори з бар'єром Шоткі, діоди, польові транзистори, МОН-транзистори, резистори, конденсатори, індуктивні резервування)

**Ізоляція.** Оскільки всі елементи робляться в єдиному напівпровідниковому кристалі, то важливо забезпечити ізоляцію елементів від кристала і один від одного.



Застосовуються найчастіше два способи ізоляції. Найбільш простий і дешевою є ізоляція і n- p- переходом. У цьому випадку в кристалі, наприклад, з кремнію типу p, методом дифузії робляться області типу і, звані «кишенями» (рис. 1).



У «кишенях» надалі формуються необхідні пасивні або активні елементи, а й n-p- перехід між «кишенею» і кристалом в працюючій ІС постійно знаходиться під

Мал. 1

зворотним напруженням. Для цього на кристал постійно подається негативний потенціал у кілька вольт. Кремнієвий n-p- перехід при зворотному напрузі має дуже високий опір (дещо мегаом), який і виконує роль ізоляції. Очевидно, що між будь-якими двома елементами опір ізоляції дорівнюватиме подвійному зворотному опорі ізолюючого n-p-переходу. Слід враховувати, що кожен такий перехід має бар'єрну місткість, і тому між

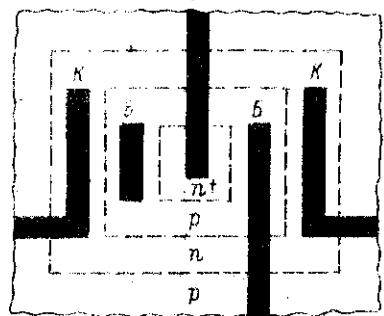
Мал.2

елементами виникає паразитний зв'язок місткості через місткості переходів.

Другий вид ізоляції - діелектричним шаром - показаний на мал. 2. Тут також є "кишені" для наступного формування в них потрібних елементів, але між "кишенею" і кремнієвим кристалом є тонкий діелектричний шар діоксиду кремнію SiO<sub>2</sub>. Створення цього шару значно ускладнює виготовлення мікросхеми. Та зате ізоляція виходить значно краще, ніж п - p-переходом.



І паразитна місткість між "кишенею" і кристалом при цьому методі ізоляції значно менше, оскільки діелектричний шар у декілька разів товще ізолюючого n - p- переходу. Проте із-за технологічної складності ізоляції діелектричним шаром найчастіше приміняється ізоляція n - p- переходом. У подальшому викладі скрізь на малюнках показана саме така ізоляція. Окрім описаних методів існують ще і деякі інші способи ізоляції.



### Біполярні транзистори.

Мал.1 Біполярний транзистор напівпровідникової ІС

Вони робляться по планерній або планерно-епітаксильній технології. Методом дифузії в кристалі створюють області колектора, бази і емітера (мал. 1). На малюнку транзистор показаний в розрізі і в плані.

Структура транзистора поглиблюється в кристал не більше ніж на 10-15 мкм, а лінійні розміри транзистора на поверхні не перевищують декількох десятків мікрометрів.

Як, правило, виготовляються транзистори типу  $n - p - n$ . Внутрішній (прихований) шар з підвищеною концентрацією домішок  $p$  в колекторі служить для зменшення опору  $i$ , отже, втрат потужності в області колектора. Але у колекторного переходу область колектора повинна мати знижену концентрацію домішок, щоб перехід мав велику товщину. Тоді місткість у нього буде менше, а напруга пробою - вище. Область емітера також часто роблять типу  $p$  для зменшення опору і збільшення інжекції. Згори на транзисторі створюється захисний шар оксиду  $SiO_2$ .

Від обастей колектора і бази часто роблять по два виводи, для того, щоб можна було з'єднати цей транзистор з сусідніми елементами без перетинів сполучних ліній.

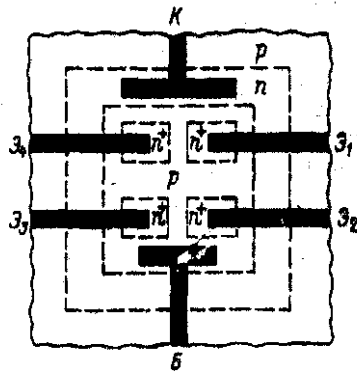


Рис. 9-8

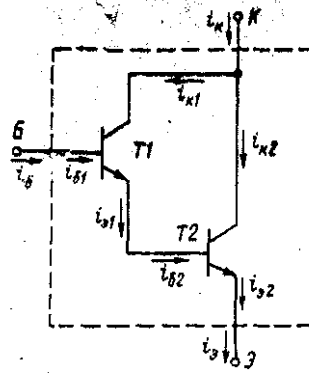
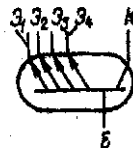


Рис. 9-9

Рис. 9-8. Многоэмиттерный транзистор

Рис. 9-9. Электрическая схема составного транзистора

Такі перетини дуже небажані, оскільки вони значно ускладнюють виробництво.

Важливою проблемою при проектуванні і конструюванні ІС являється таке розміщення (топология) елементів схеми, при якому з'єднання можуть бути зроблені без перетинів або, в крайньому випадку, з мінімальним числом перетинів. Крім того, важливо, наскільки це можливо, зменшити паразитні зв'язки між елементами. При великому числі елементів може бути величезне число варіантів розміщення цих елементів і для розгляду усіх таких варіантів з метою вибору оптимального розміщення потрібно витратити дуже багато часу.

Останнім часом цю роботу стали виконувати електронно-обчислювальні машини, які, діючи за певними заданими умовами, в короткий час можуть вибрати найвигідніше розміщення елементів.

Типові параметри біполярних транзисторів напівпровідникових ІС такі: коефіцієнт посилення струму бази 200, гранична частота до 500 МГц, місткість колектора до 0,5 пФ, пробивна напруга для колекторного переходу до 50 В, для емітерного до 8 В. Питомий опір  $n$ - і  $p$ -слоїв складає декілька сотень, а  $p$ -слоїв - не більше 15-20 Ом/кв.

Необхідно звернути увагу на те, що в напівпровідникових ІС завжди утворюються деякі паразитні елементи. Наприклад, з мал. 9-7 видно, що разом з транзистором типу  $n - p - n$ , створеним в кристалі типу  $p$ , існує паразитний транзистор  $p - n - p$ , в який входять кристал і області колектора і бази транзистора. А транзистор  $n - p - n$  разом з кристалом утворює паразитний тиристор  $n - p - n - p$ .

Внаслідок наявності зворотної напруги на ізолюючому переході паразитний транзистор і тиристор нормально замкнуті, але при попаданні в них яких-небудь імпульсів перешкод може статися небажане відмикання і спрацьовування цих елементів.

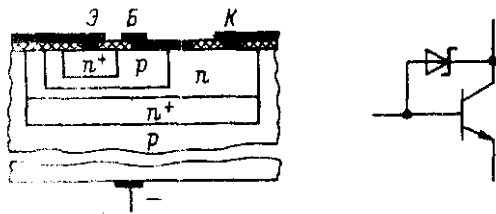


Рис. 9-10. Транзистор с барьером Шоттки

**Багатоемітерні транзистори.** Окрім звичайних транзисторів в цифрових напівпровідникових ІС застосовуються також багатоемітерні транзистори. Принцип пристрою таких транзисторів і їх зображення на схемах показані на мал. 9-8. Для прикладу узятий чотирьох-емітерний транзистор. Такий транзистор можна відмикати подачею імпульсу прямої напруги на будь-який з чотирьох емітерних переходів. До кожного емітера підключається своє джерело відмикаючого імпульсу.

При цьому важливо, що такий імпульс напруги не проникне в інші джерела вхідних імпульсів, оскільки емітерні переходи, не працюючі в даний момент, знаходяться під зворотною напругою.

Наприклад, якщо на емітер Е1 поданий імпульс негативної напруги, то "р-переход цього емітера відпирається і в транзисторі виникає колекторний струм. Негативний потенціал з Е1 передається на базу типу р, а оскільки емітери Е2, Е3 і Е4 мають нульовий потенціал, то на їх п-р-переходах виходить зворотна напруга, вони мають дуже високий опір і, таким чином, імпульс, поданий на Е1 не потраплятиме в ланцюги емітерів Е2, Е3 і Е4, т. е. ці ланцюги розв'язані один з одним.

Якби чотири різні джерела відмикаючих імпульсів були підключені разом до одного емітера, то розв'язки не вийшло б. В цьому випадку для розв'язки в ланцюг кожного джерела вхідного сигналу включають діоди, що значно складніше, ніж застосування одного багатоемітерного транзистора.

Слід звернути увагу, що в багатоемітерному транзисторі працюючий емітер разом з базою і іншим, сусіднім емітером утворює паразитний транзистор. Щоб зменшити вплив останнього, між сусідніми емітерами роблять відстань не менше 10 мкм, т. е. у такого паразитного транзистора виходить порівняно товста база.

Подібно до багатоемітерних транзисторів застосовуються багатоколекторні транзистори. Їх структуру можна уявити собі, якщо в схемі на мал. 9-8 чотири емітери включити як колектори, а колектор змусити працювати як емітер.

**Супербета-транзистор.** У мікросхемах іноді роблять транзистори з такою назвою. У них база має товщину усього лише 0,2 - 0,3 мкм і за рахунок цього коефіцієнт (β) досягає декількох тисяч. Проте гранична напруга гик.б в цих транзисторах не перевищує 1,5 - 2 В. При більшій напрузі відбувається зімкнення колекторного переходу з емітерним.

**Складені транзистори,** вживані в ІС, є парою транзисторів, сполучених так, що виходить елемент з дуже високим коефіцієнтом посилення (β). Найчастіше зустрічається так звана пара Дарлінгтона (мал. 9-9). На підставі схеми можна встановити наступні співвідношення:

$$i_{\beta 2} = \beta_{e1} = (\beta_1 + 1)\beta_2$$

$$\beta_k = \beta_{k1} + \beta_{k2} = \beta_1\beta_{\beta 1} + \beta_2\beta_{\beta 2}$$

Якщо значення  $\beta$  підставити в другу рівність і розділити цю рівність на  $\beta$ , то отримаємо результуючий коефіцієнт посилення такого складеного транзистора :

$$\beta = \beta_1 + \beta_2 + \beta_1\beta_2 \approx \beta_1\beta_2$$

При  $\beta_1 = \beta_2 = 100$  отримуємо  $\beta = 10^4$ . Практично  $\beta$  може досягати декількох тисяч.

Транзистор з бар'єром Шотки. Такий транзистор є біполярним транзистором, у якого колекторний перехід шунтований діодом Шотки. Як було показано в § 2-4, діод Шотки має контакт металу з напівпровідником і має випрямляючі властивості. Його гідністю є відсутність дифузійної місткості, і за рахунок цього робочі частоти діода доходять до 3 - 15 ГГц. На мал. 9-10 показані схема транзистора з бар'єром Шотки

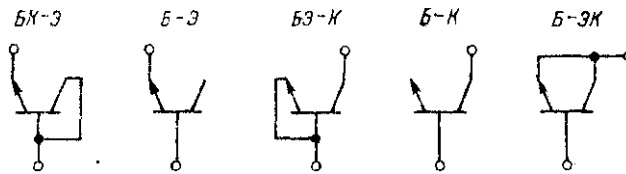


Рис. 9-11. Варіанти використання транзисторів в якості діодів

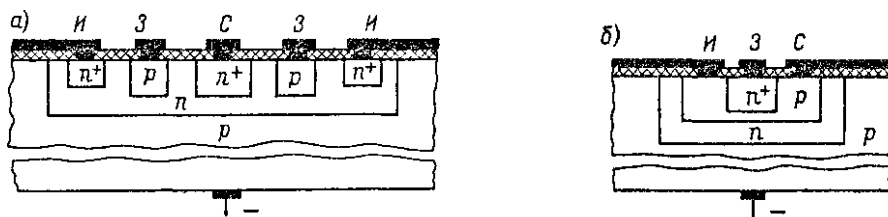
і структура такого транзистора в напівпровідниковій ІС. У ній алюмінієва металізація забезпечує невідпрямляючий контакт з базою типу  $p$ , але створює випрямляючий контакт, т. е. діод Шотки, з колектором типу  $n$ . При роботі такого транзистора в режимі ключа значно підвищується швидкодія. Транзистор швидше переходить з відкритого стану в закритий.

**Діоди (транзистори в діодному включенні).** Раніше діоди ІС виконувалися у вигляді структури з двох областей з різним типом електропровідності, т. е. у вигляді звичайного  $p$ - $n$ -перехода. Останніми роками в якості діодів стали застосовуватися біполярні транзистори в діодному включенні. Це виявилось зручним для виробництва. Можливі п'ять варіантів діодного включення транзистора. Вони показані на мал. 9-11 і дещо відрізняються один від одного по своїх параметрах. У варіанті БК - Э замкнуті накоротко база і колектор. У такого діода час відновлення, т.е. час перемикання з відкритого стану в закритий, найменше, - одиниці наносекунд. У варіанті Б - Э використовується тільки емітерний перехід. Час перемикання в цьому випадку у декілька разів більше. Обидва ці варіанти мають мінімальну місткість (десяті долі пікофарада) і мінімальний зворотний струм (0,5-1 нА), проте і мінімальна пробивна напруга. Останнє несуттєво для низьковольтних ІС. Варіант БЭ - К, в якому закорочені база і емітер, варіант Б -К з використанням одного колекторного переходу за часом перемикання і місткості приблизно рівноцінні варіанту Б - Э, але мають вищу пробивну напругу (40 - 50 В) і більший зворотний струм (15 - 30 нА). Варіант Б-ЭК з паралельним з'єднанням обох переходів має найбільший час перемикання (100 нс), найбільший зворотний струм (до 40 нА), дещо велику місткість і таку ж малу пробивну напругу, як і в перших двох варіантах. Найчастіше використовуються варіанти БК - Э і Б - Э.

Деякі з розглянутих варіантів діодів іноді застосовують в якості стабілітронів. Для стабільної напруги 5 -10 В використовують варіант Б - Э при зворотній напрузі в режимі електричного пробую. Стабільні напруги, кратні прямій напрузі 0,7 В, отримують при послідовному з'єднанні діодів (варіантів) БК-Э, працюючих при прямій напрузі. Температурний коефіцієнт напруги (ТКН) в таких стабілітронах складає одиниці мілівольт на кельвін. Найменші ТКН отримують при послідовному зустрічному з'єднанні двох діодів  $n$  - $p$ . По структурі вони аналогічні транзистору, у

якого зроблено дві емітерні області. Один діод працює в режимі електричного пробою, а інший - при прямій напрузі. Оскільки ТКН при прямій і зворотній напрузі має різні знаки, то проявляється ефект компенсації і результуючий ТКН виходить менше 1 мВ/До.

**Польові транзистори з п - р-переходом.** Ці транзистори можуть бути виготовлені спільно з біполярними на одному кристалі. На мал. 9.16, а показана структура планарного польового транзистора з п -каналом. У "кишені" п -типа створені області (п -типа) стоку і витоку і область (р-типа) затвора. Стік розташований в центрі, затвор навколо нього. Для зменшення початкової товщини каналу іноді усередині роблять прихований шар р, але це пов'язано з



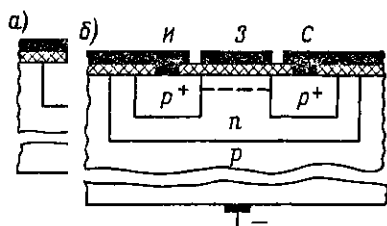
Мал. 9.16. Польовий транзистор напівпровідниковий ІС з каналом п -типа (а) і р-типа (б)

ускладненням технологічних процесів. Інший варіант польового транзистора - з каналом р-типа - зображений на мал. 9.16,б. Його структура співпадає із структурою звичайного п - р - п-тран- зистора. В якості каналу використовується шар бази.

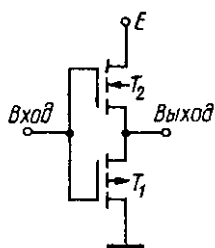
**МОН-ТРАНЗИСТОР.** Біполярні транзистори в ІС все більше витісняються транзисторами типу МОН (чи МДП). Це пояснюється важливими перевагами МОН-ТРАНЗИСТОР, зокрема їх високим входним опором і простотою пристрою. Особливо просто виготовляються МОН- транзистори з індукованим каналом. Для них в кристалі р-типа потрібно лише створити методом дифузії області п витоку і стоку (мал. 9.17, а).

На переходах між цими областями і підкладкою підтримується зворотна напруга, і таким чином виконується ізоляція транзисторів від кристала і один від одного. Аналогічна ізоляція каналу від кристала.

Дещо складніше виготовлення на підкладці типу р МОН-ТРАНЗИСТОР з каналом р-типа, оскільки для подібного транзистора необхідно спочатку зробити "кишеню" п -типа (мал. 9.17,б). У деяких ІС знаходять застосування пари МОН-транзисторів з каналами п- і р-типа.



Мал. 9.17. МОН-ТРАНЗИСТОР напівпровідни-кової ІС з індукованим каналом п -типа (а) і р-типа (б)



9.18. Схема інвертора на комплементарних транзисторах

Такі пари називають транзисторами (КМОП або КМДП) комплементу. Транзистори комплементу застосовуються в ключових (цифрових) схемах і відрізняються дуже малим споживанням струму і високою швидкістю. Зустрічаються також ІС, в яких на одному загальному кристалі виготовлені біполярні і МОН-ТРАНЗИСТОР.

Прикладом використання транзисторів комплементу може служити схема інвертора, широко вживана в різних цифрових (логічних) пристроях. У схемі на мал. 9.18 показані транзистори з індукованими каналами п- і р-типа. Їх затвори сполучені паралельно і є входом; стоки також сполучені паралельно і є виходом. Для джерела живлення Е транзистори з'єднані послідовно. При подачі на вхід позитивної або негативної напруги індукований канал виникає в одному або в іншому транзисторі, т. е. один транзистор відпирається в той час, коли інший замкнутий. Якщо замкнутий транзистор Т1 а Т2 відімкнений, то на виході буде напруга, близька до Е. При замкнутому транзисторі Т2 і відімкненому Т1 вихідна напруга близька до нуля. Таким чином, схема може знаходитися в одному з двох різних станів. Оскільки в будь-якому з цих станів один транзистор замкнутий, то уся схема споживає від джерела нікчемно малий струм.

**Резистори.** У напівпровідникових ІС використовуються так звані дифузійні резистори, що є усередині кристала області з тим або іншим типом електропровідності. На мал. 9.19 показані структури таких резисторів. Опір дифузійного резистора залежить від довжини, ширини і товщини області, що виконує роль резистора, і від питомого опору, т. е. від концентрації домішок. Резистор типу р (мал. 9.19, а) робиться одночасно з базами транзисторів.

В цьому випадку питомий опір складе сотні ом на квадрат і можуть бути отримані номінали до десятків кілоом. Для збільшення опору іноді резистор роблять зигзагоподібній конфігурації. Якщо потрібні відносно малі опори (одиниці і десятки ом), то резистори виготовляють одночасно з емітерними областями типу п (мал. 9.19,б) транзисторів. Температурний коефіцієнт дифузійних напівпровідникових резисторів виходить рівним десятим часткам відсотка на кельвін і менш.

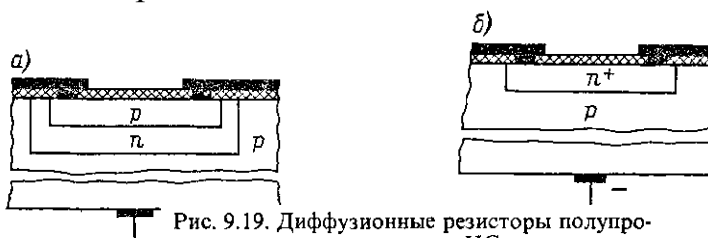


Рис. 9.19. Диффузійні резистори напівпровідникових ІС

Допуск (відхилення від номінала) складає  $\pm(15 - 20)\%$ , а іноді і більше.



Останнім часом окрім методу дифузії для виготовлення резисторів ІС стали застосовувати метод іонної імплантації. Він полягає в тому, що відповідне місце кристала піддається бомбардуванню іонами примі-сі, які проникають в кристал на глибину 0,2 - 0,3 мкм. У таких іонного-легованих резисторів питомий опір може бути до 20 кОм/□, а номінали досягають сотень кілоом з допуском  $\pm (5 - 10) \%$ .

Слід звернути увагу на паразитну місткість по відношенню до підложки. Крім того, у резистора типу р (мал. 9.19, а) разом з кристалом утворюється паразитний р - п - р-транзистор. При проектуванні ІС завжди вибираються такі режими роботи резистора, в яких паразитний транзистор замкнутий і практично не чинить шкідливого впливу. Паразитна місткість обмежує робочі частоти, на яких опір резистора можна вважати активним. На частотах вище деякою граничною опір резистора стає комплексним.

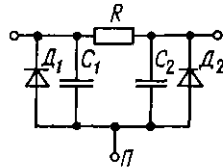


Рис. 9.20. Эквивалентная схема диффузионного резистора

Еквівалентна схема дифузійного резистора із структурою, зображеною на мал. 9.19,6, показана на мал. 9.20. У ній враховані паразитні елементи: конденсатори  $C_1$  і  $C_2$ , відповідною місткості між резистором і підложкою, і діоди  $D_1$  і  $D_2$ , що знаходяться під зворотною напругою. Діоди відповідають ізолюючому п-р-переходу. Схема є наближеною, оскільки насправді місткість і опір ізоляції розподілені уздовж резистора.

В якості резистора може бути використаний канал МОН-структури. Такі МОП-резистори робляться одночасно з МОН-транзисторами. Якщо по структурі вони виготовлені аналогічно транзисторам, то підбором напруги затвора можна встановити потрібний опір резистора. Аналогічні МОП-резисторам так звані *пінч-резистори*, що мають структуру польового транзистора з п - р-переходом. Резистором служить канал, а потрібний опір підбирається напругою затвора

**Конденсатори.** Типовим для напівпровідникових ІС являється дифузійний конденсатор, в якому використовується бар'єрна місткість п-р-перехода. Місткість такого конденсатора (мал. 9.21) залежить від площі переходу, діелектричної проникності напівпровідника і товщини переходу, яка, у свою чергу, залежить від концентрації домішок. Якщо потрібна велика місткість, то перехід роблять одночасно з емітерними переходами транзисторів.

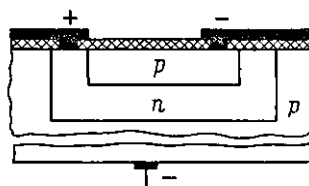


Рис. 9.21. Диффузионный конденсатор полупроводниковой ИС

Оскільки область емітера має електропровідність п -типа, то перехід в конденсаторі буде тоншим; питома місткість вийде більше, приблизно 1000 пФ/мм<sup>2</sup>. В цьому випадку конденсатори робляться місткістю до 1500 пФ з допуском  $\pm 20\%$ . Температурний коефіцієнт місткості (ТКЕ) складає приблизно  $-10^{-3} \text{ } \square^{-1}$ , пробивне

напруга не перевищує 10 В. На жаль, у таких конденсаторів низька добротність - не більше 20 на частоті 1 МГц. У конденсаторів, виготовлених одночасно з колекторними переходами, питома місткість буде менше, приблизно 150 пФ/мм<sup>2</sup>.

Такі конденсатори мають місткість НІ більше 500 пФ з допуском  $\pm 20\%$ . Пробивне напруга у них до 50 В, ТКЕ рівний -  $10^{-3} \text{ } \square^{-1}$  і добротність на частоті 1 МГц доходить до 100. Порівняно низька добротність розглянутих конденсаторів пояснюється тим, що діелектриком служить напівпровідниковий n- p-переход, в якому великі втрати енергії. Та і обкладання, роль яких виконують напівпровідникові шари, мають значний опір.

Дифузійні конденсатори працюють тільки при зворотній напрузі, яка має бути постійною для отримання постійної місткості. Оскільки бар'єрна місткість нелінійна, то дифузійний конденсатор може працювати в якості конденсатора змінної місткості, регульованої електрично, - шляхом зміни постійної напруги на конденсаторі. Змінюючи зворотну напругу в межах 1 -10 В, можна змінювати ємність 2,0 - 2,5 рази. У деяких схемах РЭА потрібно нелінійні конденсатори. Їх функції можуть виконувати дифузійні конденсатори.

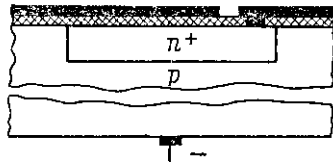


Рис. 9.22. МОН-конденсатор напівпровідникової ІС

На мал. 9.22 показаний МОН-конденсатор, вживаний в напівпровідникових ІС, особливо в таких, які працюють на МОН-транзисторах. Одній обкладці служить дифузійний шар кремнію типу n, на якому створюється тонкий шар діелектрика SiO<sub>2</sub>. Поверх цього шару наноситься металева (алюмінієва) плівка, граюча роль другого обкладки. Питома місткість таких конденсаторів до 400 пФ/мм<sup>2</sup>, номінали бувають до 500 пФ з допуском  $\pm 25 \%$ . Пробивна напруга може бути до 20 В. Гідність МОН-конденсаторів - порівняно низький ТКЕ (приблизно  $22 \cdot 10^{-4} \text{ } K^{-1}$ ), вища добротність (до 200-250) і можливість роботи при будь-якій полярності напруги. Нелінійність місткості, т. е. залежність її від напруги, у МОН-конденсаторів значно менше, ніж у дифузійних конденсаторів. Так само як і у інших елементів, у конденсаторів ІС утворюються паразитні місткості по відношенню до кристала і паразитні транзистори.

На мал. 9.23 зображена еквівалентна схема дифузійного конденсатора, структура якого зображена на мал. 9.21. Окрім основної ємності  $C$  показана місткість підложки  $C_n$  і діоди  $D_1$  і  $D_2$ , знаходячись під зворотною напругою і що відповідають двом n - p-переходам. Опори областей бенкет, що утворюють конденсатор, показані резисторами  $R_1$  і  $R_2$  - **МОЖЛИВІ** різні варіанти еквівалентних схем. Наприклад, замість двох діодів можна показати паразитний транзистор типу p-p-p.

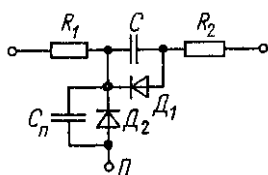


Рис. 9.23. Еквівалентна схема дифузійного конденсатора

На мал. 9.23 зображена в розрізі частина напівпровідникової ІС, що відповідає схемі на мал. 9.4, т. е. що складається з дифузійного конденсатора, транзистора і резистора.

**Індуктивність.** Котушки індуктивності в напівпровідникових ІС зробити неможливо. Тому зазвичай проектуються такі ІС, в яких не потрібно індуктивність. Якщо все ж необхідно мати індуктивний опір, то можна створити еквівалент індуктивності, що складається з транзистора, резистора і конденсатора. Приклад одного з таких еквівалентів показаний на мал. 9.24.

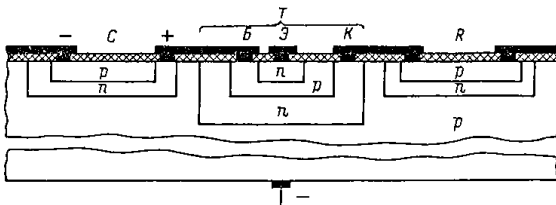
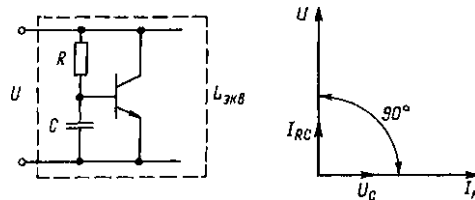


Рис. 9.24. Полупроводникова ІС

Тут змінна напруга  $U$  підводиться між колектором і емітером транзистора. Для спрощення не показана подача на транзистор постійної живлячої напруги. Частина змінної напруги  $U$  через  $RC$ -коло подається на базу. Значення  $R$  і  $C$  підібрані так, що  $R \gg 1/(\omega C)$ . Тоді струм  $I_{RC}$  в  $RC$ -кола можна приблизно вважати співпадаючим по фазі з напругою  $U$ . Але напруга  $U_q$  на конденсаторі відстає



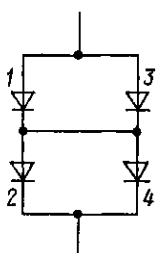
Мал. 9.25. Еквівалент індуктивності

від струму  $I_{RC}$  на  $90^\circ$ . Напругу  $U_c$  подається на базу і управляє колекторним струмом транзистора  $I_K$ , який співпадає по фазі з напругою  $U_c$ , т. е. відстає на  $90^\circ$  від напруги  $U$ .

Таким чином, транзистор в цій схемі створює для напруги  $U$  опір, еквівалентний деякому індуктивному опору  $\omega L_{екв} = U/I_K = \omega L_{екв}$

**Резервування (дублювання).** Як вже було вказано, напівпровідникові  $C$  мають дуже високу надійність. Проте в деяких, особливо відповідальних випадках необхідно надійність ще підвищити. Один з методів підвищення надійності - резервування (дублювання) елементів. Пояснимо цей принцип на прикладі діода. На мал. 9.26 показана схема включення чотирьох діодів замість одного, причому діоди сполучені один з одним послідовно і паралельно. Відмова діода може бути, як правило, наслідком або пробією (короткого замикання), або розриву ланцюга. Нехай кожен діод має прямий опір  $10 \text{ Ом}$  і зворотне  $1 \text{ МОм}$ .

Рис. 9.26. Принцип дублювання діода



Якщо, наприклад, пробитий діод 1 і його опір приблизно можна вважати рівним нулю, то працюватимуть діоди 2 і 4, котрі створять прямий опір  $5 \text{ Ом}$  і зворотне  $0,5 \text{ МОм}$ . А якщо в діоді 1 станеться порушення контакту (обрив), то залишаться працювати діоди 2, 3 і 4. Вони дадуть пряме опору  $15 \text{ Ом}$  і зворотне  $1,5 \text{ МОм}$ .

Аналогічно усе буде при відмові будь-якого іншого діода. Вірогідність відмови одночасно двох діодів, що призводить до відмови усієї четвірки, нікчемно мала. Таким чином, підвищення надійності за принципом дублювання дає дуже відчутний ефект. (До речі, на початку глави ми відмічали, що такий принцип діє відносно нервових клітин в людському мозку.)

## **САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №9**

### **ТЕМА: ЕЛЕКТРОВАКУУМНІ ПРИЛАДИ**

#### **МЕТА: оволодіти знаннями про будову електронних ламп**

#### **Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

- 1 Особливості будови електронних ламп.
- 2 Нумерація виводів ламп.

#### **Література:**

1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.

2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Главное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

6 Бабилов М.А. Косинский А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

#### **Питання для самоконтролю.**

- 1 Які особливості конструкції сіток?
- 2 Як створюється вакуум в електронних лампах?
- 3 З яких металів виготовляють елементи електронних ламп?
- 4 Як здійснюється нумерація виводів в електронних лампах?

### **1. Особливості будови електронних ламп**

Анод лампи переймає на себе потік електронів. Відбувається електронне бомбардування анода, від якого він нагрівається. Крім того, анод нагрівається від теплового випромінювання катода. У сталому режимі кількість теплоти, що виділяється на аноді, дорівнює кількості теплоти, що відводиться від анода.

Важливо, щоб анод не нагрівся вище за граничну температуру. При перегріванні з анода можуть виділятися гази, і тоді погіршується вакуум. Можливо навіть розплавлення анода від надмірного перегрівання. Крім того, розжарений анод випускає теплові промені, які можуть викликати перегрівання катода.

У ламп малої потужності і більшості ламп середньої потужності анод має променисте охолодження. Теплота відводиться випромінюванням анода. Для посилення теплового випромінювання збільшують площу поверхні анода (часто забезпечують ребрами) і роблять її чорною або матовою. У лампах середньої і великої потужності іноді застосовується примусове охолодження потоком повітря.

Виведення анода забезпечується радіатором, який обдувається вентилятором. У ламп великої потужності застосовується також примусове охолодження анода проточною водою.

Різні конструкції сіток (циліндрична, плоска та ін.) показані на мал. 15.9.

Робота ламп погіршується, якщо сітка, нагріваючись від розжареного катода, починає випускати термоелектрони. Для усунення цього явища провідники сітки покривають шаром металу з великою роботою виходу, наприклад золото.

Щоб ефективно управляти електронним потоком, сітку розташовують дуже близько до катода.

Вакуум в лампах потрібний передусім тому, що розжарений катод за наявності повітря згорить. Крім того, молекули газів не повинні заважати вільному польоту електронів. Високий вакуум в лампах характеризується тиском менше 100 мкПа. Якщо вакуум недостатній, то електрони, що летять, ударяють в молекули газів і перетворюють їх на позитивні іони, які бомбардують і руйнують катод. Іонізація газів збільшує також інерційність і нестабільність роботи лампи і створює додаткові шуми.

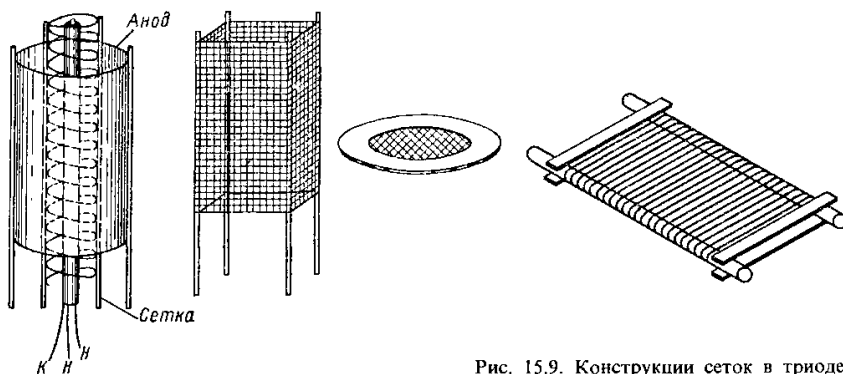


Рис. 15.9. Конструкції сіток в триоде

Попереднє відкачування повітря роблять форвакуумними насосами, потім продовжують високовакуумними насосами. Крім того, обезгажують електроди шляхом нагріву їх до червоного накалу. Лампу поміщають в змінне магнітне поле, що індукує в електродах вихрові струми, які розігрівають метал.

Для поліпшення вакууму в лампу поміщають газопоглинач (геттер), наприклад шматочок магнію або барію. При розігріванні лампи вказаним вище індукційним способом газопоглинач випаровується і після охолодження осідає на склі балона, покриваючи його дзеркальним шаром (магній) або коричнево-чорним (барій). Цей шар поглинає гази, які можуть виділитися з електродів в процесі роботи лампи.

Розміри балона лампи залежать від її потужності. Щоб температура балона не стала неприпустимо високою, збільшують площу його поверхні. Найчастіше застосовують скляні балони, але у керамічних значно вище термостійкість і механічна міцність.

Металеві (сталеві) балони мають велику міцність і забезпечують хороше екранування лампи від зовнішніх електричних і магнітних полів. Але вони сильно нагріваються, і це призводить до перегрівання електродів.

Останніми роками випуск ламп з металевими балонами припинений.

У лампах старого типу електроди укріплені на скляній ніжці у вигляді трубки, сплюснутої на одному кінці (мал. 15.10, а). У цю ніжку упаяна тяганина з металу, що має однаковий із склом температурний коефіцієнт розширення. Кінці вивідної тяганини приварені до провідників, що йдуть до контактних штирів цоколя.

Утримувачі електродів кріпляться в слюдяних або керамічних пластинах - ізоляторах, завдяки чому фіксується відстань між електродами (мал. 15.10,б).

У ламп пальчикової серії і ряду інших електроди монтуються на плоскій ніжці, що є потовщеною скляною основою балона. У ніжку упаяні провідники (мал. 15.10, в), які зовні виконують роль контактних штирів, а усередині лампи є утримувачами електродів. Катод прямого напруження зазвичай натягається за допомогою пружинки (мал. 15.10, г), щоб він не провисав при подовженні від нагріву.

У лампах є ще деякі допоміжні деталі. До них відносяться утримувачі для геттера, електростатичні екрани, що усувають струми місткостей між окремими

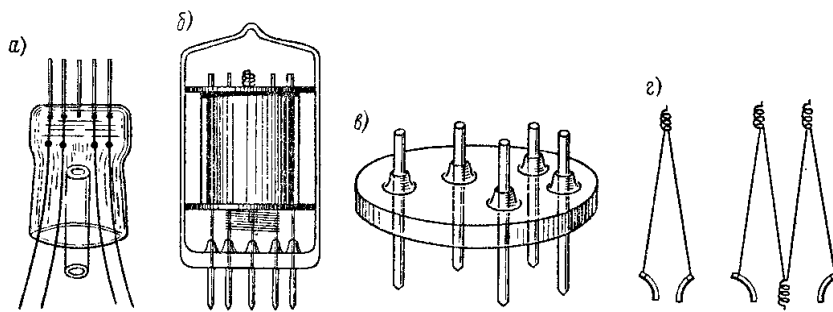


Рис. 15.10. Крепление электродов и их выводов в стеклянных лампах

мі лампи або що захищають лампу від дії зовнішніх електричних полів.

Особлива увага приділяється точності зборки і міцності кріплення електродів. Але все таки існує розкид електричних властивостей між окремими екземплярами ламп цього типу. Він пояснюється неоднорідністю деталей, їх випадковими деформаціями при зборці, неточністю зборки, неоднаковістю емісії катодів у різних екземплярів ламп і іншими причинами.

Система виводів від електродів, що служить для підключення лампи до схеми, називається цоколювкою лампи. Скляні лампи з цоколем мають вісім штирів, розташованих у вершинах правильного восьмикутника (мал. 15.11, а). У центрі цоколя знаходиться ключ, т. е. довший штир з виступом, що забезпечує правильну установку лампи. Штирки прийнято нумерувати за годинниковою стрілкою від виступу на ключі. Електростатичний екран, наявний усередині деяких ламп, сполучений з одним з штирків.

У різних ламп електроди з'єднуються з різними штирками. Схеми цоколювки приводяться в довідниках.

При анодній напрузі в сотні вольт усі електроди мають виводи на цоколь. А у ламп на напругу в тисячі вольт виведення анода часто знаходиться нагорі балона.

Висновки електродів у пальчикових ламп зроблені у вигляді семи, або дев'яти, або десяти загострених провідників, упаяних в плоску ніжку і розташованих відповідно у вершинах правильного багатокутника (мал. 15.11,б). Надмініатюрні безцокольні лампи мають виводи від електродів у вигляді тяганини. У потужних ламп виводи від електродів часто роблять в різних місцях балона і на видаленні один від одного, оскільки напруга між цими виводами може бути значною.

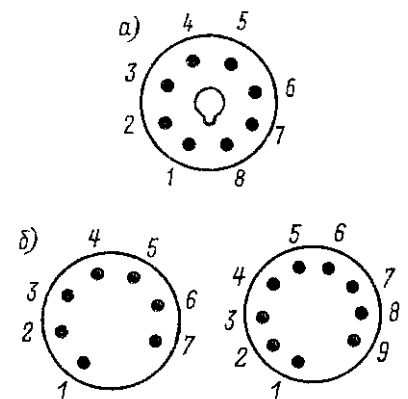


Рис. 15.11. Цоколевка ламп

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №10

**ТЕМА: ГАЗОРОЗРЯДНІ ТА ІОННІ ПРИЛАДИ, БУДОВА ПРИНЦИП ДІЇ**

**МЕТА: оволодіти знаннями про будову та принцип дії електронних ламп**

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

- 1 Електричний розряд у газах.
- 2 Тліючий розряд.
- 3 Дисплеї.

**Література:**

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Главное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

**Питання для самоконтролю.**

- 1 Які особливості конструкції іонних приладів?
- 2 Як створюється тліючий розряд?
- 3 Що таке іонізація?
- 4 Види дисплеїв.

### Газорозрядні та іонні прилади, будова принцип дії СТАБІЛІТРОНИ

*Стабілітрони* - прилади тліючого і коронного розряду. Найбільш поширені стабілітрони тліючого розряду, працюючі, в режимі нормального катодного падіння. Останнім часом вони все частіше замінюються напівпровідниковими стабілітронами.

Оскільки темний розряд, передуючий тліючому, не використовується, його не показують на вольт-амперній характеристиці стабілітрона (мал. 21.6). Точку виникнення розряду *A* відмічають на вертикальній осі. До того ж міліамперметр для виміру струму тліючого розряду не покаже нічужого малого струму темного розряду.

Область нормального катодного падіння, придатна для стабілізації, обмежена мінімальним струмом  $I_{\min}$  і максимальним  $I_{\max}$ . При струмі, меншому  $I_{\min}$ , розряд може припинитися. Струм  $I_{\max}$  або відповідає початку режиму аномального катодного падіння, або при ній досягається гранична потужність.

Стрибок струму при виникненні розряду може бути різним залежно від опору  $R_{\text{огр}}$ . Якщо воно велике, то з'являється порівняно невеликий струм, а

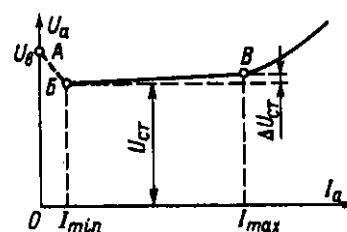


Рис. 21.6. Вольт-амперная характеристика стабилитрона

якщо мале  $R_{\text{огр}}$ , то виникає великий струм і точка  $B$  переміщається до точки  $B$ . Для режиму стабілізації це не вигідно, оскільки ділянка стабілізації напруги  $BB$  скорочується. При малому опорі  $R_{\text{огр}}$  може навіть статися стрибок струму в область аномального катодного падіння і стабілізації взагалі не вийде.

Таким чином, обмежувальний резистор з достатнім опором потрібний з двох причин: щоб не сталося надмірного зростання струму і щоб міг існувати режим стабілізації напруги.

Чим більше площа катода, тим більше ділянка стабілізації  $BB$ , оскільки струм  $I_{\text{min}}$  залишається незмінним, а струм  $I_{\text{max}}$  зростає пропорційно площі катода. Тому у стабілітронів катод з великою площею поверхні. Анод роблять малих розмірів, але він, звичайно, не повинен перегріватися від струму  $I_{\text{max}}$ .

Найбільш поширені двохелектродні стабілітрони з циліндричним катодом з нікелю або сталі. Анодом служить зволікання діаметром 1,0-1,5 мм (мал. 21.7, а). Балон наповнений сумішшю інертних газів (неон, аргон і гелій) під тиском в тисячі паскалів (десятки міліметрів ртутного стовпа).

Основні параметри стабілітрона : *нормальна робоча напруга*, або *напруга стабілізації*  $U_{\text{ст}}$ , відповідає середній точці ділянки стабілізації (див. мал. 21.6), напруга виникнення розряду  $U_{\text{в}}$ , мінімальний і максимальний струм  $I_{\text{min}}$  і  $I_{\text{max}}$ , зміна напруги стабілізації  $\Delta U_{\text{ст}}$  і внутрішній опір змінному струму  $R_i$ . Якщо потрібно знижену напругу  $U_{\text{ст}}$ , то поверхня катода з внутрішньої сторони активується, щоб полегшити емісію електронів під ударами іонів. Застосовуючи різні суміші газів, підбирають потрібне значення  $U_{\text{ст}}$ . Напруга  $U_{\text{в}}$  зазвичай перевищує напругу  $U_{\text{ст}}$  не більше ніж на 10-20 В. Для зниження напруги  $U_{\text{в}}$  на внутрішній поверхні катода є провідник (він показаний на мал. 21.7, а), що зменшує відстань між катодом і анодом. Без нього стабілітрон працював би на висхідній (правою) частині характеристики виникнення розряду (див. мал. 21.2).

В межах області стабілізації напруга  $U_{\text{ст}}$  змінюється на значення  $\Delta U_{\text{ст}}$ , яке не перевищує 1-2 В. Робота стабілітрона із струмом вище  $I_{\text{max}}$  не рекомендується, оскільки погіршується стабілізація і електроди перегріваються. Внутрішній опір стабілітрона змінному струму (диференціальний опір)  $R_i = \Delta U_{\text{ст}} / \Delta I_{\text{ст}}$  і значно менше опорі постійному струму  $R_0$ . Якби стабілізація була ідеальною ( $U_{\text{ст}} = \text{const}$ ), той опір  $R_i$  дорівнював би нулю.

У вітчизняних стабілітронів напруга стабілізації буває від 75 В до декількох сотень вольт, струм  $I_{\text{min}}$  зазвичай 3 - 5 мА, а  $I_{\text{max}}$  - декілька десятків міліампер.

Для *стабілітронів коронного розряду* характерні висока напруга і малі струми. У таких стабілітронів (мал. 21.7,б) електроди циліндричної форми з нікелю. Балон наповнений воднем, причому напруга стабілізації залежить від тиску газу, який зазвичай складає тисячі паскалів (десятки міліметрів ртутного стовпа). Напруга  $U_{\text{ст}}$  при цьому декілька сотень вольт. Робочі струми в межах 3 - 100 мкА. Внутрішній опір змінному струму сотні кілоом. Процес виникнення розряду триває 15 - 30 с. Останнім часом випущені стабілітрони коронного розряду, оформлені в керамічних балонах, на напругу в десятки кіловольт.

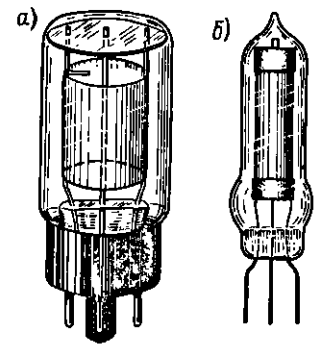


Рис. 21.7. Стабілітрони тлеющого (а) і коронного (б) розряду



## ТИРАТРОНИ ТЛІЮЧОГО РОЗРЯДУ

Широке застосування отримали *тиратрони тліючого розряду* (тиратрони з холодним катодом) з трьома або більше електродами. Вони використовуються в автоматиці, в релейних і рахункових схемах, а також в імпульсних генераторах і інших пристроях. Назва "тиратрон" походить від слова "електрон" і грецького слова *thyra* (двері), "відкривання" {відмикання) тиратрона, що підкреслює можливість, за допомогою сітки.

У трьох електродних тиратронах тліючого розряду між анодом і катодом розташований третій електрод, званий *сіткою* або *пусковим електродом*. Сітка в тиратроні має більше обмежену дію, ніж в електронних електровакуумних тріодах. У останніх, змінюючи напругу сітки, можна повністю управляти анодним струмом, т. е. регулювати його від нуля до максимального значення. А в тиратроні за допомогою сітки можна тільки відмикати тиратрон, але не можна змінювати анодний струм. Після виникнення розряду сітка втрачає керуючі дії. Припинити розряд в тиратроні можна тільки пониженням анодної напруги до значення, при якому розряд не зможе існувати, або розривом анодного ланцюга.

На рис. 21.11 показаний пристрій одного з тиратронів тліючого розряду. Відстані між електродами і тиск газу підбираються так, що між сіткою і катодом виникає самостійний темний розряд при нижчій напрузі, ніж напруга між анодом і катодом. А потім може виникнути тліючий розряд між катодом і анодом, якщо напруга анода буде достатньою. При цьому струм сітки складає одиниці або десятки мікроампер, а струм анода може бути в тисячі разів більшим (одиниці або десятки міліампер). Напруга виникнення розряду в анодному ланцюзі  $U_B$  тим нижче, чим більше струм сітки  $i_d$ . Це пояснюється тим, що з ростом струму сітки в проміжку сітка - катод збільшується кількість іонів і електронів і полегшується виникнення розряду в анодному ланцюзі.

Залежність напруги  $U_B$  від струму  $i_d$  називається *пусковою характеристикою*. За відсутності струму сітки напруга виникнення розряду максимальна. Збільшення струму  $i_d$  викликає зниження напруги  $U_B$ , спочатку різке, а потім повільне. Проте значення  $U_B$  не може бути менше робочої напруги  $U_{роб}$ , необхідного для підтримки тліючого розряду між анодом і катодом. Пускова характеристика залежить від роду газу, його тиску, форми і стану поверхні електродів.

Втрата сіткою керівника дії після виникнення розряду в анодному ланцюзі пояснюється тим, що сітка оточена плазмою - з великою кількістю електронів і іонів. Позитивно заряджена сітка притягує з плазми електрони, які утворюють біля поверхні сітки негативно заряджений шар (електронну оболонку), нейтралізуючий дію позитивного заряду сітки (мал. 21.12, а). Якщо збільшити, або зменшити позитивну напругу сітки, то вона притягне до себе з плазми більше або менше електронів і як і раніше дія її заряду нейтралізуватиметься відповідно до зарядом електронної оболонки, що змінився. А якщо дати на сітку негативну напругу, то вона притягне з плазми позитивні іони, які створять навколо неї позитивно заряджений шар (іонну оболонку), нейтралізуючий дію негативного заряду сітки (мал. 21.12,б).

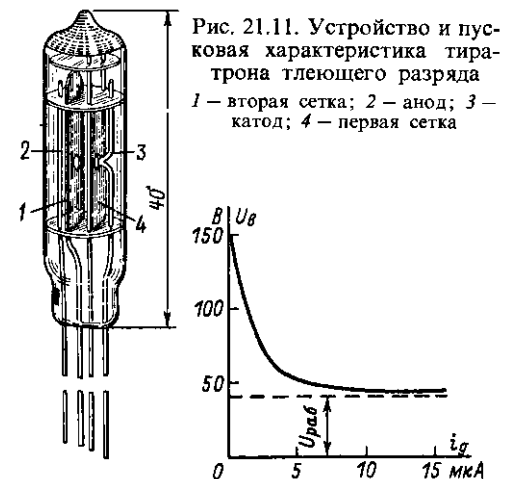


Рис. 21.11. Устрій і пускова характеристика тиратрона тліючого розряду  
1 — втора сетка; 2 — анод; 3 — катод; 4 — первая сетка

Електронна (чи іонна) оболонка сітки знаходиться в динамічному стані. Так, наприклад, іони, торкнувшись негативно зарядженої сітки, віднімають від неї електрони і перетворюються на нейтральні атоми, але на зміну їм до сітки притягуються з плазми нові іони. Якщо збільшити негативну напругу сітки, то вона притягне більше іонів. Заряд іонної оболонки збільшується і знову повністю компенсує дію негативного заряду сітки. Інакше можна сказати, що поле, що створюється зарядом сітки, зосереджене між сіткою і її іонною(чи електронною) оболонкою, як між обкладаннями конденсатора. Це поле не проникає через оболонку, тому не може впливати на струм анода.

Схема включення тиратрона тліючого розряду в якості реле показана на мал. 21.13. Напругу анодного джерела  $E_a$  повинно бути менше  $U_{в\max}$ , а напруга  $E_d$  - менше того, яке потрібне для виникнення розряду в проміжку сітка - катод. Резистор  $R_d$  обмежує сітковий струм і тому збільшує вхідний опір схеми для джерела імпульсів, що відмикають тиратрон. Коли позитивний імпульс напруги, достатній для відмикання, поступає на сітку, то виникає розряд на ділянці сітка - катод. Якщо при цьому виходить необхідний струм сітки, то розряд переходить і на анод. Отже, імпульс напруги і струму від малопотужного генератора в ланцюзі сітки викликає значний струм в навантаженні  $R_n$ , включеному в анодний ланцюг.

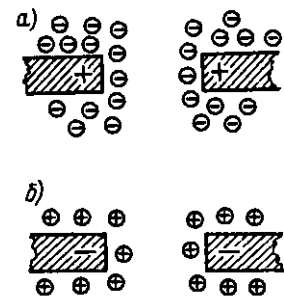


Рис. 21.12. Електронна і іонна оболонка сітки

Ряд тиратронів тліючого розряду випускається з двома сітками. У таких тиратронах управляє друга сітка, найвіддаленіша від катода. На першу сітку подається постійна позитивна напруга, і в ланцюзі цієї сітки увесь час існує дуже невеликий струм (одиниці або десятки мікроампер) так званого підготовчого розряду. На другій сітці постійна позитивна напруга нижча, ніж на першій. Тому гальмівне поле між сітками не допускає електрони до анода.

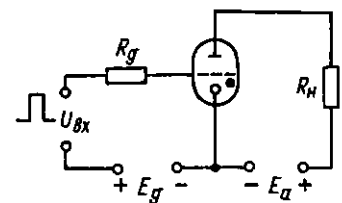


Рис. 21.13. Включення тиратрона тліючого розряду в качестве реле

При подачі імпульсу додаткової напруги на другу сітку тиратрон відпирається, т. е. електрони проникають крізь другу сітку, і в ланцюзі анода виникає тліючий розряд.

Наші вітчизняні тиратрони тліючого розряду, як правило, мають надмініатюрне оформлення і наповнені неонем, або аргоном, або неонно-аргоною сумішшю. Вони можуть працювати при температурі довкілля від - 60 до 100° С. Їх довговічність складає декілька тисяч годинників. Робоча напруга сіток знаходиться в межах від десятків до 100-300 В. Час відновлення управляючої дії сітки після припинення анодного струму залежить від тривалості деіонізації і зазвичай складає десятки або сотні мікросекунд.

В якості прикладу застосування тиратрона розглянемо просту схему тиратронного генератора пилоподібної напруги (мал. 21.14, а). Від джерела анодного живлення  $E_a$  через резистор  $R$  заряджається конденсатор  $C$ . Паралельно конденсатору включений тиратрон  $L$ . Під час заряду конденсатора напруга на

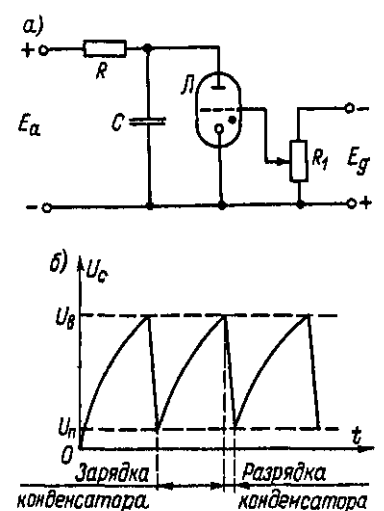


Рис. 21.14. Схема и график работы генератора пилообразного напряжения с тиратроном

нім росте, і коли воно досягає напруги виникнення розряду  $U_B$ , то тиратрон відпирається і починає проводити струм. Опір його стає порівняно малим, і конденсатор швидко розряджається через тиратрон. Напруга знижується до напруги припинення розряду  $U_P$ . Як тільки розряд в тиратроні припиниться, знову почнеться порівняно повільний заряд конденсатора через резистор, опір якого значно більше опору відкритого тиратрона, і увесь процес повторюватиметься.

Графік пилкоподібної напруги, що виходить на аноді тиратрона і на конденсаторі, показаний на мал. 21.14,6. Оскільки напруга  $U_P$  у тиратронів невелике, а напруга  $U_B$  досягає сотень вольт, то подібний генератор може видавати пилкоподібну напругу з великою амплітудою. Чим більше опір  $R$  і ємність  $C$ , тим повільніше відбувається заряд і тим нижче частота. Крім того, якщо збільшити позитивну напругу сітки тиратрона, то знизиться напруга  $U_B$  і це викличе зменшення амплітуди і підвищення частоти.

В. сучасною РЭА широко застосовуються різні індикаторні прилади, зокрема так звані знакові і цифрові індикатори. Деякі з них відносяться до газорозрядних приладів тліючого розряду, але існують і електронні електровакуумні індикатори. Розроблені і використовуються також напівпровідникові індикаторні прилади, про які розказано в гл. 13.

**Неонові лампи** застосовуються в якості індикаторів напруги і для інших цілей. Вони є приладами тліючого розряду, працюючими в режимі аномального катодного падіння обов'язково з обмежувальним резистором  $R_{огр}$ .

Вольт-амперна характеристика приведена на мал. 21.15. При виникненні розряду (точка  $A$ ) відбувається стрибок струму і напруги і починається світіння. Подальше підвищення напруги викликає підвищення струму. При цьому збільшується щільність струму катода і яскравість світіння. Характерне те, що при зменшенні напруги крива піде вище, ніж при збільшенні. Розряд припиняється при нижчій напрузі, ніж виникає ( $U_P < U_B$ ). У момент припинення розряду струм стрибком зменшується до нуля, а напруга стрибком підвищується, оскільки падіння напруги на резисторі  $R_{огр}$  стрибком зменшується до нуля і напруга, що підводиться до ланцюга, перерозподіляється. Експериментальна напруга  $U_P$  вимірюють як найбільш низька напруга за наявності струму і світіння в лампі (перед припиненням розряду).

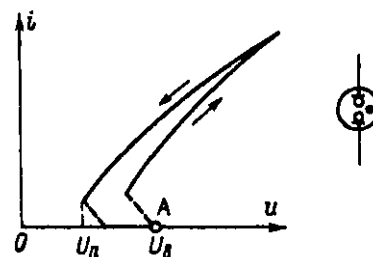


Рис. 21.15. Вольт-амперная характеристика и условное графическое обозначение неоновой лампы

Різниця між напругою  $U_P$  і  $U_B$  характерна для усіх газорозрядних приладів, зокрема для стабілітронів. У неонових ламп напруга  $U_P$  на декілька одиниць або десятків вольт нижчий, ніж напруга  $U_B$ . Це пояснюється тим, що перед виникненням розряду газ неіонізований. А перед припиненням розряду газ іонізований, і розряд існує при нижчій напрузі.

Неонова лампа застосовується в якості індикатора постійної і змінної напруги. При змінній напрузі розряд виникає в мить, коли миттєве значення напруги стає рівним напрузі  $U_B$ .

Промисловість випускає багато різних неонових ламп. Напруга  $U_B$  у них може бути 50 - 200 В, а іноді і вище. Робочий струм при нормальному світінні - від десятих доль міліампера до десятків міліампер.

Значний інтерес представляє керована трьохелектродна індикаторна лампа, що має анод і два катода : індикаторний і допоміжний, розташовані усередині анода. Через купол балона можна бачити світіння газу тільки біля індикаторного катода. Індикаторний катод *ИК* підключений до мінуса джерела через резистор *R*, а допоміжний катод *БК* безпосередньо (мал. 21.16). Коли на лампу подана тільки напруга від анодного джерела, працює допоміжний катод. Оскільки він затулений анодом, те світіння газу не видно. Нехай тепер на резистор в ланцюзі індикаторного світіння катода подана додаткова напруга, що управляє, в декілька одиниць вольт з такою полярністю, щоб воно підсумовувалося з напругою анодного джерела. Тоді напруга між анодом і індикаторним катодом зростає, розряд перекидається на цей катод і лампа дає видиме світіння. Якщо ж додаткова напруга, що подається на резистор, зняти, то розряд знову буде тільки між анодом і допоміжним катодом.

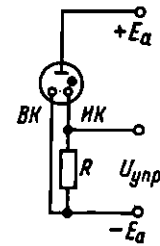


Рис. 21.16. Включення управляемой индикаторной лампы

Світіння газу у індикаторного катода припиняється.

**Знакові індикатори тліючого розряду** широко поширені. Принцип пристрою їх показаний на мал. 21.17. У балоні з неоном знаходяться катода, вигнуті з дроту у вигляді цифр або інших знаків і розташовані один за іншим. На мал. 21.17, а приведено для спрощення лише перші два катода у вигляді цифр 1 і 2. У цифрових індикаторах є 10 катодів у вигляді цифр від 0 до 9. Анод зазвичай зроблений з дротяної сітки. При подачі напруги між анодом і одним з катодів виникає світіння газу (біля катода), т. е. видно знак, що світиться. Товщина лінії, що світиться, приблизно 1 - 2 мм. Випускаються подібні індикатори з так званими сегментними катодами, що синтезують зображення (мал. 21.17,б). Включення цих катодів в тій або іншій комбінації дає зображення цифри або якогось іншого знаку, що світиться. Нині випускається багато типів подібних індикаторів на різні знаки.

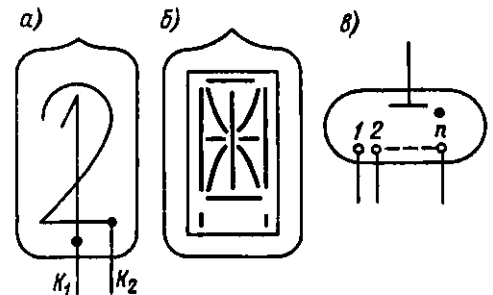


Рис. 21.17. Варианты устройства (а, б) и условное графическое обозначение (в) знакового индикатора тлеющего разряда

**Знакові накалині вакуумні індикатори** дають синтезоване зображення у вигляді цифр або букв, складене з розжареної тяганини (мал. 21.18). У балоні з вакуумом на теплостійкій ізоляційній платі розташована вольфрамова тяганина (нитки напруження). Один висновок у них робиться загальний. Підключення до джерела напруження тієї або іншої комбінації тяганини дає зображення цифри або букви, що світиться. Світіння жовтого кольору відповідає робочій температурі приблизно 1200° С. Довговічність складає десятки тисяч годин.

**Вакуумні люмінесцентні індикатори** є багатоанодними тріодами, що мають оксидний катод прямого напруження, сітку і аноди-сегменти, покриті люмінофором. Можливе розташування анодів для отримання синтезованих знаків показане

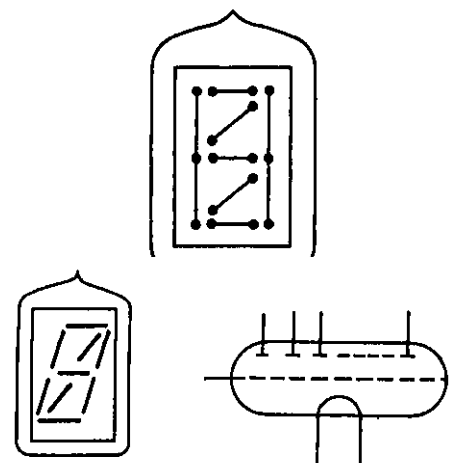


Рис. 21.19. Вакуумный люминесцентный индикатор и его условное графическое обозначение

на мал. 21.19. Включення декількох анодів в певній комбінації дає знак, що світиться, переважно зеленого кольору.

**Електролюмінесцентні індикатори (ЕЛІ)** призначені для відображення різної інформації в системах управління і контролю. У них використовується явище *електролюмінесценції*, що полягає в тому, що деякі речовини здатні випромінювати світло під дією електричного поля. По пристрою ЕЛІ є плоский конденсатор (мал. 21.20). На металевий електрод 4 нанесений шар діелектрика 3 - органічної смоли з люмінесцируючим порошком, основу якого зазвичай складає сульфід або селенід цинку.

Додавання до люмінофора активаторів дозволяє отримувати різний колір світіння : зелений, блакитний, жовтий, червоний, білий. Згори люмінесцируючий шар покритий електропровідною прозорою плівкою 2. Для оберігання від зовнішніх дій служить скляна пластинка 1. Якщо до електродів 4 і 2 прикласти змінну напругу, то під дією електричного поля в шарі 3 виникає світіння.

Прозорий електрод 2 зазвичай зроблений з оксиду олова і є суцільним, а електрод 4 має форму цифр, або букв, або сегментів для отримання синтезованих знаків або геометричних фігур. Електрод 4 може бути растровим, таким, що складається з ряду смуг, або матричним - з великим числом точкових елементів. Індикатори ці бувають різних типів і розмірів, дають зображення, що світиться на темному фоні або темне зображення на фоні, що світиться, можуть бути одноколірними або багатоколірними.

Найбільш поширені буквено-цифрові сегментні індикатори. Для зображення цифр вони мають від 7 до 9 сегментів, а індикатори з 19 сегментами дозволяють висвічувати усі цифри і букви російського і латинського алфавіту. Зазвичай ЕЛІ оформляються в пластмасових корпусах. Для живлення їх застосовується змінна синусоїдальна напруга 220 В частотою від 400 до 1200 Гц. Лінійні розміри висвічуваних знаків можуть бути від одиниць до десятків міліметрів, і залежно від цього споживається струм від десятих долей міліампера до десятків міліампер. Термін служби ЕЛІ складає декілька тисяч годинників. Робоча температура доквілля допускається зазвичай від - 40 до 50°C. Безперечна гідність ЕЛІ - мале споживання потужності при відносно високій яскравості зображення, плоска конструкція, висока механічна міцність, великий термін служби. Недолік, як і у багатьох інших індикаторів, - необхідність застосування досить складних систем управління.

**Рідкокристалічні індикатори (РКІ)** засновані на використанні так званих *рідких кристалів* (РК), що відкритих ще в минулому столітті і є деякими органічними рідинами з впорядкованим розташуванням молекул, характерним для кристалів. Нині відоме велике число рідкокристалічних речовин і вони вивчені досить добре. Рідкі кристали прозорі для світлових променів, але під дією електричного поля напруженістю 2 - 5 кВ/см структура їх порушується молекули розташовуються безладно і рідина стає непрозорою.

Ці індикатори можуть мати різні конструкції і працювати або у світлі, що проходить, створеному яким-небудь спеціальним джерелом, або у світлі будь-якого джерела (штучного або природного), що відбивається в індикаторі. Розглянемо цей останній, найбільш поширений тип РКІ (мал.



Рис. 21.20. Принцип устрою ЕЛІ

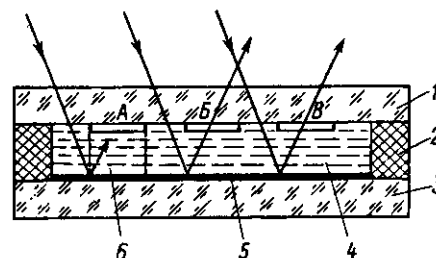


Рис. 21.21. Принцип устрою и работы ЖКИ

21.21). Індикатори такого типу застосовуються в наручному електронному годиннику, мікрокалькуляторах і інших пристроях. Між двома скляними пластинками 1 і 3, склеєними за допомогою полімерної смоли 2, знаходиться шар рідкого кристала 4 завтовшки 10 - 20 мкм. Пластинка 3 покрита суцільним шаром (електрод 5), що проводить, з дзеркальною поверхнею. На пластинку 1 нанесені прозорі шари - електроди А, Би, В,... від яких зроблені висновки, не показані на малюнку. Ці електроди мають форму цифр, або букв, або сегментів для синтезування різних знаків.

Якщо на знакові електроди напруга не подана, то РК прозорий, світлові промені зовнішнього природного освітлення проходять через нього, відбиваються від електроду 5, виходять назад і ніяких знаків не видно. Але якщо на якийсь електрод, наприклад А, подана напруга, то РК під цим електродом стає непрозорим, промені світла не проходять через цю частину рідини (6), і тоді на світлому фоні видно темний знак. Рідкокристалічні індикатори дуже економічні. Струм, споживаний для відтворення одного знаку, не перевищує 1 мкА. Довговічність РКІ складає десятки тисяч годинників. Недолік цих індикаторів - низька швидкодія. Час появи або зникнення знаку, т. е. час переходу молекул РК з впорядкованого розташування в безладне або назад, доходить до 200 мс. Для управління РКІ застосовуються досить складні пристрої, зазвичай на основі інтегральних мікросхем.

Окрім розглянутих індикаторних приладів простого типу розроблені і випускаються ще і інші, складніші.

## **САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №11**

### **ТЕМА: БУДОВА УМОВНЕ ПОЗНАЧЕННЯ РЕЗИСТОРІВ, КОТУШОК, КОНДЕНСАТОРІВ**

**МЕТА: оволодіти знаннями про будову та принцип дії конденсаторів, резисторів, котушок**

#### **Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

- 1 Будова принцип дії конденсаторів.
- 2 Будова принцип дії котушок.
- 3 Будова принцип дії резисторів.

#### **Література:**

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Главное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Главное изд-во, 1987.
- 6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

## Питання для самоконтролю.

- 1 Будова принцип дії конденсаторів.
- 2 Будова принцип дії котушок.
- 3 Будова принцип дії резисторів.

### 1. Будова, умовне позначення конденсаторів

Конденсатори, як і резистори, є одними з найбільш масових елементів електронних ланцюгів. Електричні характеристики, конструкція і сфера їх застосування залежать від типу діелектрика між його обкладаннями. По виду діелектрика конденсатори постійної ємності можна поділити на п'ять груп: 1) з газоподібним діелектриком; 2) з рідним діелектриком; 3) з твердим неорганічним діелектриком; 4) з твердим органічним діелектриком; 5) з оксидним діелектриком виконувани з використанням алюмінію, титану, ніобію, сплавів танталу і ніобію.

У конденсаторів розрізняють номінальне  $C_{ном}$  і фактичне  $C_{ф}$  значення ємності. Номінальна ємність вказується на його маркіровці в супровідній документації; **фактична** - це значення ємності, виміряне при даній температурі і певній частоті.

Зміни значення ємності залежно від температури характеризуються температурним коефіцієнтом місткості (ТКС), який іноді означають  $\alpha_c$ :

$$\alpha_c = TКС = \frac{1}{C} \frac{\Delta C}{\Delta T}$$

Цей коефіцієнт показує зміну ємності при зміні на 1 К температури навколишнього середовища.

**Мерехтіння ємності** - стрибкоподібна зміна ємності, що має випадковий характер. Воно обумовлене тим, що у ряду конденсаторів краю обкладань складаються з окремих острівців. При прикладанні зовнішньої напруги між ними і суцільною частиною обкладки виникають мікродуги, що сполучають їх разом і що змінюють ємність. Спектр цих шумів широкий. Зміни ємності можуть досягати  $10^{-4}$  номінального значення. Цей вид шумів характерний для скляних, склокерамічних і слюдяних конденсаторів.

**П'єзоелектричні шуми** виникають, як правило, в результаті механічних дій і мають характер імпульсів.

При створенні точних пристроїв з конденсаторами, що заряджаються і розряджаються, необхідно враховувати явище адсорбції (уповільненій поляризації і деполаризації). Суть його полягає в тому, що конденсатор не вдається повністю зарядити або розрядити за малий проміжок часу із-за повільних переміщень зарядів товщі діелектрика.

Так, якщо обкладку зарядженого конденсатора замкнути накоротко на невеликий проміжок часу, а потім розімкнути, то через деякий проміжок часу на обкладках з'явиться залишкова напруга  $U_{зал}$  і відповідно залишковий заряд.

**Електролітичні конденсатори** бувають як неполярними (К50-6), так і Полярними. Це особливий тип конденсаторів, в якому в якості діелектрика використовується тонкий шар оксиду металу. Він утворюється на поверхні цього металу електролітичним шляхом за рахунок виділення кисню у металевої поверхні, до якої при виготовленні прикладений позитивний потенціал. Товщина цього оксидного шару залежить від напруги, що прикладається до металу в процесі створення оксидного шару (процесі формування).

У зв'язку з тим що шар оксиду має вентиляльні властивості, електричні конденсатори полярні.

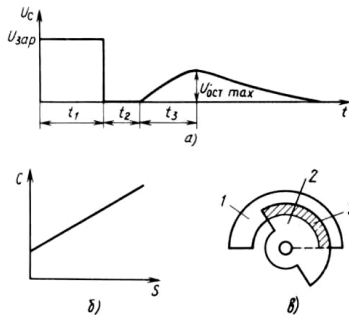


Рис. 1.8. Напряжение на конденсаторе при определении коэффициента  $K_c$  (а); изменение емкости  $C$  в зависимости от площади перекрытия пластин (б); переменный конденсатор (в): 1 — статор, 2 — ротор

Підключення напруги до них повинне вестися з урахуванням вказаної на електродах полярності. Інакше конденсатор вийде з ладу. Мала товщина діелектрика, велика діелектрична проникність і можливість створення надійних оксидних шарів на великій площі дозволяють виготовляти електричні конденсатори великої місткості.

Для електричних конденсаторів важливим параметром є струм витoku  $\square_{\text{ум}}$  (це електричний струм при постійній напрузі, прикладеній до нього) :

$$\square_{\text{ум}} = \square \square_{\text{ном}} \square_{\text{н}} + \square,$$

де  $K$  і  $m$  - коефіцієнти, залежні від типу і місткості конденсатора:  $K = 10^{-4} \div 2 \cdot 10^{-6}$ ;  $m = 0 \div 10^{-2}$  мА;  $\square_{\text{ном}}$ ,  $\square_{\text{ном}}$  - номінальні місткість, мкФ, і напруга, В. Струм  $\square_{\text{ум}}$  визначається через хвилину після подачі на конденсатор постійної напруги.

Розрізняють повні і скорочені умовні позначення конденсатора. *Повне* позначення складається з чотирьох елементів, наприклад К10-25-100 пФ±М47-НМ-В ОЖО 460.106ТУ.

Перший елемент - скорочене позначення (До 10-25); другий - значення основних параметрів і характеристик (100пФ 10% М47-НМ); 100 пФ номінальна місткість; 10% - допустиме відхилення номінальної місткості, М47 - група по температурній стабільності (умовне позначення ТКЕ), НМ--з відсутністю мерехтіння місткості); третій - позначення кліматичного виконання (У - всекліматичне, Т - тропічне); четвертий - позначення документу на постачання (ОЖО 460.106ТУ).

*Скорочене* позначення складається з трьох елементів. Перший - букви, що характеризують підклас конденсаторів (До - постійній місткості; КТ - подстроєчные; КП - змінній місткості; КС - конденсаторні складки); другий - цифри, що характеризують тип діелектрика і призначення конденсатора, до е. його групи; третій - порядковий номер розробки, наприклад К10-25.

Для позначення номінальної ємності, допустимого відхилення, групи по температурній стабільності застосовують кодоване позначення. Номінальна ємність характеризується цифрою і буквою, що вказує на одиницю вимірів і є множником.

Так, букви  $p$ ,  $n$ ,  $u$ ,  $m$ ,  $F$  означають множники  $10^{-12}$ ,  $10^{-9}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-3}$ ,  $1$  відповідно для значень ємності, вираженої у фарадах.

У змінах до ГОСТ 11076-69 передбачені кодовані позначення ТКЕ латинськими буквами, наприклад: П100-А; П60 - G; П33 - N; МПО - З; М33 -Н; М47 -М; М75 - L; М150-Р; М220-Р; М330-С; М470-Т; М750-У; М1500-В; М2200 - До; НЮ -В; Н20 - Z; Н30 - D; Н50-Х; Н70 - E; Н90 - F.

Аналогічно резисторам номінальні місткості конденсаторів відповідають рядам переважних значень, на які є Гости.

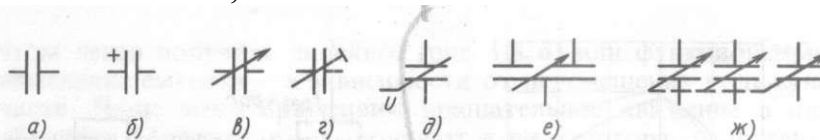


Рис. 1.11. Условное обозначение конденсаторов: а — постоянной емкости; б — электролитический полярный; в — переменной емкости; г — подстроечный; д — вариконд; е — дифференциальный; ж — многосекционный



### **Основні параметри постійних конденсаторів**

1. Номінальне значення місткості конденсатора.
2. Відхилення дійсної місткості, що допускається, від номінального значення (у %).
3. Тангенс кута втрат або добротність  $Q(Q=1/\operatorname{tg}\alpha)$ .
4. Струм витоку (в основному для електролітичних конденсаторів).
5. Опір ізоляції або постійна часу саморазряду. Опір ізоляції визначають з формули  
 $R_{із} = U_0/I_{ут}$ , де  $U_0$  - постійна напруга, прикладена до конденсатора, викликає струм  $I_{ут}$ .
6. Температурний коефіцієнт місткості.
7. Номінальна напруга.

### **13. будова, умовне позначення котушок**

Котушки індуктивності, за винятком дроселів, призначених для використання в ланцюгах живлення, не є комплектуючими виробами, як, наприклад, резистори і конденсатори. Вони виготовляються на складальних заводах і мають ті параметри, які потрібні для конкретних виробів.

Із-за труднощів мікромініатюризації, значних масогабаритних показників, поганої повторюваності характеристик і параметрів, підвищеної трудомісткості виготовлення сфера їх застосування обмежена. Проте при створенні ряду пристроїв електроніки обійтися без них доки не можна. При цьому важливим є те, що індуктивні компоненти з використанням існуючої ізоляції можуть успішно працювати при температурі до 200-500 °С.

Котушки індуктивності, як правило, мають циліндричну або спіральну форму витків і виконуються як одношаровими, так і багатшаровими. Характер намотування залежить від призначення котушки індуктивності.

Один з різновидів котушок індуктивності носить назву дроселів. Їх основне призначення - забезпечити великий опір для змінних струмів і мале для постійних або низькочастотних струмів.

Розрізняють дроселі низькою і високою частот. Дроселі низької частоти використовуються у випрямних пристроях для створення фільтрів, що згладжують пульсації. Їх застосовують тоді, коли джерело живлення повинне віддавати великий струм (ампери- сотні ампер) і вимагається отримати малі пульсації постійної напруги. Дросель низької частоти намотується аналогічно силовим трансформаторам з використанням тих же магнітопроводів.

Його основна відмінність від трансформаторів полягає в тому, що в магнітному колі магнітопроводу робиться повітряний зазор  $h = 0,05 \div 0,1$  мм. Наявність його оберігає магнітне коло від насичення постійним струмом, значення якого досить великі, оскільки дросель включають в коло послідовно з опором навантаження. Індуктивність і активний опір дроселів низької частоти розраховують виходячи з параметрів, які необхідно отримати у джерела живлення. При цьому завжди необхідно знати значення постійного струму навантаження.

Дроселі низької частоти випускаються серійно. Їх позначення: Д1-Д274 дроселі уніфіковані, низькочастотні, : Д. Др - дроселі фільтрів для побутової радіоапаратури. У ряді випадків вони мають дві обмотки: основну і компенсаційну. Компенсаційна

обмотка при необхідності може з'єднуватися послідовно з основною згідно або зустрічно. При даному з'єднанні (початок компенсаційного з кінцем основної) індуктивність дроселя збільшується, при зустрічному (кінці або начала сполучені разом) - зменшується.

Дроселі високої частоти використовують у високочастотних електронних ланцюгах, де пропускають струми тільки відносно низьких частот. Вони є котушками індуктивності, намотані внавал або з певним кроком на діелектричний каркас. При цьому прагнуть, щоб їх місткість була мінімально можливою, а індуктивність - не менш потрібною.

### **Основні параметри котушки індуктивності (ГОСТ 20718-75)**

1. Номінальна індуктивність котушки (значення індуктивності, що є початковим для відліку відхилень).

2. Відхилення індуктивності котушки (різниця між граничним і номінальним значеннями індуктивності), що допускається.

3. Номінальна добротність котушки індуктивності (значення добротності при номінальному значенні індуктивності).

4. Ефективна індуктивність (значення індуктивності, визначене з урахуванням впливу власної місткості, власної індуктивності і зміни початкової проникності сердечника).

5. Початкова індуктивність (значення індуктивності, визначене на низькій частоті, де відсутній вплив власної місткості).

6. Температурний коефіцієнт індуктивності котушки (ТКЛ) - відношення відносної зміни індуктивності  $\Delta L/L$  до інтервалу температур, що викликав цю зміну :

$$\text{ТКЛ} = \frac{\Delta L/L}{\Delta T}$$

7. Температурна нестабільність індуктивності котушки (відносна зміна індуктивності, викликана зміною температури).

8. Температурний коефіцієнт добротності (ТКД) - відношення відносної зміни добротності  $\Delta Q/Q$  до інтервалу температур  $\Delta T$ , що викликав цю зміну :

$$\text{ТКД} = \frac{\Delta Q/Q}{\Delta T}$$

9. Власна місткість котушки індуктивності (електрична місткість) складова з її індуктивністю резонансний контур, виміряна на частоті власного резонансу.

10. Робочий діапазон температур (максимальна і мінімальна температури).

Для дроселів, використовуваних в ланцюгах живлення, важливі: 1) струм підмагнічування  $I_0$ ; 2) індуктивність  $L$ ; 3) опір обмотки дроселя постійному струму.

## **САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №12**

### **ТЕМА: ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДСИЛЮВАЧІ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ**

**МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми**

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

1. Загальні відомості про підсилювачі.
2. Класифікація підсилювачів.

## Література:

1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.

2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

### Питання для самоконтролю.

1. Загальні відомості про підсилювачі.
2. Класифікація підсилювачів.

### 14. Загальні відомості про підсилювачі та їх класифікація

Електронним підсилювачем називається пристрій, призначений для посилення потужності електричного сигналу без спотворення його форми і частоти (для лінійного підсилювача).

Необхідність у підсилювачі виникає тоді, коли потужність джерела сигналу менша від потужності навантаження. У такому разі, як було зазначено в пп. 2.4.1, послідовно з навантаженням вмикають зовнішнє джерело живлення і підсилюючий елемент ПЕ. Джерело сигналу діє не безпосередньо на навантаження, а на вхід ПЕ і, змінюючи провідність останнього, забезпечує пропорційні входному сигналу зміни струму у колі навантаження. В результаті у навантаженні виділяється необхідна величина потужності за рахунок енергії джерела живлення (див. рис. 2.9).

Як ПЕ у сучасних підсилювачах зазвичай використовують транзистори (біполярні або польові), рідше - електронні лампи.

Загальна структурна схема підсилювача наведена на рис. 3.1.

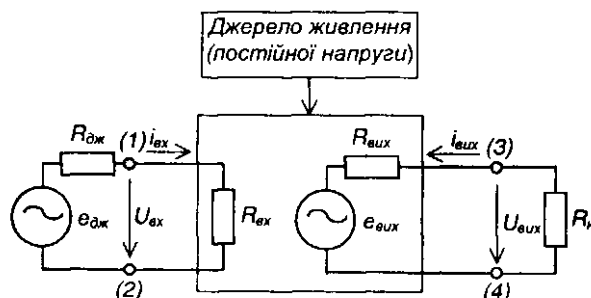


Рис. 3.1 – Структурна схема підсилювача

Вхідний сигнал від керуючого джерела енергії  $\epsilon_{дж}$  (джерела вхідного сигналу) подається на вхідні клеми (1)-(2) підсилювача через внутрішній опір джерела  $R_{дж}$ . Потужність джерела вхідного сигналу виділяється на вхідному опорі підсилювача  $R_{вх}$ . Навантаження підмикається до клем (3)-(4). Вхідний малопотужний сигнал керує

кількістю енергії, що подається у навантаження від джерела живлення значно більшої потужності (підсилювальні властивості вихідного кола представлені за допомогою додаткової електрорушійної сили –  $e_{\text{вих}}$ ). Таким чином, завдяки використанню ПЕ і зовнішнього джерела живлення стає можливим підсилення малопотужного вхідного сигналу.

Підсилювачі класифікуються за такими ознаками:

- 1)призначення;
- 2)частота сигналу, що підсилюється;
- 3)форма сигналу;
- 4)характер зміни з часом сигналу, що підсилюється.

Усі ці ознаки накладають специфічні вимоги до *побудови конкретних* схем підсилювачів.

За призначенням підсилювачі поділяються на підсилювачі напруги, струму та потужності. Тобто вони забезпечують на виході необхідний рівень напруги, струму або потужності (хоча за своєю суттю усі вони є підсилювачами потужності).

У *підсилювача напруги*  $R_{\text{дж}} \ll R_{\text{вт}}; R_{\text{вих}} \ll R_{\text{н}}$  і, в результаті, відносно великі зміни напруги на навантаженні забезпечуються при незначних змінах вхідного та вихідного струмів.

У *підсилювача струму*  $R_{\text{дж}} \gg R_{\text{вт}}; R_{\text{вих}} \gg R_{\text{н}}$  і протікання струму необхідного значення у вихідному колі відбувається за малих значень напруги у вхідному та вихідному колах.

У *підсилювача потужності*  $R_{\text{дж}} = R_{\text{вт}}; R_{\text{вих}} = R_{\text{н}}$ , за рахунок чого забезпечується максимальна потужність як у вхідному, так і у вихідному колах (узгоджений за потужністю режим роботи).

За частотою підсилювачі поділяються на *підсилювачі низької частоти* (від одного герца до десятків кілогерц), середньої частоти (від десятків кілогерц до мегагерца) та високої частоти (більше за мегагерц).

За смугою частот робочого діапазону бувають широкосмугові підсилювачі й *вибіркові* (забезпечують підсилення у дуже вузькому діапазоні частот, в ідеалі - сигналів однієї частоти).

За формою сигналу, що підсилюється, вони поділяються на підсилювачі гармонічних та імпульсних сигналів.

За характером зміни вхідного сигналу з часом бувають підсилювачі постійного та змінного струму.

Найпростіший вузол, що забезпечує підсилення електричного сигналу, називається *підсилюючим каскадом*.

За видом зв'язку між джерелом сигналу, каскадами та навантаженням підсилювачі поділяються на підсилювачі з безпосереднім, резистивним, оптронним, резистивно-ємнісним, трансформаторним або резонансно-трансформаторним зв'язком.

Перші три види зв'язку можуть використовуватися у підсилювачах як постійного, так і змінного струму, решта - тільки у підсилювачах змінного струму.

Надалі ми будемо розглядати лінійні підсилювачі, у яких пропорційним змінам вхідного сигналу відповідають пропорційні зміни вихідного.

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №13

### ТЕМА: ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ І ХАРАКТЕРИСТИКИ ПІДСИЛЮВАЧІВ

#### МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми

#### Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1. Основні параметри підсилювачів.
2. Основні характеристики підсилювачів.

#### Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Баби́ков М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

#### Питання для самоконтролю.

1. Коефіцієнт підсилення.
2. Вхідний опір.
3. Вихідний опір.
4. Коефіцієнт корисної дії.
5. Амплітудно-частотні характеристики.

#### *Основні параметри і характеристики підсилювачів*

Підсилювальні властивості підсилювача оцінюються такими характеристиками:

1) коефіцієнт підсилення - для лінійного підсилювача це:

- за напругою  $K_U = \frac{U_{вих}}{U_{вх}}$ ;
- за струмом  $K_I = \frac{I_{вих}}{I_{вх}}$ ;
- за потужністю  $K_P = \frac{P_{вих}}{P_{вх}}$ .

Величина  $K_P = K_U K_I$  – завжди дійсне число.

У багатьох випадках коефіцієнт підсилення представляють у логарифмічних одиницях - децибелах (дБ):

$$K_v(\text{дБ})=20[\lg K_v]; K_i(\text{дБ})=20[\lg K_i]; K_p(\text{дБ})=10[\lg K_p];$$

2) вхідний опір за постійним або змінним (залежно від виду підсилювача) струмом

$$R_{вх} = \frac{U_{вх}}{I_{вх}};$$

3) вихідний опір підсилювача  $R_{вих}$  (опір між вихідними клемми підсилювача за вимкненого опору навантаження);

4) коефіцієнт корисної дії (к.к.д.)  $\eta = \frac{P_{вих}}{P_{заг}}$ , де  $P_{заг}$  - загальна потужність, що відбирається від джерела живлення.

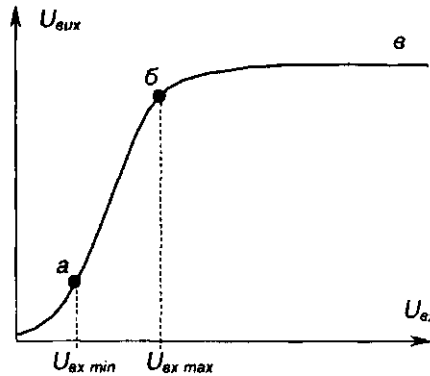


Рис. 3.2 - Амплітудна характеристика  $U_{вих} = f(U_{вх})$  підсилювача

Найважливішими характеристиками підсилювачів є амплітудна та амплітудно-частотна, наведені на рис. 3.2. та рис. 3.3 відповідно.

Амплітудна характеристика являє собою залежність вихідної напруги від вхідної  $U_{вих} = f(U_{вх})$ . На рисунку позначено: аб - робоча ділянка, на якій пропорційним змінам вхідного сигналу відповідають пропорційні зміни вихідного;

бв - режим насичення (тут із ростом вхідного сигналу ріст вихідного припиняється - підсилювач виходить із лінійного режиму).

Нелінійність характеристики при вхідних напругах, менших за  $U_{вх, \min}$ , пояснюється наявністю шумових сигналів.

Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) - це залежність коефіцієнта підсилення  $K_{и}$  від кругової частоти  $\omega$  ( $\omega=2\pi f$ ;  $f$  - частота сигналу, що підсилюється).

На рисунку позначено:

$K_{U_0}$  - найбільший коефіцієнт підсилення;

$$K_{U_f} = \frac{K_{U_0}}{\sqrt{2}} - \text{таке зниження}$$

підсилення звукового сигналу не фіксується чітко вухом людини.

Із АЧХ визначають робочий діапазон частот підсилюваного сигналу від  $\omega_{н}$  до  $\omega_{в}$ .

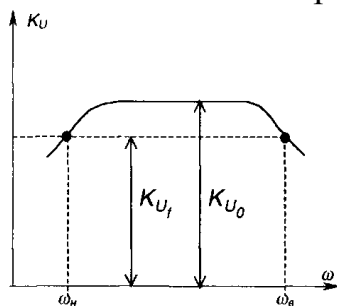


Рис. 3.3 - Амплітудно-частотна характеристика  $K_u = f(\omega)$  підсилювача

**САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №14**  
**ТЕМА: ПРИНЦИП ПОБУДОВИ ПІДСИЛЮВАЧІВ**  
**МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми**

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

1. Каскади підсилення.
2. Часові діаграми підсилювачів.

**Література:**

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Главное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроелектроніки (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Баби́ков М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

**Питання для самоконтролю.**

1. Вхідні каскади підсилення.
2. Попередні каскади підсилення.
3. Вихідні каскади підсилення.
4. Коефіцієнт корисної дії.
5. Амплітудно-частотні характеристики.

Як правило, підсилювачі складаються із декількох каскадів, що виконують послідовне підсилення сигналу. При цьому загальний коефіцієнт підсилення становить

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n. \quad (3.3)$$

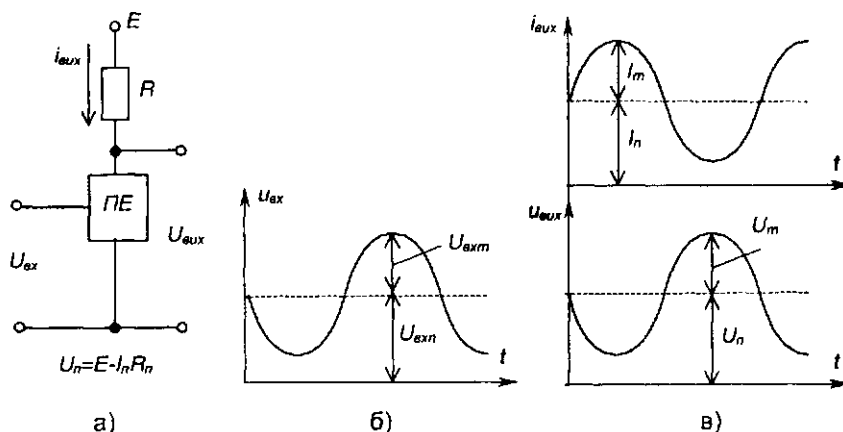


Рис. 3.4 – Структурна схема підсилювача напруги змінного струму (а) та часові діаграми його вхідного (б) і вихідного (в) сигналів

Вхідні каскади та каскади попереднього підсилення виконуються, як правило, у вигляді підсилювачів напруги.

Вихідні каскади - кінцеві - зазвичай є підсилювачами потужності або струму.

Підсилювачі відрізняються один від одного кількістю каскадів, режимом роботи. Але усім їм притаманні загальні принципи побудови. Розглянемо їх на прикладі підсилювача сигналів напруги змінного струму, показаного на рис. 3.4.

Основним елементом підсилювача є ПЕ (біполярний або польовий транзистор), що разом із резистором  $R$  та джерелом живлення постійного струму  $E$  утворюють головне вихідне коло підсилювача.

Принцип підсилення полягає у перетворенні енергії джерела постійної напруги  $E$  в енергію змінного вихідного сигналу шляхом зміни провідності ПЕ за законом, зумовленим формою вхідного сигналу.

Оскільки вихідне коло підсилювача живиться постійною напругою, у ньому може протікати струм лише однієї полярності. Для забезпечення отримання підсиленого сигналу змінного струму необхідно задати його на фоні постійного сигналу зміщення  $U_n$ , як це показано на рис. 3.4,в. При цьому для нормальної роботи підсилювача амплітудні значення вихідних напруги та струму повинні бути меншими за постійні рівні напруги та струму  $U_m \leq U_n$ ;  $I_m \leq I_n$  (постійного струму зміщення).

Постійні рівні струму та напруги у вихідному колі задаються подачею постійного рівня вхідної напруги  $U_{вх\ n} > U_{вх\ m}$ ; ( $I_{вх\ n} > I_{вх\ m}$ ).

Режим роботи підсилювача за постійним струмом називається *режимом спокою*. Він характеризується струмом спокою та напругою спокою вихідного кола. Щоб задати режим спокою, використовують спеціальні схеми зміщення напруги.

Вихідна напруга  $U_{вих}$  подається на навантаження, яким зазвичай є наступний каскад підсилення. Зверніть увагу: за такої побудови під підсилювача його навантаженням (корисним) є не резистор  $R$ , а вхідний опір наступного (наприклад, такого ж) каскаду підсилення, на який подається напруга  $U_{вх}$ .

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №15

### ТЕМА: ЗВОРОТНІ ЗВ'ЯЗКИ У ПІДСИЛЮВАЧАХ

### МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми

#### Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Петльові зворотні зв'язки.
- 2 Зворотні зв'язки за напругою та струмом.
- 3 Послідовні і паралельні.

#### Література:

1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.

2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.



5 Основы электроники й микроелектроніки (Б.С.Гершунский) - 3-є изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

6 Баби́ков М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

### Питання для самоконтролю.

- 1 Петльові зворотні зв'язки.
- 2 Зворотні зв'язки за напругою та струмом.
- 3 Послідовні і паралельні.

### Зворотній зв'язок у підсилювачах

Поряд із колами прямої передачі сигналів у підсилювачі вводять штучно створені кола, через які частина енергії з виходу подається на вхід. Це явище має назву *зворотного зв'язку*.

Із застосуванням зворотних зв'язків ми вже зустрічалися, коли розглядали будову тиристора (внутрішній позитивний зв'язок) та температурну стабілізацію режиму спокою підсилюючого каскаду (негативний зворотний зв'язок).

Кола, за допомогою яких забезпечують зворотні зв'язки, називають колами зворотного зв'язку.

Коло прямої передачі сигналу і коло зворотного зв'язку утворюють петлю зворотного зв'язку.

Структурні схеми петльових зв'язків наведені на рис. 3.25.

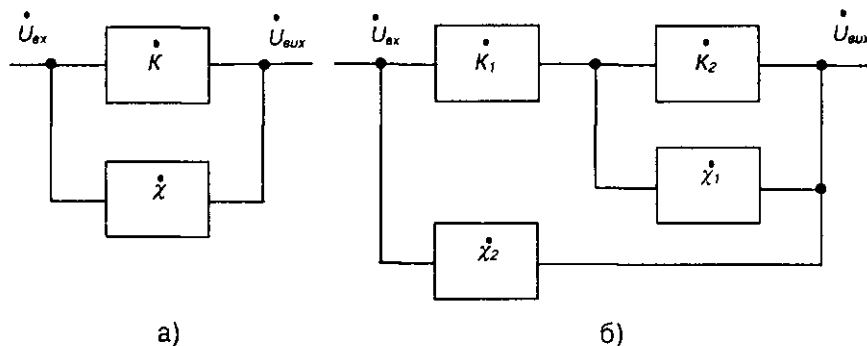


Рис. 3.25 – Приклади петльових зворотних зв'язків:  
а – однопетльовий; б – багатопетльовий

Зворотні зв'язки поділяються також на зв'язки за напругою та за струмом, як залежно від способу подачі сигналу зворотного зв'язку у вхідне коло розрізняють паралельний та послідовний зворотні зв'язки, як показано на рис. 3.27. Зазвичай вони використовуються для стабілізації параметрів підсилювача, показано на рис. 3.26, або змішані.

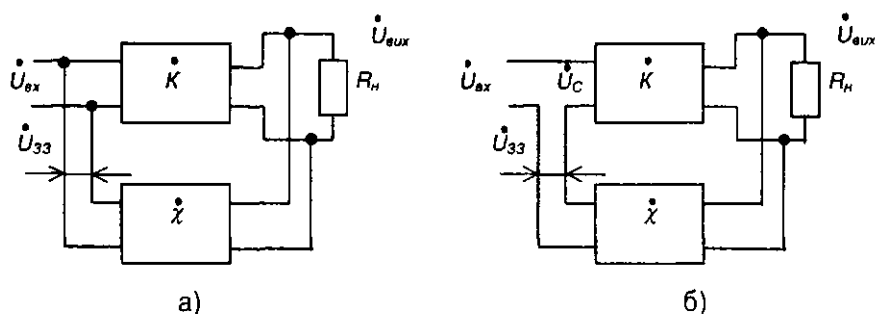


Рис. 3.27 – Паралельний (а) та послідовний (б) зворотні зв'язки

Властивості підсилювача із зворотним зв'язком розглянемо на *прикладі* послідовного зворотного зв'язку за напругою.

Основним показником є коефіцієнт передачі зворотного зв'язку

$$\chi = \frac{\dot{U}_{зз}}{U_{вих}}$$

що визначає, яка частка вихідної напруги надходить до вхідного кола підсилювача ( $U_{зз}$  - комплекс напруги зворотного зв'язку).

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №16

### ТЕМА: БАГАТОКАСКАДНІ ПІДСИЛЮВАЧІ

### МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми

#### Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Однотактні підсилювачі.
- 2 Двохтактні підсилювачі..

#### Література:

1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред.. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.

2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд.,перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроелектроніки (Б.С.Гершунский) - 3-є изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

6 Баби́ков М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

#### Питання для самоконтролю.

- 1 Будова, принцип дії однотактних підсилювачів.
- 2 Будова, принцип дії двухтактних підсилювачів..

### Багатокаскадні підсилювачі з трансформаторним зв'язком

У таких підсилювачах зв'язок між каскадами здійснюється за допомогою трансформаторів. Зазвичай, первинна обмотка вмикається у вихідне струмове коло транзистора попереднього каскаду, а вторинна обмотка - до входу наступного каскаду або безпосередньо до навантаження. У першому випадку маємо справу з підсилювачем напруги, у другому - з підсилювачем потужності.

Структурна схема підсилювача з трансформаторними зв'язками зображена на рис. 3.32.

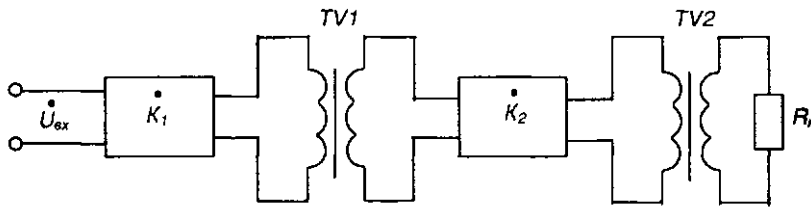


Рис. 3.32 – Двокаскадний підсилювач з трансформаторними зв'язками

У цій схемі перший каскад - підсилювач напруги, другий - підсилювач потужності.

Використання трансформатора надає такі переваги:

- 1) підвищується загальний коефіцієнт підсилення як за напругою, так і за струмом;
- 2) забезпечуються умови максимальної передачі потужності за рахунок узгодження вихідного опору каскаду з опором його навантаження ( $R_{\text{вих}} = R_n$ ).

Але використання трансформатора має і свої недоліки, а саме: підвищуються маса і габарити підсилювача, погіршуються його частотні властивості. Крім того, у наш час трансформатор є нетехнологічним виробом: технологія виробництва трансформаторів кардинально відрізняється від технології виготовлення інших вузлів підсилювача.

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №17

### ТЕМА: ІМПУЛЬСНІ ТА ВИБІРКОВІ ПІДСИЛЮВАЧІ

#### МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми

#### Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Вибіркові підсилювачі.
- 2 АЧХ підсилювача.

#### Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

#### Питання для самоконтролю.

- 1 Вибіркові підсилювачі.
- 2 АЧХ підсилювача.

## 21. Вибіркові підсилювачі

Вибіркові підсилювачі застосовують, якщо необхідно із сукупності вхідних сигналів широкого діапазону частот виділити групу сигналів, близьких за частотами, що несуть корисну інформацію (наприклад, при налаштуванні радіоприймача на конкретну станцію). АЧХ такого підсилювача має вузьку смугу підсилюваних частот, як це показано на рис. 3.39 (порівняйте з рис. 3.31).

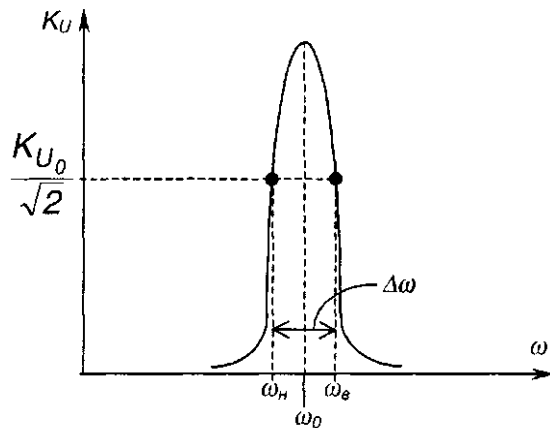


Рис. 3.39 – АЧХ вибіркового підсилювача

Вибіркові підсилювачі зазвичай будують як підсилювачі з СЕ, колекторним навантаженням яких є паралельний LC-контур, що налаштовується у резонанс на деяку частоту  $\omega_0$ , тому їх ще називають *резонансними підсилювачами*.

Схему вибіркового (резонансного) підсилювача наведено на рис. 3.40. У нього

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_K C_K}},$$

де  $L_K$  і  $C_K$  – індукт

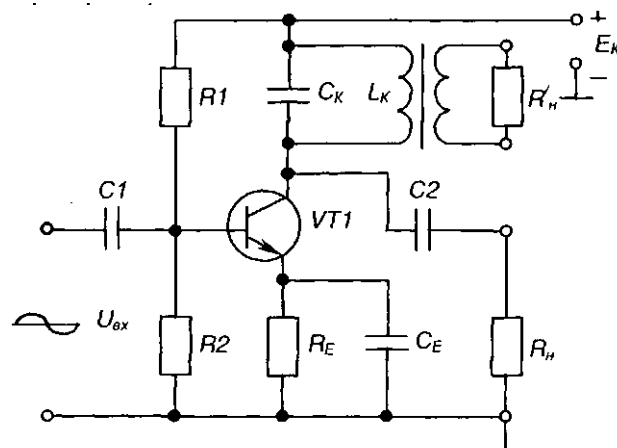


Рис. 3.40 – Вибірковий (резонансний) підсилювач

Зв'язок із навантаженням (часто це наступний каскад підсилення) може бути трансформаторним - як підімкнене навантаження  $R'_n$  - або резистивноємнісним - як підімкнене навантаження  $R_n$ .

За низьких частот (тисячі і десятки тисяч герц) застосування LC-контурів недоцільне, бо тут низька їх добротність, великі габарити та маса. У такому разі застосовують підсилювачі з частотно-залежними зворотними зв'язками, зазвичай резистивно-ємнісними.

**САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №18**  
**ТЕМА: ПІДСИЛЮВАЧІ ПРЯМОГО ПІДСИЛЕННЯ**  
**МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми**

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

1. Принцип побудови підсилювачів.
2. Підсилювачі з прямого підсилення.

**Література:**

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроелектроніки (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Баби́ков М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

Питання для самоконтролю.

1. Принцип побудови підсилювачів.
2. Підсилювачі з прямого підсилення.

**22. Підсилювачі прямого підсилення**

Найпростішим представником ГПС є підсилювач прямого підсилення з безпосередніми зв'язками. Розглянемо схему двокаскадного підсилювача прямого підсилення, зображену на рис. 4.2.

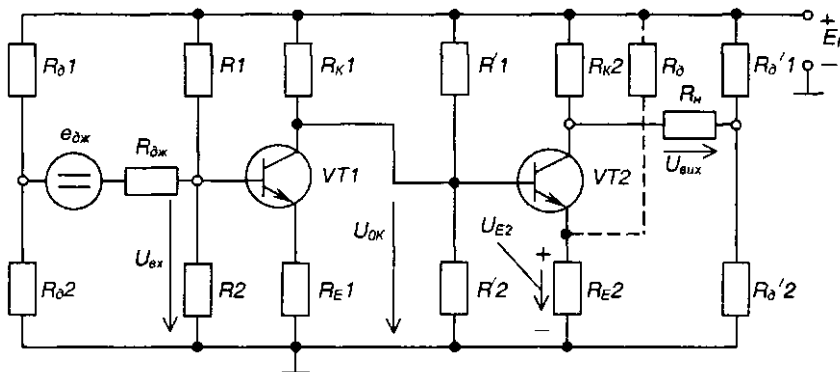


Рис. 4.2 – Двокаскадний підсилювач постійного струму прямого підсилення двох каскадів, виконаних за схемою з СЕ. Призначення елементів те ж саме, що і у підсилювачах змінного струму.

За принципової неможливості застосування реактивних розділяючих елементів, щоб забезпечити виключення впливу напруг, що відповідають режиму спокою каскадів, на джерело сигналу і на навантаження, останнє тут підімкнуто між

колектором VT2 та середньою точкою дільника  $R'_{\delta 1}, R'_{\delta 2}$ , а вхідний сигнал подано на базу VT1 відносно середньої точки дільника  $R_{\delta 1}, R_{\delta 2}$ . Величини опорів резисторів  $R_{\delta 1}, R_{\delta 2}, R'_{\delta 1}, R'_{\delta 2}$  добирають якомога меншими за величиною та таким чином, щоб за  $e_{дж} = 0$  на виході було  $U_{вих} = 0$ .

Вхідний сигнал, що надходить до входу першого каскаду, підсилюється і з колектора транзистора VT1 подається на вхід другого каскаду, виконаного на транзисторі VT2. Після повторного підсилення сигнал надходить на навантаження  $R_n$ .

На відміну від підсилювача змінного струму, де режим спокою вибирається за умов найліпшого підсилення вхідного сигналу і не впливає на навантаження завдяки наявності реактивних елементів зв'язку, у цьому підсилювачі процеси протікають по-іншому.

Напруга спокою першого каскаду  $U_{0К}$  безпосередньо подається на вхід другого і, якщо не вжити спеціальних заходів, під її дією транзистор VT2 насичується. Тобто ні про яке підсилення не може йти мови. Для того, щоб виключити це явище, до емітерного кола VT2 вводять резистор  $R_{e2}$ , на якому виділяється напруга  $U_{e2}$ , що компенсує напругу  $U_{0К}$ , оскільки спрямована зустрічно. Тобто виконується умова  $U_{0К} - U_{e2} = U_{об}$ ;  $U_{e2} = R_{e2} I_{0E2}$ , де  $I_{0E2}$  - струм емітера у режимі спокою. Наявність великих  $R_{e1}$  та  $R_{e2}$  призводить до виникнення в схемі глибоких НЗЗ, що значно знижує коефіцієнт підсилення. Тому такі підсилювачі мають обмежену кількість каскадів (зазвичай не більше двох).

Для того, щоб знизити величину емітерного опору, можна використати дільник напруги  $U_{e2}, R_{\delta}$  (зображений на рис. 4.2 пунктиром). У цьому випадку навіть на малому опорі  $R_{e2}$  можна одержати потрібний рівень напруги. Але це призводить до підвищення втрат потужності, а отже, до зниження к.к.д.

Коефіцієнт підсилення схеми у цілому:

$$K_U = K_{U1} K_{U2}, \quad (4.2)$$

$$\text{де} \quad K_{U1} = \beta_1 \frac{R'_{K1}}{R_{ex1}} - \quad (4.3)$$

коефіцієнт підсилення першого каскаду;

$$R'_{K1} = R_{K1} \parallel R'_1 \parallel R'_2 \parallel R_{ex2}; \quad (4.4)$$

$$K_{U2} = \beta_2 \frac{R'_{K2}}{R_{ex2}} - \quad (4.5)$$

коефіцієнт підсилення другого каскаду;

$$R'_{K2} = R_{K2} \parallel (R_n + R'_{\delta 1} \parallel R'_{\delta 2}). \quad (4.6)$$

Даний підсилювач має велике значення дрейфу нуля і використовується у випадках, коли немає високих вимог до якості підсилення. Для підвищення стабільності схеми у якості  $R_{e1}$  і  $R_{e2}$  застосовують терморезистори.

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №19

### ТЕМА: ПІДСИЛЮВАЧІ З ПЕРЕТВОРЕННЯМ

### МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

- 1 Принцип побудови підсилювачів.
- 2 Підсилювачі з подвійним перетворенням.

## Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

### Питання для самоконтролю.

- 1 Принцип побудови підсилювачів.
- 2 Підсилювачі з подвійним перетворенням..

### Підсилювачі з подвійним перетворенням

Для зниження дрейфу нуля поряд із балансними схемами застосовують схеми з подвійним перетворенням підсилюваного сигналу.

Суть роботи таких схем полягає у наступному.

Постійний вхідний сигнал за допомогою спеціального пристрою, що називається модулятором, перетворюється у змінний сигнал, амплітуда якого дорівнює напрузі постійного сигналу. Потім змінний сигнал підсилюється підсилювачем напруги змінного струму, після чого за допомогою демодулятора змінний сигнал знову перетворюється у постійний, напруга якого дорівнює амплітуді підсиленого змінного сигналу.

Наявність підсилювача змінного струму виключає дрейф нуля. Але через досить велику складність виконання такі підсилювачі використовуються рідко.

### Операційні підсилювачі

#### Загальні відомості

Операційний підсилювач (ОП) - це ППС, що має високий коефіцієнт підсилення, два входи (так звані диференційні вхід) і один вихід.

Зазвичай ОП будують як ППС з безпосередніми зв'язками між каскадами, з диференційним входом і біполярним відносно амплітуди підсилюваного сигналу виходом. Це забезпечує нульові потенціали на вході і виході ОП за відсутності вхідного сигналу. Тому такі підсилювачі легко з'єднувати послідовно, а також охоплювати зворотними зв'язками.

За своєю структурою ОП бувають три- або двокаскадні.

За трикаскадною схемою будувались ОП у інтегральному виконанні першого покоління. Перший диференційний каскад у них працює в режимі мікрострумів,

забезпечуючи тим самим високий вхідний опір. Другий диференційний каскад забезпечує підсилення напруги. Третій каскад, вихідний, виконується як двотактний з СК і забезпечує підсилення потужності, а також низький вихідний опір (див. пп. 3.7.2).

ОП другого покоління будуються за двокаскадною схемою. Це стало можливим із зростанням рівня інтегральної технології. При цьому, перший каскад забезпечує і високий вхідний опір, і великий коефіцієнт підсилення за напругою. Другий каскад є підсилювачем потужності.

Свою назву ці підсилювачі одержали у зв'язку з тим, що спочатку вони використовувались для моделювання математичних операцій (додавання, віднімання, диференціювання, інтегрування та ін.) в аналогових обчислювальних машинах (АОМ).

Із розвитком інтегральної техніки області використання ОП значно розширились. Нині вони використовуються в основному як високоякісні підсилювачі напруги при побудові будь-яких електронних пристроїв. А АОМ тим часом були витіснені цифровими обчислювальними машинами.

Поширеному застосуванню ОП сприяють їхні високі параметри. Це великий коефіцієнт підсилення за напругою, що становить  $K_{и} = (10^4 - 10^6)$ ; високий вхідний опір по кожному з входів –  $R_{вх} > 400 \text{ кОм}$ ; низький вихідний опір  $R < 100 \text{ Ом}$ ; досить широкий частотний діапазон - від нуля до одиниць мегагерц.

За ними ОП для багатьох застосувань наближаються до ідеального підсилювача, що має:

- 1)  $K_U \rightarrow \infty$ ;
- 2) два симетричних входи з  $R_{вх} \rightarrow \infty$ ;
- 3)  $R_{вих} \rightarrow 0$
- 4) безкінечний діапазон частот підсилюваного сигналу.

При цьому зазначимо, що як лінійні підсилювачі у десятки тисяч разів реальні ОП не застосовують, бо їх коефіцієнт підсилення (як і інші параметри) - величина вкрай нестабільна (наприклад, під дією температури).

Умовне позначення ОП наведене на рис. 4.7,а (на рис. 4.7,б,в надано умовні позначення, прийняті у деяких зарубіжних країнах).

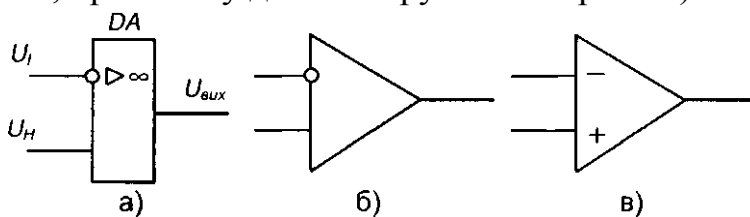


Рис. 4.7 – Умовні позначення ОП

Вхід, на який подано  $U_I$  називається інвертуючим, а  $U_H$  - неінвертуючим

Якщо сигнал подати на неінвертуючий вхід, то зміни вихідного сигналу співпадають за знаком (фазою) із змінами вхідного. Якщо сигнал подати на інвертуючий вхід, то зміни вихідного сигналу матимуть протилежний знак (фазу) щодо до змін вхідного. Інвертуючий вхід використовують для охоплення ОП зовнішніми НЗЗ, а неінвертуючий - ПЗЗ..

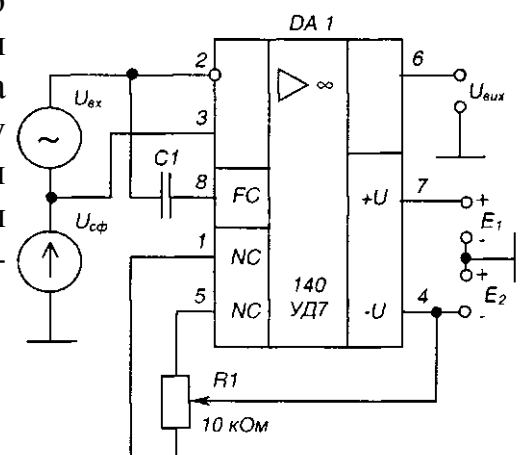


Рис. 4.11 – Схема вмикання ОП типу 140УД7



На рис. 4.11 наведена типова схема вмикання ОП типу 140УД7. Диференційний вхідний сигнал  $U_{вх}$  подається між виводами 2 (інвертуючий вхід) і 3 (неінвертуючий вхід).  $U_{сф}$ -синфазний сигнал. Навантаження підмикається до виводу 6. Живлення забезпечується двополярним джерелом напруги  $E_1$   $E_2$ , що підмикається між виводами 7, 4 і нульовою точкою джерел живлення.

Нульовий вихідний сигнал при  $U_{ex}=0$  забезпечується резистором  $R_1$  підімкненим до входів балансування (корекції нуля) 1 і 5. Це дозволяє виключити вплив несиметрії схеми ОП, що виникає за рахунок неідеальної подібності його елементів.

Конденсатор  $C$ , забезпечує корекцію амплітудно-частотної характеристики. (АЧХ)

Частотні характеристики ОП визначають з його АЧХ, зображеної на рис. 4.14. Вона має спадний характер за високих частот, починаючи від частоти зрізу  $f_{зр}$ .

$f_B$  - верхня межа частотного діапазону. За цієї частоти:

$$K_U = \frac{K_{Uоп}}{\sqrt{2}} \quad (4.10)$$

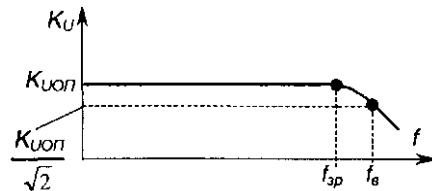


Рис. 4.14 – АЧХ ОП

Діапазон частот (0 —  $f_e$ ) має назву смуги частот ОП.

Широке практичне використання ОП в аналогових пристроях зумовлене, головним чином, застосуванням у їх схемах різного роду зовнішніх НЗЗ, чому сприяє велике значення коефіцієнта підсилення  $K_{Uоп}$  високий вхідний та малий вихідний опори.

#### 24. Збільшення потужності вихідного сигналу ОП

Незважаючи на те, що є типи ОП з потужним виходом (з вихідним струмом до 5 А), все ж основна їх маса має малопотужний вихід (струм до 10 мА). Збільшення вихідної потужності можна забезпечити, наприклад, за допомогою схеми, наведеної на рис. 4.26.

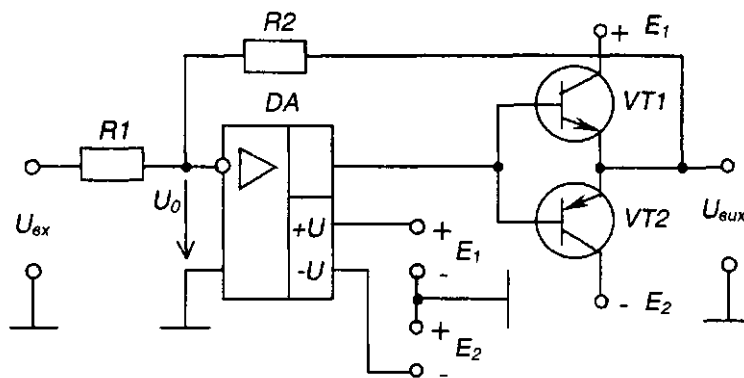


Рис. 4.26 – Потужний підсилювач на ОП

Тут для підсилення потужності застосовано найпростіший двотактний підсилювач на транзисторах різного типу провідності (див. рис. 3.37). Відомо, що

останній працює в режимі класу В, для якого характерні значні нелінійні викривлення. Позбавитися їх дозволяє підімкнення резистора зворотного зв'язку  $R_2$  не до виходу ОП, а до виходу підсилювача потужності. Тепер ОП, забезпечуючи рівність  $U_0=0$ , створює на своєму виході напругу, що компенсує падіння на базоемітерних переходах транзисторів. Таким чином отримуємо режим роботи класу АВ без введення додаткових елементів.

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №20

### ТЕМА: ЗБІЛЬШЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ВИХІДНОГО СИГНАЛУ ОПЕРАЦІЙНОГО ПІДСИЛЮВАЧА.

**МЕТА:** оволодіти знаннями про електричні схеми

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

1. Потужний підсилювач на ОП.
2. Підсилювач змінного струму з одно полярним живленням.

### Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабииков М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

### Питання для самоконтролю.

- 1 Потужний підсилювач на ОП.
- 2 Підсилювач змінного струму з одно полярним живленням.

### 24. Збільшення потужності вихідного сигналу ОП

Незважаючи на те, що є типи ОП з потужним виходом (з вихідним струмом до 5 А), все ж основна їх маса має малопотужний вихід (струм до 10 мА). Збільшення вихідної потужності можна забезпечити, наприклад, за допомогою схеми, наведеної на рис. 4.26.

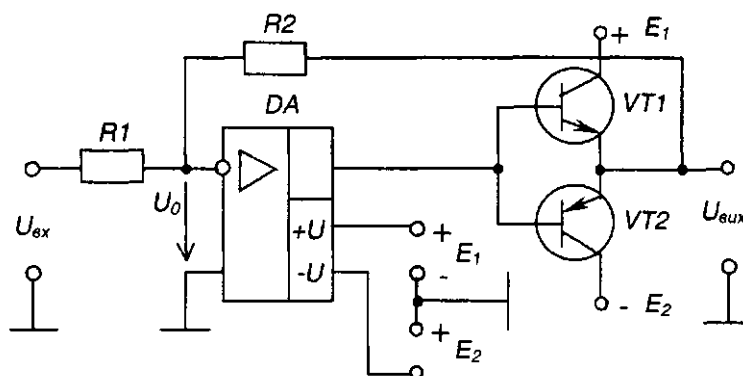


Рис. 4.26 – Потужний підсилювач на ОП

Тут для підсилення потужності застосовано найпростіший двотактний підсилювач на транзисторах різного типу провідності (див. рис. 3.37). Відомо, що останній працює в режимі класу В, для якого характерні значні нелінійні викривлення. Позбавитися їх дозволяє підімкнення резистора зворотного зв'язку  $R_2$  не до виходу ОП, а до виходу підсилювача потужності. Тепер ОП, забезпечуючи рівність  $U_0=0$ , створює на своєму виході напругу, що компенсує падіння на базоемітерних переходах транзисторів. Таким чином отримуємо режим роботи класу АВ без введення додаткових елементів.

## **САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №21**

### **ТЕМА: ПРЕЦЕЗІЙНИЙ ВИПРЯМЛЯЧ**

#### **МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми**

#### **Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

- 1 Підсилювач на ОП з однополярним живленням.
- 2 Будова принцип дії прецизійного випрямляча.

#### **Література:**

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроелектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Баби́ков М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

#### **Питання для самоконтролю.**

- 1 Підсилювач на ОП з однополярним живленням.
- 2 Будова принцип дії прецизійного випрямляча

## **25. Прецизійний випрямляч**

Відомо, що для випрямлення сигналів змінного струму можуть бути застосовані випрямні діоди (див. пп. 2.3). Але наявність падіння напруги на діоді до 1 В при протіканні струму через нього призводить до того, що сигнали з напругою у десяті долі вольт взагалі не можуть бути випрямлені, а випрямлення сигналів у одиниці вольт супроводжується значною похибкою. Більше того, ця похибка залежить від змін температури. Отже, точний (прецизійний) випрямляч побудувати на діодах неможливо.

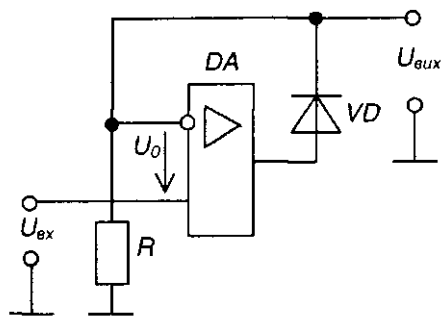


Рис. 4.27 – Прецизійний випрямляч

Але це можна зробити з використанням ОП. На рис. 4.27 наведено схему прецизійного однонапівперіодного випрямляча.

Фактично це є повторювач для сигналів позитивної полярності. Як і у випадку потужного підсилювача (див. пп. 4.6.11), падіння напруги на діоді компенсується ОП.

Вихідний сигнал знімається з інвертуючого входу ОП. Для позитивної вхідної напруги, оскільки  $U_0 = 0$ , маємо:

$$U_{\text{вих}} = U_i = U_H = U_{\text{вх}}$$

При негативних значеннях  $U_{\text{вих}}$  ОП знаходиться у режимі насичення, а на вихід пристрою через резистор  $R$  подається напруга  $U_{\text{вих}} = 0$ .

На кінець розділу слід зазначити, що у ньому розглянуто лише деякі з типових застосувань ОП. Існує величезна кількість схем і схемотехнічних прийомів із використанням ОП. Проте маємо надію, що навички, здобуті при вивченні цього розділу, дадуть Вам змогу розібратися зі специфікою побудови і роботи будь-яких електронних пристроїв на ОП.

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №22

### ТЕМА: АВТОГЕНЕРАТОРИ ТИПУ RC

#### МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми

#### Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Генератор на трьох точках.
- 2 Будова принцип дії генератора.

#### Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

## Питання для самоконтролю.

- 1 Генератор на трьох точках.
- 2 Будова принцип дії генератора.

### 26 Автогенератори типу RC

Застосування генераторів з коливальними контурами (типу LC) для генерування коливань з частотами менше 15-20 кГц ускладнено і незручно із-за громіздкості контурів. Нині для цих цілей широко використовуються генератори типу RC, в яких замість коливального контура застосовуються виборчі RC-фільтри. Генератори типу RC можуть генерувати дуже стабільні синусоїдальні коливання в порівняно широкому діапазоні частот від доль герца до сотень кілогерц. Крім того, вони мають малі габарити і масу. Найбільш повно переваги генераторів типу RC проявляються в області низьких частот. Структурна схема генератора синусоїдальних коливань типу RC приведена на мал. 18.10.

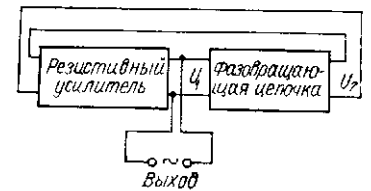


Рис. 18.10. Структурная схема генератора типа RC

Підсилювач будується за звичайною ре-зистивної схемою. Для самозбудження підсилювача, тобто для перетворення спочатку виниклих коливань на незгасаючі, необхідно на вхід підсилювача подавати частину вихідної напруги, що перевищує вхідну напругу або рівну йому за величиною і співпадаючу з ним по фазі, іншими словами, охопити підсилювач позитивним зворотним зв'язком достатньої глибини.

При безпосередньому з'єднанні виходу підсилювача з його входом відбувається самозбудження, проте форма генерованих коливань різко відрізнятиметься від синусоїдальної, оскільки умови самозбудження одночасно виконуватимуться для коливань багатьох частот. Для отримання синусоїдальних коливань необхідно, щоб ці умови виконувалися тільки на одній певній частоті і різко пару шались на усіх інших частотах. Це завдання вирішується за допомогою фазоповоротаючого ланцюжка, який має декілька ланок RC і служить для повороту фази вихідної напруги підсилювача на  $180^\circ$ . Зміна фази залежить від числа ланок  $n$  і рівно

$$\varphi = \frac{180^\circ}{n}. \quad (18.18)$$

У зв'язку з тим що одна ланка RC змінює фазу на кут  $\varphi < 90^\circ$ , мінімальне число ланок фазоповоротаючого ланцюжка  $n = 3$ . У практичних схемах генераторів зазвичай використовують трехзвен-ные фазовращающие ланцюжки.

На мал. 18.11 зображено два варіанти таких ланцюжків, що дістали назву відповідно "R-параллель" і "C-параллель". Частота генерованих синусоїдальних коливань для цих схем за умови  $R_1 = R_2 = R_3 = R$  і  $C_1 = C_2 = C_3 = C$  розраховується по наступних формулах:

для схеми на мал. 18.11, а:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{6RC}} = \frac{0,065}{RC}; \quad (18.19)$$

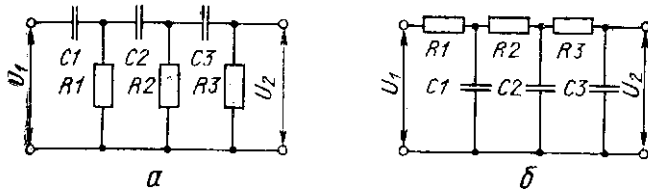


Рис. 18.11. Трехзвенные фазовращающие цепочки.  
а — типа R-параллель; б — типа C-параллель

для схеми на мал. 18.11, б:

$$f_0 = \frac{\sqrt{6}}{2\pi RC} = \frac{0,39}{RC} \quad (18.20)$$

Для забезпечення балансу амплітуд коефіцієнт посилення підсилювача має дорівнювати загасанню, що вноситься фазоповертаючим ланцюжком, через який напруга з виходу поступає на вхід підсилювача, або перевищувати його.

Розрахунки показують, що для приведених схем загасання

$$N = \frac{U_1}{U_2} = 29. \quad (18.21)$$

Отже, схеми з використанням триланкових фазовра-щаючих ланцюжків, що мають однакові ланки, можуть генерувати синусоїдальні коливання з частотою /0 лише у тому випадку, якщо коефіцієнт посилення підсилювача перевищує 29.

У фазоповертаючому ланцюзі з однаковими ланками кожна наступна ланка чинить шунтуючу дію на попередню. Для зменшення шунтуючої дії ланок і зниження загасання у фазоповертаючому ланцюзі зворотного зв'язку можуть застосовуватися так звані прогресивні ланцюжки. В цьому випадку опір резистора кожної наступної ланки вибирається в  $m$  разів більше опору попередньої ланки, а місткості наступних ланок в стільки ж разів зменшуються:

$$R_2 = mR_1; \quad R_3 = m^2R_1, \quad (18.22)$$

$$C_2 = \frac{C_1}{m}; \quad C_3 = \frac{C_1}{m^2}. \quad (18.23)$$

Зазвичай величина  $m$  не перевищує 4-5.

На мал. 18.12 приведена одна з можливих схем автогенератора типу RC з фазоповертаючим ланцюжком.

З точки зору забезпечення умови балансу фаз такий генератор можна було б побудувати і на одному транзисторі (VT2) із загальним емітером. Проте в цьому випадку ланцюжок зворотного зв'язку шунтує резистор  $R_K$  підсилювального транзистора і знижує його підсилення, а малий вхідний опір транзистора різко збільшує загасання в ланцюзі зворотного зв'язку. Тому доцільно розділити вихід фазоповертаючого ланцюга, що обертає, і вхід підсилювача за допомогою емітерного повторителя, зібраного на транзисторі VT1.

Робота автогенератора починається у момент включення джерела живлення. Імпульс колекторного струму, що виникає при цьому, містить широкий і безперервний спектр частот, що обов'язково включає і необхідну частоту генерації. Завдяки виконанню умов самозбудження коливання цієї частоти стають незгасаючими, тоді як коливання усіх інших частот, для яких умова балансу фаз не виконується, швидко затухають.

Автогенератори з фазоврашаючими ланцюгами зазвичай застосовуються для генерації синусоїдальних коливань фіксованої частоти. Це пов'язано з трудностю

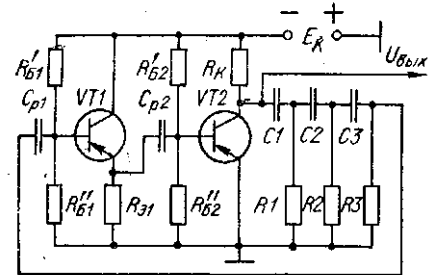


Рис. 18.12. Схема транзисторного RC-генератора с фазовращающей цепью обратной связи

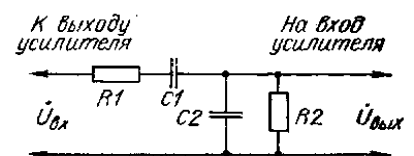


Рис. 18.13. Последовательно-параллельная избирательная цепочка

перебудови частоти в широкому діапазоні. Діапазонні автогенератори типу *RC* будуються трохи інакше. Розглянемо це питання детальніше.

Якщо підсилювач повертає фазу вхідного сигналу на  $2\pi$  (наприклад, підсилювач, що має парне число каскадів), то при охопленні позитивним зворотним зв'язком достатньої глибини він може генерувати електричні коливання без включення спеціального фазоповертаючого ланцюжка. Для виділення необхідної частоти синусоїдальних коливань з усього спектру частот, генерованих такою схемою, необхідно забезпечити виконання умов самозбудження тільки для однієї частоти. З цією метою в ланцюг зворотного зв'язку може бути включений послідовно-паралельний виборчий ланцюжок, схема якого приведена на мал. 18.13.

Визначимо властивості цього ланцюжка, розглядаючи її як дільник напруги.

Між вихідним і вхідним напругою існує очевидна залежність

$$\dot{U}_{\text{вих}} = U_{\text{вх}} \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}, \quad (18.24)$$

де

$$Z_1 = R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}; \quad Z_2 = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + j\omega C_2}.$$

Коефіцієнт передачі напруги цим ланцюгом

$$\beta = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{-j \frac{R_2}{\omega C_2}}{R_1 R_2 - \frac{1}{\omega^2 C_1 C_2} - j \left[ \frac{R_2}{\omega C_1} + \frac{R_1}{\omega C_2} + \frac{R_2}{\omega C_2} \right]}. \quad (18.25)$$

На квазірезонансній частоті  $\omega_0$  коефіцієнт передачі напруги має дорівнювати дійсному числу. Це можливо лише у тому випадку, якщо опори, виражені відповідним математичним записом в чисельнику і знаменнику формули (18.25), матимуть однаковий характер. Ця умова забезпечується лише у тому випадку, якщо дійсна частина знаменника дорівнює нулю, т. е.

$$R_1 R_2 - \frac{1}{\omega_0^2 C_1 C_2} = 0. \quad (18.26)$$

Звідси частота квазірезонансу

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (18.27)$$

або

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}.$$

Затухання, вносимое рассматриваемой избирательной цепочкой на квазірезонансній частоті,

$$N = \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{вих}}} = \frac{1}{\beta_0} = 3. \quad (18.33)$$

Це означає, що мінімальний коефіцієнт посилення, при якому задовольняється умова балансу амплітуд, також має дорівнювати 3. Очевидно, що ця вимога виконати досить легко. Реальний транзисторний підсилювач, що має два каскади (найменше парне число), дозволяє отримати посилення по напрузі, набагато  $K_0 = 3$ , що перевищує. Тому доцільно разом з позитивним зворотним зв'язком ввести в підсилювач негативний зворотний зв'язок, який, знижуючи коефіцієнт посилення, в той же час істотно зменшує можливі нелінійні спотворення генерованих коливань. Принципова схема такого генератора приведена

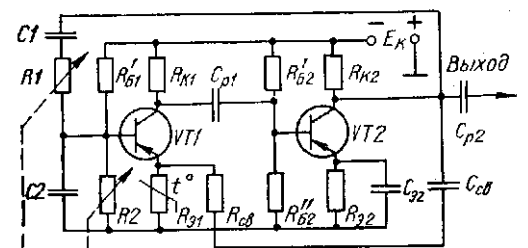


Рис. 18.14. Схема діапазонного *RC*-генератора

на мал. 18,14. Терморезистор  $RK$  в ланцюзі емітера транзистора  $VT1$  призначений для стабілізації амплітуди вихідної напруги при зміні температури. Регулювання частоти здійснюється за допомогою спареного потенціометра  $R1R2$ .

**САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №23**  
**ТЕМА: ГЕНЕРАТОРИ СИНУСОЇДАЛЬНИХ КОЛИВАНЬ НА ІНТЕГРАЛЬНИХ МІКРОСХЕМАХ**

**МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми**

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

- 1 Генератори синусоїдальних коливань.
- 2 Будова принцип дії генератора.

**Література:**

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабииков М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

**Питання для самоконтролю.**

- 1 Генератори синусоїдальних коливань.
- 2 Будова принцип дії генератора.

**27 Генератори синусоїдальних коливань на інтегральних мікросхемах**

Для побудови генераторів в мікровиконанні використовуються аналогові (лінійні) підсилювальні ІМС, охоплені глибоким позитивним зворотним зв'язком. Тому створення схеми генератора - типу LC або RC, по суті, зводиться до вибору такою, що відповідає аналоговою ІМС і підключенню до неї дискретних елементів - LC -контур, RC-цепочек, мостів п т. п. При цьому принципи побудови схем генераторів, розглянуті в попередніх параграфах, умови самозбудження, способи стабілізації частоти фактично залишаються незмінними.

На мал. 18.15 приведена схема генератора синусоїдальних коливань з трансформаторним зворотним зв'язком, основою якого є диференціальний каскад (ДУ). Коливальний контур включений між колекторами транзисторів  $VT1$  і  $VT2$ . Позитивний зворотний зв'язок забезпечується з допомогою



обмотки  $L_{св}$ , напруга з якою подається на вхід диференціального каскаду. Вихідна напруга, що знімається з колекторів транзисторів VT1 і VT2 (несиметричні виходи), змінюється в протифазі. Це дозволяє у разі потреби знімати два гармонійні сигнали, зрушених по фазі на  $180^\circ$ . При підключенні зовнішнього навантаження між колекторами транзисторів VT1 і VT2 (симетричний вихід) амплітуда вихідної напруги збільшується в два рази в порівнянні з амплітудою напруги схеми з несиметричним виходом. З метою зменшення впливу зовнішнього навантаження на стабільність генерованих коливань і узгодження генератора з навантаженням вихідна напруга знімається через емітерний повторитель, зібраний на транзисторі VT4.

Рис. 18.15. Генератор типу LC на базі ІМС диференціального усилителя

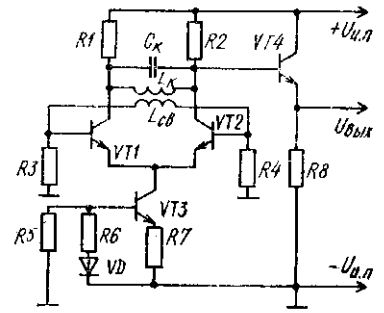
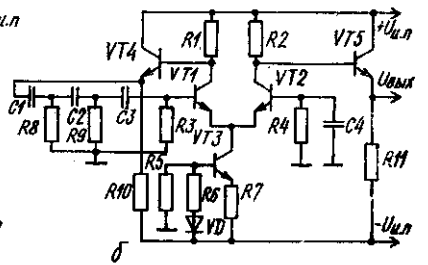
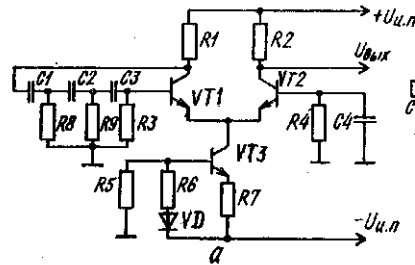


Рис. 18.16. Генератори типу RC на базі ІМС диференціального усилителя:  
а — простейша схема; б — схема з емітерними повторителями



В якості базових елементів (диференціальних підсилювачів) можуть бути використані аналогові ІМС різних серій (наприклад, К1УТ181А - К1УТ181В; 1УТ221 (А, Б, В); К1УТ771 (А, Б) та ін.).

На основі мікросхем ДУ можуть бути отримані різні варіанти RC-автогенераторов. В якості прикладу на мал. 18.16, а приведена схема з триланковим ланцюжком типу "R-паралель", яка включена між колектором і базою транзистора VT1. Таким чином, власне генератор зібраний на транзисторі VT1, а вихідна напруга знімається з колектора транзистора VT2, що зменшує вплив навантаження на роботу схеми.

Вищі якісні показники має схема RC-генератора, приведена на мал. 18.16, б. Тут на транзисторах VT4 і VT5 зібрані емітерні повторители, підключені відповідно до ланцюга зворотного зв'язку генератора (на транзисторі VT4) і до виходу схеми (на транзисторі VT5).

Підключаючи ланцюг зворотного зв'язку через емітерний повторитель, можна істотно поліпшити умови самозбудження і характеристики схеми. При цьому практично виключається вплив вхідного опору ланцюга зворотного зв'язку на колекторне навантаження транзистора VT1. Як показали експериментальні дослідження, коефіцієнт нелінійних спотворень в діапазоні частот від 100 до 1000 Гц для схеми мал. 18.16, б не перевищує 1,2 % (при амплітуді вихідної напруги близько 1 В)[47].

При виконанні умов  $C_1 = C_2 = C_3 = C$ ;  $R_8 = R_9 = \frac{R_3 \cdot R_{ex1}}{R_3 + R_{ex1}} = R$  частота генерованих коливань визначається співвідношенням

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}} \quad (18.34)$$

Вища частота генерованих коливань визначається типом ІМС.

**САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №24**  
**ТЕМА: РІЗНІ ВИДИ ГЕНЕРАТОРІВ**  
**МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми**

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

- 1 LC - генератори синусоїдальних коливань.
- 2 Будова принцип дії генератора.

**Література:**

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабииков М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

**Питання для самоконтролю.**

- 1 LC - генератори синусоїдальних коливань.
- 2 Будова принцип дії генератора.

**Різні види генераторів**

**18.3. Різновиди схем транзисторних автогенераторів**

Окрім схеми з трансформаторним зв'язком, широкого поширення в електронній апаратурі набули так звані *триточкові схеми* з автотрансформаторним (мал. 18.5, а) і місткістю зв'язком (мал. 18.5, б). Режим по постійному струму і його термостабілізація здійснюються в приведених схемах так само, як і в схемі мал. 18.1. По змінному струму високої частоти контур приєднується до трьох електродів транзистора - емітера, бази, колектору-трема точками: Э, Б, К. У схемі, приведеній на мал. 18.5, а, відведення від відповідного витка контурної котушки підключене до емітера транзистора через малий внутрішній опір джерела живлення.

Напруга зворотного зв'язку (мал. 18.5, а) знімається з частини витків контурної котушки (L2) і через конденсатор С1 поступає на базу транзистора. Оскільки знаки миттєвої напруги на L1 і L2 відносно середньої точки протилежні, т. е. зрушені між собою по фазі на 180°, а підсилювальний каскад повертає фазу ще на 180°, то зворотний зв'язок буде позитивним, т. е. умова балансу фаз виконується. Аналогічно працює і схема, приведена на мал. 18.5, б, тільки тут напруга зворотного зв'язку знімається з конденсатора С3. Для збільшення вихідної потужності застосовуються двотактні схеми автогенераторів, які по суті є поєднанням однотоктних схем із загальним контуром, загальним живленням і іншими загальними елементами. Побудова такої схеми ілюструється мал. 18.6.

## 18.4. Автогенератори на тунельних діодах

Тунельний діод завдяки широкому частотному діапазону, малій споживаній потужності і високій температурній стабільності є найбільш-перспективним приладом для побудови мініатюрних, високостабільних, широкодіапазонних автогенераторів. Недоліком генераторів на тунельних діодах є мала вихідна потужність, а також деяка нестабільність роботи із-за розкиду параметрів сучасних тунельних діодів.

Найбільш повно переваги тунельного діода вдається використовувати в генераторах діапазону НВЧ, особливо на частотах вище за 1 ГГц, де через неможливість використання транзисторів доводилося використовувати складні, громіздкі і неекономічні генератори на клістродах, лампах хвилі та ін., що біжить і зворотної. Сучасні тунельні діоди дозволяють генерувати електричні коливання з частотами до 100 ГГц.

Застосування тунельного діода в схемах генераторів пояснюється тим, що за допомогою негативного опору тунельного діода можна компенсувати втрати в коливальному контурі і отримати в ній незгасаючі коливання. Тому робочою ділянкою вольтамперної характеристики тунельного діода є її ділянка, що падає. Ширина ділянки характеристики тунельного діода, що падає, зазвичай не перевищує декількох десятків милливольт. Тому амплітуда генерованих коливань в автогенераторі на тунельному діоді виявляється невеликою. Найбільша величина вихідної потужності, яку може розвинути тунельний діод, виражається співвідношенням

$$P_{\max} = \frac{1}{8} (U_{I_{\min}} - U_{I_{\max}}) (I_{\max} - I_{\min}). \quad (18.10)$$

При цьому робоча точка переміщається від точки максимуму (спис) вольт-амперної характеристики діода до точки мінімуму (западини). Внаслідок нелінійності характеристики поблизу цих точок форма генерованих коливань може виявитися спотвореною. Для зменшення спотворень доводиться зменшувати робочу ділянку характеристики, обмежуючись його лінійною частиною. Проте це призводить до зменшення потужності, що віддається, яка практично не перевищує декількох сотень міліват.

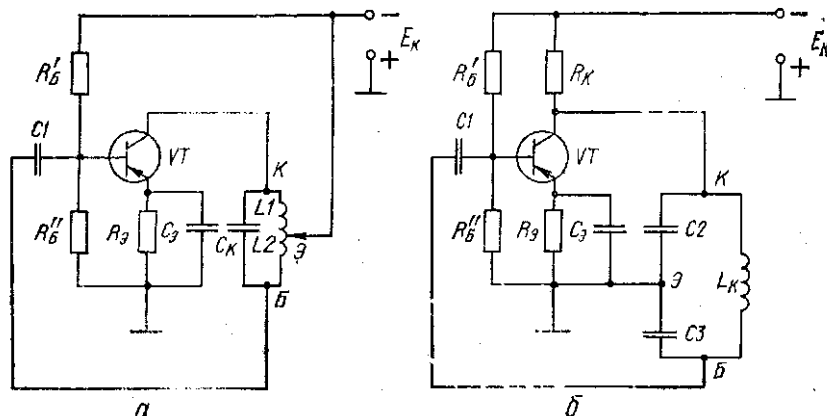


Рис. 18.5 Трехточечные схемы автогенераторов: а — с автотрансформаторной связью; б — с емкостной связью

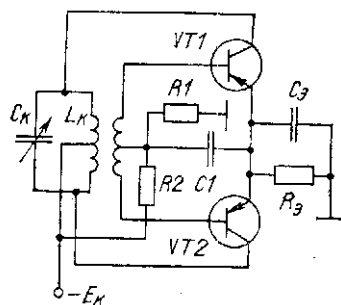


Рис. 18.6 Двухтактная схема автогенератора

На мал. 18.7, а приведена п-ростейшая схема автогенератора на тунельному діоді. За допомогою дільника  $R1R2$  задається необхідне положення робочої точки. Коливальний контур утворений котушкою  $L$  і власною місткістю діода  $C_d$ . Еквівалентна схема такого генератора може бути представлена у вигляді ланцюга, зображеного на мал.

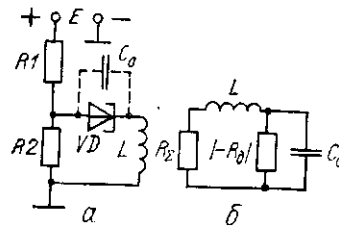


Рис. 18.7. Принципиальная (а) и эквивалентная (б) схемы простейшего автогенератора на туннельном диоде

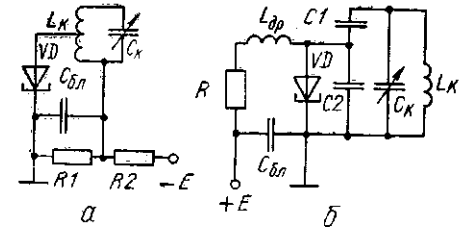


Рис. 18.8. Схемы автогенераторов на туннельных диодах: а — с последовательным питанием; б — с параллельным питанием

18.7, б. Тут  $R_{\Sigma}$  - загальний активний опір,  $R_{\Sigma} < |-R_d|$ , що враховує опір дільника і опір втрат контура. Умови самозбудження виконуватимуться, якщо величина  $|-R_d|$  виявиться достатньою, щоб компенсувати втрати в контурі, т. е.

$$(18.11)$$

Крім того, необхідно, щоб

$$L > R_{\Sigma} |-R_d| C_d \quad (18.12)$$

При цьому схема самовозбуджається і генерує коливання з частотою

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC_d} - \frac{R_{\Sigma}}{LC_d |-R_d|}} \quad (18.14)$$

На мал. 18.8 показано два різновиди типових схем автогенераторів на тунельних діодах.

Слід звернути увагу на те, що тунельний діод - *двополюсник*. Тому схема автогенератора на тунельному діоді простіша, ніж на транзисторі, оскільки відпадає необхідність зовнішнього зворотного зв'язку. Тут зворотний зв'язок закладений в самому фізичному механізмі роботи діода і виражається у виникненні негативного опору при правильному виборі робочої точки на вольтамперной характеристикі. Через відсутність зовнішнього ланцюга зворотного зв'язку і великої крутизни ділянки вольтамперной характеристики, що падає, автогенератори на тунельних діодах мають ряд особливостей. Передусім джерело живлення повинне мати малий внутрішній опір  $R_i$  щоб робоча точка могла потрапити на ділянку характеристики, що падає.

Схема на мал. 18.8, а дістала назву *схеми з послідовним живленням діода* (джерело живлення, контур і діод включені послідовно один з одним). Напруга джерела живлення зазвичай подається за допомогою дільника. Для отримання малого внутрішнього опору джерела опір резистора  $R1$  слід вибрати з умови  $R1 < |-R_d|$ .

Схема на рис. 18.8, б називається *схемой паралельного питания*. Здесь источник питания, диод и контур включены между собой параллельно (диод и источник питания — по постоянному току, контур и диод — по переменному). Для устранения самовозбуждения в контуре  $C2L_{др}$  последовательно с дросселем включается резистор  $R$ , сопротивление которого выбирается из условия  $R < |-R_d|$ . При параллельном питании постоянный ток источника не поступает в контур, что предотвращает бесполезный нагрев катушки контура и способствует повышению стабильности генерируемой частоты.

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №25

### ТЕМА: ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ВИПРЯМЛЯЮЧИХ ПРИСТРОЇВ

**МЕТА:** оволодіти знаннями про електричні схеми

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

- 1 Структурна схема випрямляча.
- 2 Основні види випрямлячів.

#### Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Главное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

#### Питання для самоконтролю.

- 1 Структурна схема випрямляча.
- 2 Основні види випрямлячів.

### Загальні відомості та класифікації

#### 9.1. Загальні відомості та класифікація

Випрямлячі - це електротехнічні пристрої, призначені для перетворення енергії джерела напруги змінного струму в енергію напруги постійного струму.

Склад випрямляча показано на узагальненій структурній схемі, наведеній на рис. 9.1.

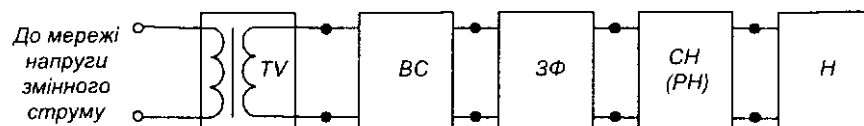


Рис. 9.1 – Структурна схема випрямляча:  
TV – трансформатор напруги;  
BC – вентильна схема; ZF – згладжуючий фільтр;  
CH (PH) – стабілізатор напруги (регулятор напруги);  
H – навантаження

Як правило, випрямляч підминається до розподільної мережі напруги змінного струму.

Трансформатор призначений для перетворення величини напруги мережі до значення, необхідного для роботи випрямляча. Він також забезпечує електричну (гальванічну) розв'язку мережі і навантаження.

Вентильна схема перетворює змінну напругу у випрямлену - пульсуючу однополярну. Вона може виконуватись на напівпровідникових ключах.

Згладжуючий фільтр перетворює випрямлену напругу у постійну. Фільтри виконуються на реактивних елементах, що мають властивість накопичувати електричну енергію: конденсаторах, дроселях. Такі фільтри називаються пасивними.

Для живлення радіоелектронних пристроїв часто використовують активні фільтри, що будуються на транзисторах, операційних підсилювачах та реактивних елементах.

Стабілізатор напруги підтримує напругу на навантаженні на незмінному рівні при змінах напруги мережі або навантаження у заданих межах.

При необхідності регулювання напруги на навантаженні за необхідним законом і у заданих межах використовують регулятори напруги. Зазначимо, що стабілізатор також являє собою різновид регулятора, у якого забезпечується автоматичне регулювання за ознакою постійності значення напруги на навантаженні.

Регулятор (стабілізатор) може бути увімкнено і зі сторони змінної напруги (до трансформатора).

Параметри вузлів випрямляча та їх елементів, режими їх роботи повинні бути узгоджені із заданими умовами роботи навантаження. Навантаження також вважають елементом випрямляча, бо зміни його опору в процесі роботи впливають на режим роботи всього пристрою.

Згладжуючий фільтр, стабілізатор (регулятор), а іноді й трансформатор можуть не входити до складу випрямляча, коли у них немає необхідності.

Крім вказаних вузлів, випрямляч може мати вузли і елементи захисту від короткого замикання, перевантаження, зниження напруги мережі та ін. (запобіжник, автоматичний вимикач, електронний пристрій захисту, елементи і вузли індикації наявності і значення напруги і струму, а також вузли діагностики працездатності).

Випрямлячі класифікують за числом фаз - однофазні та багатofазні (останні - найчастіше трифазні). За потужністю випрямлячі бувають малої потужності (до 100 Вт), середньої (до 10 кВт) і великої (понад 10 кВт).

Є некеровані випрямлячі та керовані. Перші будуються на не-керованих вентилях - на діодах, другі - на керованих - наприклад, на тиристорах.

За принципом дії випрямлячі поділяються на однотоктні та двотоктні.

Однотоктними називають випрямлячі, у яких по вторинній обмотці трансформатора струм протікає один раз за період напруги мережі і лише у одному напрямку.

Важливим параметром випрямляча є кратність пульсацій випрямленої напруги  $\tau$  - відношення частоти пульсацій випрямленої напруги до частоти мережі. У однотоктних випрямлячів він відповідає числу фаз мережі.

Двотоктними (двопівперіодними) називають випрямлячі, у яких по вторинній обмотці трансформатора струм за період напруги мережі протікає двічі і у різних напрямках. Кратність пульсацій у двотоктних випрямлячів дорівнює подвоєному числу фаз.

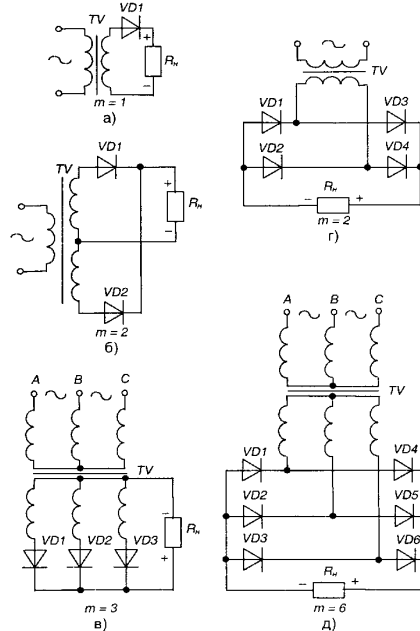


Рис. 9.2 – Випрямлячі: а-в – однотактні (з нульовим виводом); г, д – двотактні (мостові); а) однофазна однопівперіодна; б) однофазна двопівперіодна з нульовим виводом; в) трифазна з нульовим виводом (схема Міткевича); г) однофазна мостова; д) трифазна мостова (схема Ларіонова)

Робота випрямляча фактично полягає у тому, що навантаження за допомогою ключів так підмикається до джерела енергії напруги змінного струму, щоб за час кожного півперіоду його напруги (позитивного і негативного) струм у навантаженні протікав у одному напрямку. Виходячи з цього, найважливішим вузлом випрямляча є вентильна схема -схема випрямлення. Найширшого розповсюдження набули схеми випрямлячів, зображені на рис. 9.2 (виходячи з того,

що у якості вентилів тут використано діоди - маємо некеровані випрямлячі). При розрахунку випрямляча відомі параметри навантаження та мережі живлення. Невідомими є параметри елементів вузлів, що до нього входять.

Теорія випрямлячів зводиться до розробки аналітичних виразів, що зв'язують відомі параметри напруги мережі живлення і навантаження з невідомими параметрами, які характеризують роботу вентильної схеми. На підставі цього робиться вибір типу вентилів для конкретної схеми випрямляча та розрахунок його вузлів.

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №26

### ТЕМА: ЗГЛАДЖУВАЛЬНІ ФІЛЬТРИ

#### МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми

#### Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Основні поняття про фільтри.
- 2 Особливості роботи фільтрів.

#### Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

### Питання для самоконтролю.

- 1 Основні поняття про фільтри.
- 2 Особливості роботи фільтрів.

## 30. Згладжувальні фільтри

### Основні поняття про фільтри

Згладжуючі фільтри використовуються для зниження рівня пульсації випрямленої напруги до такого, що забезпечує нормальну роботу навантаження.

Найширше використання мають **пасивні згладжуючі фільтри**, що будуються на реактивних елементах, які мають властивість накопичувати електричну енергію - дроселях і конденсаторах. Кількість накопиченої енергії відповідно становить

$$W_L = \frac{LI^2}{2}; W_C = \frac{CU^2}{2}.$$

*Індуктивний фільтр* - це дросель, що вмикається послідовно з навантаженням. Фактично, разом із навантаженням він являє собою частотно-залежний діляк напруги. Ефект фільтрації наявний тоді, коли опір дроселя  $\omega L$  змінній складовій пульсуючого струму з найнижчою частотою значно перевищує активний опір навантаження  $R_H$ . Тоді вся постійна напруга прикладається до  $R_H$  (падіння напруги на ідеальному дроселі відсутнє), а змінні складові діляться між  $R_H$  і  $\omega L$ .

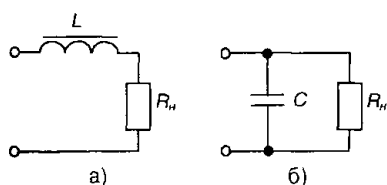
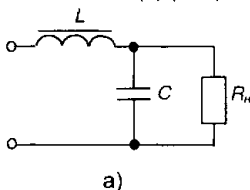
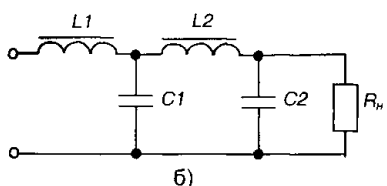


Рис. 9.15 - Індуктивний (а) та ємнісний (б) фільтри



а)



б)

Рис. 9.16 - Г-подібні LC-фільтри: одноланковий (а) і дволанковий (б)

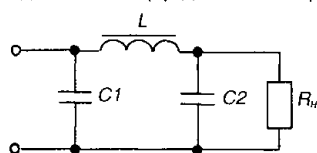


Рис. 9.17 - П-подібний LC-фільтр

*Ємнісний фільтр* - це конденсатор, що вмикається паралельно навантаженню. За умови, що опір конденсатора  $1/\omega C$  для складової пульсуючого струму з найнижчою частотою значно менший опору навантаження  $R_H$ , забезпечується шунтування навантаження за змінним струмом: постійний струм увесь протікає через  $R_H$  (конденсатор постійного струму не проводить), а змінні складові розподіляються між  $R_H$  і  $1/\omega C$ .

Схеми цих фільтрів зображені на рис. 9.15.

Поряд із простими фільтрами використовуються складні, що являють собою сполучення певним чином увімкнених дроселів та конденсаторів.

Найширшого використання набули Г-подібні LC-фільтри (одноланкові або багатоланкові), зображені на рис. 9.16.

На рис. 9.17 зображена схема П-подібного LC-фільтра. Фільтри, показані на рис. 9.15,6 та рис. 9.17 мають ємнісні входи, решта - індуктивні.



Ефективність роботи фільтра визначається **коефіцієнтом згладжування**:

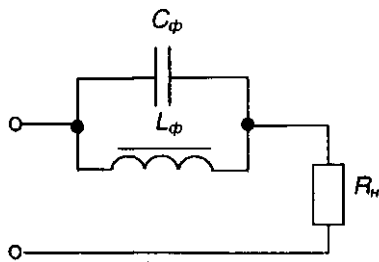


Рис. 9.18 – Резонансний "фільтр-пробка"

$$K = \frac{K_{\text{вх}}}{K_{\text{вих}}}, \quad (9.29)$$

що показує, наскільки зменшується пульсація на виході фільтра  $K_{\text{вих}}$  відносно пульсації на його вході  $K_{\text{вх}}$ .

Існують також *резонансні фільтри*. Схема одного з таких *фільтрів*, так званого "*фільтра-пробки*", наведена на рис. 9.18.

Тут послідовно з навантаженням увімкнено LC-контур, резонансна частота якого:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_\phi C_\phi}}. \quad (9.30)$$

Як правило,  $\omega_0 = \omega_{\text{н}} = 2\pi f_{\text{н}}$ . Опір контуру на цій частоті теоретично нескінченний, тому напруга з цією частотою до навантаження не доходить.

Якщо паралельно до  $R$  підімкнути послідовний резонансний контур, опір якого на резонансній частоті теоретично нескінченно малий, отримаємо "*фільтр-дірку*", що шунтує навантаження для складової з частотою  $\omega_0$ .

Роботу фільтрів з індуктивними входами розглянемо на прикладах випрямлячів, що працюють на активно-індуктивне навантаження, а фільтрів з ємнісними входами - на прикладах випрямлячів, що працюють на активно-ємнісне навантаження, оскільки вид входу фільтра визначає характер навантаження випрямляча (вентильної схеми) - відповідно активно-індуктивне чи активно-ємнісне.

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №27

### ТЕМА: ОДНОФАЗНИЙ КЕРОВАНИЙ ВИПРЯМЛЯЧ З НУЛЬОВИМ ВИВОДОМ

**МЕТА:** оволодіти знаннями про електричні схеми

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

- 1 Структурна схема випрямляча.
- 2 Основні види випрямлячів.

#### Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроелектроніки (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

**Питання для самоконтролю.**

- 1 Структурна схема випрямляча.
- 2 Основні види випрямлячів.

**Однофазний двопівперіодний керований випрямляч з нульовим виводом**

Роботу фазо-імпульсного регулятора постійної напруги розглянемо на прикладі однофазного двопівперіодного керованого випрямляча з нульовим виводом, схема якого зображена на рис. 9.37, де позначено  $VS1, VS2$  - тиристори,  $СК$  - схема керування, яка забезпечує подачу на тиристори керуючих імпульсів з регульованою затримкою. На рис. 9.38 наведені часові діаграми, що ілюструють роботу випрямляча. Величина випрямленої напруги при куті регулювання, що змінюється в межах

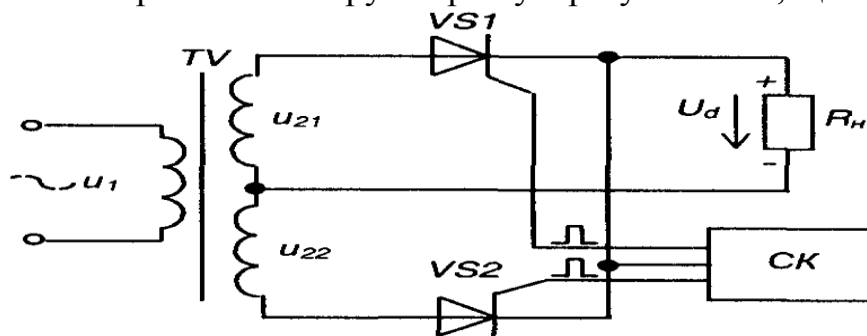


Рис. 9.37 – Однофазний двопівперіодний керований випрямляч з нульовим виводом  
 $0 < \alpha < \pi,$

становить 
$$U_{d\alpha} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_{2m} \sin \vartheta d\vartheta = \frac{U_2 \sqrt{2}}{\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (9.101)$$

Якщо  $\alpha = 0$  (некерований режим), то

$$U_{d\alpha} = U_{d0} = \frac{2\sqrt{2}U_2}{\pi}, \text{ звідки } U_2 = \frac{U_{d0}\pi}{2\sqrt{2}}.$$

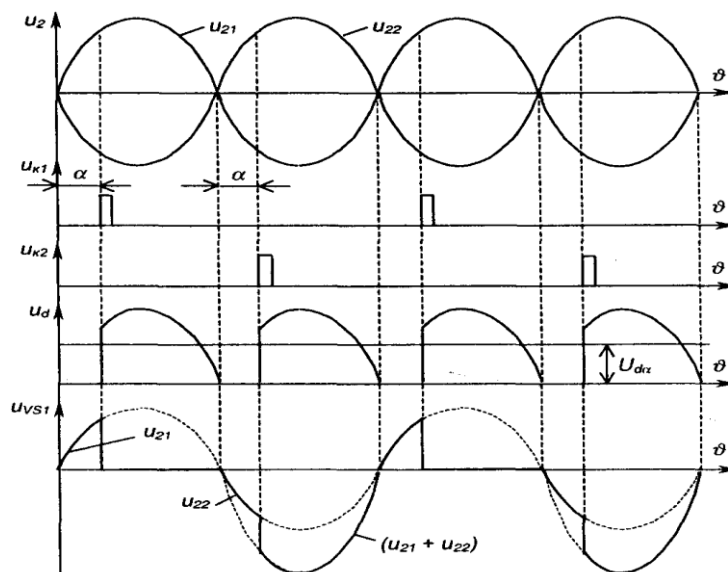


Рис. 9.38 – Часові діаграми роботи однофазного двопівперіодного керованого випрямляча з нульовим виводом

Підстановка цього виразу до формули (9.101) дасть

$$U_{d\alpha} = U_{d0} \frac{1 + \cos \alpha}{2} \quad (9.102)$$

Зверніть увагу на форму напруги на тиристорі  $u_{vs1}$ . На відрізку часу, що відповідає куту регулювання  $\alpha$ , він закритий і до нього прикладена напруга  $u_{21}$  за додатньої півхвилі, або  $u_{22}$  за від'ємної. Після закінчення відліку  $\alpha$  і видачі відповідного керуючого імпульсу, напруга на тиристорі за додатної півхвилі відсутня, бо він тут працює як замкнений ключ, а за від'ємної півхвилі дорівнює  $(u_{21} + u_{22})$ , бо за рахунок того, що другий тиристор знаходиться у відкритому стані, даний закритий виявляється під'єднаним до обидвох півобмоток трансформатора (див. розділ 9.3).

Подібні керовані випрямлячі будують також і на основі трифазних вентильних схем. Закони зміни пульсуючої напруги на виході, а також специфіка роботи вентилів при цьому складніші.

Залежність середньої випрямленої напруги на навантаженні від кута

а називається регулювальною характеристикою, яка має вигляд косинусоїди, зміщеної на величину  $U_{d0}/2$ . Регулювальна характеристика наведена на рис. 9.39. Вона нелінійна, бо лінійним змінам кута  $\alpha$  відповідають нелінійні зміни площі під кривою синусоїди.

Керовані випрямлячі широко використовуються для створення регульованих джерел напруги при регулюванні нагрівачів, освітлювальних приладів, швидкості обертання електродвигунів і т.п.

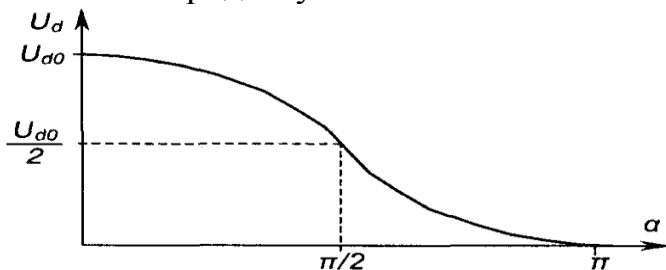


Рис. 9.39 – Регулювальна характеристика керованого випрямляча

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №28

### ТЕМА: СТАБІЛІЗАТОРИ НАПРУГИ ПАРАМЕТРИЧНІ І КОМПЕНСАЦІЙНІ

**МЕТА:** оволодіти знаннями про електричні схеми

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

- 1 Будова, принцип дії параметричного стабілізатора напруги.
- 2 Будова, принцип дії компенсаційного стабілізатора напруги

### Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроелектроніки (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

### Питання для самоконтролю.

- 1 Будова, принцип дії параметричного стабілізатора напруги.
- 2 Будова, принцип дії компенсаційного стабілізатора напруги

## Стабілізатори напруги

Для того, щоб забезпечити підтримання напруги на навантаженні на незмінному рівні при змінах напруги мережі або змінах величини навантаження у зазначених межах, а також при дії інших дестабілізуючих факторів, використовують спеціальні пристрої-стабілізатори напруги.

Стабілізатори безперервної дії поділяються на параметричні та компенсаційні.

### Параметричні стабілізатори

Параметричні стабілізатори працюють за рахунок зміни власних параметрів електронних нелінійних приладів і можуть виконуватися на основі напівпровідникових приладів, вихідна напруга яких мало залежить від струму, що протікає через прилад, наприклад, на стабілітронах.

Схема найпростішого параметричного стабілізатора зображена на рис. 9.27 (див. також рис. 2.6). Стабілізатор складається із баластного опору  $R_b$  стабілітрона  $VD$  (найширшого використання набули кремнієві стабілітрони) та навантаження  $R_H$ .

Напруга стабілізації стабілітрона  $U_{cm}$  вибирається рівною номінальній робочій напрузі навантаження  $U_H$ .

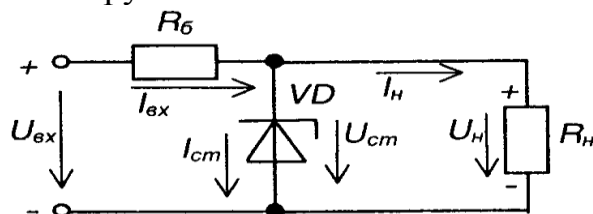


Рис. 9.27 – Параметричний стабілізатор

На рис. 9.28 наведено побудову навантажувальних характеристик стабілітрона. Тут прийнято такі позначення:

- 1 - ВАХ стабілітрона;
- 2 - лінія навантаження при  $I_{cm}$  ;
- 3 - лінія навантаження при  $I_{cm}$  ;
- 4 - лінія навантаження при  $I_{cm}$

Із побудови витікає, що зміна вхідної напруги у межах від  $U_{exmax}$  до  $U_{exmax}$  не призводить до зміни напруги на навантаженні, яка при  $k_{st}$  цьому становить  $U_H = U_{cm}$  (якщо не враховувати динамічного опору стабілітрона).

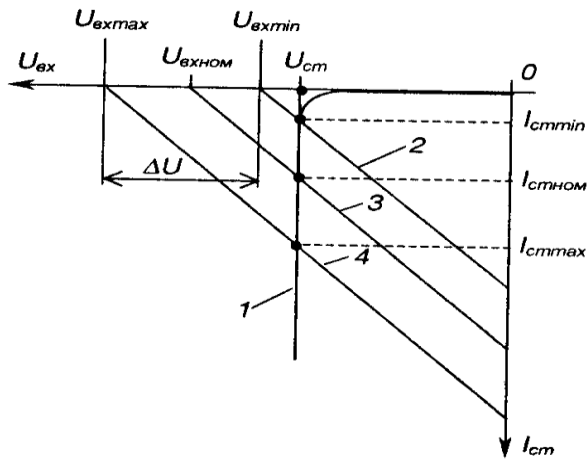


Рис. 9.28 – Побудова навантажувальних характеристик стабілітрона

Як правило, задають

$$I_{стном} = \frac{I_{стmax} - I_{стmin}}{2}, \quad U_{ст} = const. \quad (9.73)$$

Вихідними даними для розрахунку елементів схеми є необхідне значення напруги на навантаженні  $U$  і максимальна величина струму навантаження  $I_{u\max}$ , а також допустимі відхилення напруги мережі живлення.

Необхідно визначити тип стабілітрона (за напругою стабілізації і допустимими струмами стабілізації) і величину та потужність баластного опору. Зрозуміло, що  $U_H = U_{ст}$ .

Для забезпечення ефективної роботи стабілізатора бажано вибрати

$$U_{вх} = (2 \dots 3) U_{ст}. \quad (9.74)$$

Якщо опір навантаження має незмінну величину  $R_H = const$ , то розрахунок схеми зручно проводити аналітично за наступними виразами:

$$U_{вхmax} = R_{\delta} (I_H + I_{стmax}) + U_{ст}; \quad (9.75)$$

$$U_{вхmin} = R_{\delta} (I_H + I_{стmin}) + U_{ст}; \quad (9.76)$$

$$\Delta U = R_{\delta} (I_{стmax} - I_{стmin}); \quad (9.77)$$

$$R_{\delta} = \frac{\Delta U}{I_{стmax} - I_{стmin}}. \quad (9.78)$$

Для того щоб забезпечити працездатність пристрою при змінах величини опору навантаження від нескінченності (коли воно відімкнене) до його мінімальної величини

$$R_{H \min} = U_{cm} / I_{H \max}, \quad (9.79)$$

необхідно виконати умови:

$$I_{ex \max} = \frac{U_{ex \max} - U_{cm}}{R_{\delta}} < I_{cm \max} \quad (\text{що відповідає } R_H = \infty); \quad (9.80)$$

$$I_{cm} = I_{ex \min} - I_{H \max} > I_{cm \min} \quad (\text{що відповідає } R_H = R_{\min}); \quad (9.81)$$

$$I_{ex \min} = \frac{U_{ex \min} - U_{cm}}{R_{\epsilon}} \geq I_{H \max} + I_{cm \min}. \quad (9.82)$$

Величина напруги  $U_{ex \max}$  визначається для найбільшого додатного відхилення напруги мережі, а величина струму  $I_{ex \max}$  - для найбільшого від'ємного.

Стабілітрон обирають за значеннями  $U_{cm}$ ,  $I_{cm \max}$  і  $I_{cm \min}$ . Потужність баластного резистора

$$P_{R_{\delta}} \geq R_{\delta} I_{ex \max}^2. \quad (9.83)$$

Ефективність роботи стабілізатора визначається коефіцієнтом стабілізації

$$K_{cm} = \frac{\Delta U_{ex}}{U_{ex \text{ном}}} : \frac{\Delta U_{вих}}{U_H}; \quad K_{cm} \leq 100, \quad (9.84)$$

де  $K_{cm}$  - відношення відносної зміни напруги на вході стабілізатора до відносної зміни напруги на його виході.

До переваг параметричних стабілізаторів належить їх простота та надійність у роботі.

Недоліки: відносно низький  $K_{cm}$ , неможливість регулювання напруги стабілізації, низький коефіцієнт корисної дії через втрати потужності в  $R_{\delta}$ .

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ № 29

### ТЕМА: «ІНТЕГРАЛЬНИЙ СТАБІЛІЗАТОР НАПРУГИ»

#### МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1. Будова, принцип дії інтегрального стабілізатора напруги.
2. Збільшення потужності стабілізатора.

#### Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

### Питання для самоконтролю.

1. Будова, принцип дії інтегрального стабілізатора напруги.
2. Збільшення потужності стабілізатора.

### 20.5. Стабілізатори постійної напруги в інтегральному виконанні

Потреба в стабілізаторах для живлення апаратури, виконаної на ИМС, привела до розробки спеціальних схем інтегральних стабілізаторів напруги. Зазвичай такі стабілізатори використовуються у поєднанні з дискретними елементами.

В якості прикладу на мал. 20.5 приведена схема інтегрального стабілізатора напруги, зібраної на ИМС типу К2ПП241. Стабілізатор забезпечує живлення малопотужних навантажень струмом до 4 мА при коефіцієнті стабілізації не менше 5. При вхідній напрузі 5,4..12 В стабілізована напругу складає 3,3..3,9 В.

Стабілізатор складається з опорного елемента (стабілітрона VD1, який підключається до мікросхеми), підсилювача на транзисторі VT2 і регулюючого елемента на транзисторі VT1. Вхідними затискачами мікросхеми являються виводи 2 і 3, вихідними - 7 (чи 9) і 3.

Складніша схема інтегрального стабілізатора постійної напруги приведена на рис. 20.6, а. Стабілізатор зібраний на ИМС типу К181ЕН1. Вихідна напруга стабілізатора лежить в межах 3..15В при максимальному струмі навантаження до 150мА. Вхідна напруга залежно від необхідної напруги на навантаженні складає 9..20 В. Коефіцієнт стабілізації не менше 200, температурний дрейф вихідної напруги не

перевищує  $0,01 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}}$ . Максимальна розсіювана потужність без тепловідводу при температурі довкілля - 10.. +35 °С не нижче 500 мВт.

Розглянемо особливості побудови схеми стабілізатора. Джерелом опорної напруги стабілізатора є стабілітрон VD3. Робоча точка на його вольтамперной характеристиці встановлюється за допомогою токостабілізуючої осередку, що складається з транзисторів VT1, VT2, діодів VD1, VD2 і резисторів R1, R2. Опорна напруга подається на схему порівняння через еміттер-ный повторитель на транзисторі VT3. За допомогою дільника на ре-виоторах R3 - R5 і діода VD5, що є навантаженням еміттерного повторителя, здійснюється ділення опорної напруги до необхідного значення.

Підсилювач ланцюга зворотного зв'язку стабілізатора і схема порівняння виконані на транзисторах VT8, VT9 по диференціальній схемі. На базу транзистора VT8 подається опорна напруга, а на базу VT9 частина вихідної напруги. Управління регулюючими складеними транзисторами VT6, VT7 здійснюється транзистором VT9

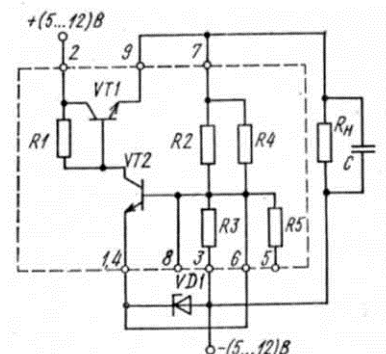


Рис. 20.5. Интегральный стабилизатор на ИМС типа К2ПП241

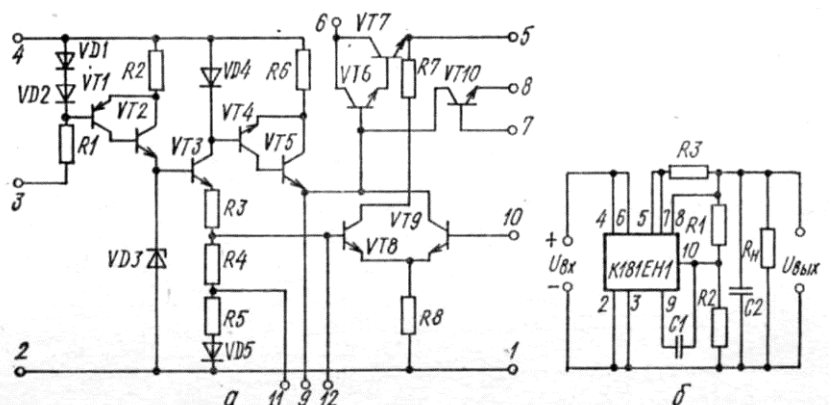


Рис. 20.6. Интегральный стабилизатор на ИМС типа К181ЕН1:  
а — схема электрическая принципиальная; б — схема подключения внешних дискретных элементов

підсилювача ланцюга зворотного зв'язку, колекторний ланцюг якого з метою зменшення пульсацій вихідної напруги і підвищення коефіцієнта стабілізації живиться через токоста-билизирующую осередок, що складається з транзисторів VT4, VT5, діода VD4 і резистора R6. Схема включення стабілізатора приведена на мал. 20.6, би. Вихідна напруга встановлюється зовнішньою ділянкою на резисторах R1 і R2. Струм діляника має бути невеликим (близько 1,5 мА). Для усунення самозбудження стабілізатора при роботі в умовах підвищеної температури використовується конденсатор C1, місткість якого вибирається в межах від 100 до 1000 пФ. Місткість вихідного конденсатора C2 можна змінювати в межах 0,1..200 мкФ.

Для захисту стабілізатора від короткого замикання "використовується транзистор VT10. Опір резистора R3 схеми захисту визначається по формулі  $R3 = 0,7 / (k \cdot I_{н. max})$  де  $I_{н. max}$  - максимальний струм, що віддається в навантаження, А;  $k = 1,2..2,0$  - коефіцієнт, що показує, в скільки разів струм короткого замикання перевищує максимальний робочий струм. При роботі мікросхеми в широкому діапазоні зміни температури докілья рекомендується вибирати  $k \approx 2$ . Твір  $k \cdot I_{н. max}$  не повинно перевищувати гранично допустимого струму короткого замикання, рівного для цієї мікросхеми 400 мА [31].

Дуже перспективним напрямом створення високостабільних джерел постійної напруги є використання пристроїв функціональної мікроелектроніки. На мал. 20.7, а приведена схема малопотужного функціонального перетворювача змінного струму в постійний, а на мал. 20.7, би - його еквівалентна електрична схема. Робота пристрою заснована на використанні явища Зеебека. Це явище полягає в тому, що на кінцях ланцюга з різнорідних провідників з'являється термо-е. р. с., якщо спаї провідників знаходяться при різних температурах. Величина термо-е. р. с. залежить від фізичних властивостей провідників і різниці температур холодного і гарячого спаїв. Цей функціональний прилад

складається із сполучених в монолітне тіло резистивної області 1, тонкій ізолюючій області 2 і термоелектричній області 3, що є напівпровідником n -типа. На резистивну

область 1 подається змінна напруга, що випрямляється. У цій області виділяється тепла енергія, яка через тонку ізолюючу область 2 передається у верхню частину термоелектричної області. Під дією отриманої енергії електрони з верхньої області починають дифундувати в нижню, холоднішу область напівпровідника. В результаті цього нижня область напівпровідника n-типа придбаває негативний, а верхня область - позитивний потенціал. Таким чином, на виході виходить постійна напруга. Внаслідок теплової інерції твердого тіла вихідна напруга має малий рівень пульсацій і, отже, відпадає необхідність в згладжуючих фільтрах і стабілізаторах.

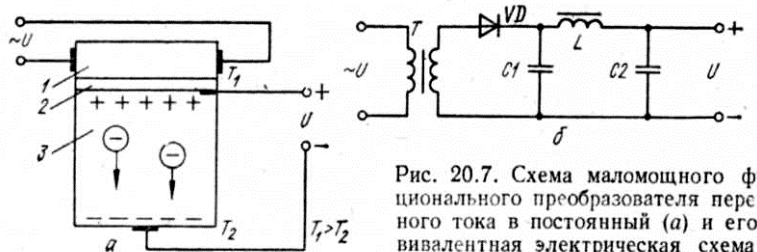


Рис. 20.7. Схема маломощного функціонального преобразователя переменного тока в постоянный (а) и его эквивалентная электрическая схема (б)



**САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ № 30**  
**ТЕМА: СТАБІЛІЗАТОРИ СТРУМУ**  
**МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми**

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1. Будова, принцип дії стабілізатора струму.
2. Збільшення потужності стабілізатора.

**Література:**

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроелектроніки (Б.С.Гершунский) - 3-є изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Баби́ков М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

**Питання для самоконтролю.**

1. Будова, принцип дії стабілізатора струму.
2. Збільшення потужності стабілізатора.

**Стабілізатори струму**

Часто виникає необхідність стабілізації величини не напруги на навантаженні, а його струму (наприклад, при заряді акумуляторних батарей, в електрохімічних реакторах і т.п.).

Оскільки реально ми маємо справу з джерелами напруги, постає проблема перетворення джерела напруги у джерело струму.

На рис. 9.32 зображені вольт-амперні характеристики (ВАХ) стабілізаторів (джерел) напруги та струму.

На рисунку позначено:

- 1 - ВАХ ідеального джерела струму;
- 2 - ВАХ реального джерела струму;
- 3 - ВАХ ідеального джерела напруги;
- 4 - ВАХ реального джерела напруги.

Прикладом малопотужного стабілізатора струму може служити схема, наведена на рис. 9. 33.

Величина струму у навантаженні  $I_n$  тут визначається величинами напруги стабілізації  $U$  стабілітрона  $VD$  і опору резистора  $R_E$ . Вона становить

$$I_n = \frac{U_{cm} - U_{BE}}{R_E}. \quad (9.89)$$

Це забезпечується тим, що, як відомо, струм колектора біполярного транзистора визначається величинами струму його бази і коефіцієнта підсилення за струмом, але не залежить від величини напруги в силовому колі - між колектором і емітером у наведеному прикладі, а отже, і від величини опору навантаження у колі колектора (див. вихідні ВАХ біполярного транзистора на рис. 2.16,6).

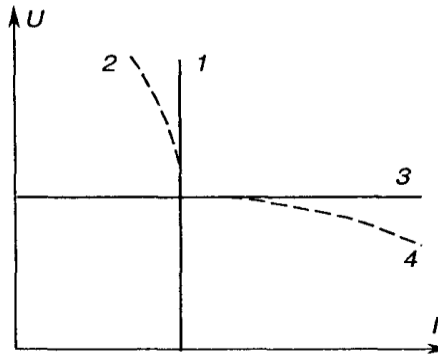


Рис. 9.32 – ВАХ стабілізаторів струму (1, 2) і напруги (3, 4)

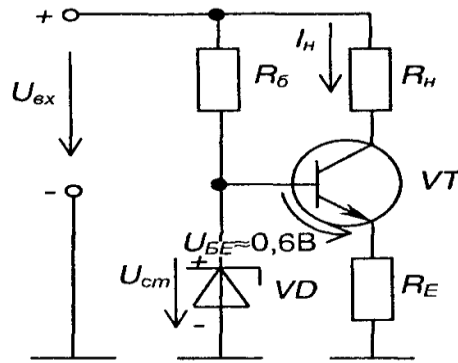


Рис. 9.33 – Стабілізатор струму

Особливою ефективністю при перетворенні джерела напруги в джерело струму із забезпеченням великої потужності відзначаються електромагнітні (індуктивно-ємнісні) перетворювачі - схеми Бушера. Регулювання в них відбувається на стороні змінного струму (виходячи з суті побудови перетворювача, який, звичайно, може бути використаний для живлення навантажень змінного струму).

Найпростішим прикладом індуктивно-ємнісного перетворювача є послідовний LC-контур, схема якого зображена на рис. 9.34.

За певних умов ця схема є перетворювачем джерела напруги у джерело струму, коли струм навантаження  $I_n$  не залежить від опору навантаження  $Z_n$ , а обумовлюється лише величиною вхідної напруги  $U_{ex}$ .

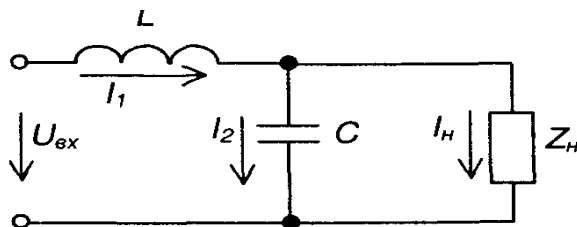


Рис. 9.34 – Найпростіший індуктивно-ємнісний перетворювач

Знайдемо ці умови:

$$\dot{Z} = j\omega L; \quad \dot{Z}_2 = j \frac{1}{\omega C}; \quad (9.90)$$

$$\dot{i} = \frac{\dot{U}_{ex}}{\dot{Z}_0}; \quad (9.91)$$

$$\dot{Z}_0 = \dot{Z}_1 + \frac{\dot{Z}_1 \dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} = \frac{\dot{Z}_1 \dot{Z}_2 + \dot{Z}_n (\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2)}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_n}; \quad (9.92)$$

$$\dot{I}_n = \frac{\dot{i} \dot{Z}_2}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_n} = \frac{\dot{U} \dot{Z}_2}{\dot{Z}_0 (\dot{Z}_2 + \dot{Z}_n)} = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}_1 + \frac{\dot{Z}_n}{\dot{Z}_2} (\dot{Z}_2 + \dot{Z}_n)}. \quad (9.93)$$

Умова резонансу  $\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 = 0$ , або  $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ . Тоді  $\dot{I}_n = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}_1}$ .

Ця схема - ідеальний перетворювач за умов відсутності активних втрат у LC-контурі.

Оскільки насправді активні втрати досить суттєві, використовують більш складні схеми індуктивно-ємнісних перетворювачів. Одна з промислових схем зображена на рис. 9.35. Вона складається із стабілізатора змінної напруги, двох магнітозв'язаних дроселів  $L_1$  та  $L_2$  (катушки цих дроселів розміщені на одному магнітопроводу і мають однакову кількість витків), конденсатора  $C$  та трансформатора  $TV$ .

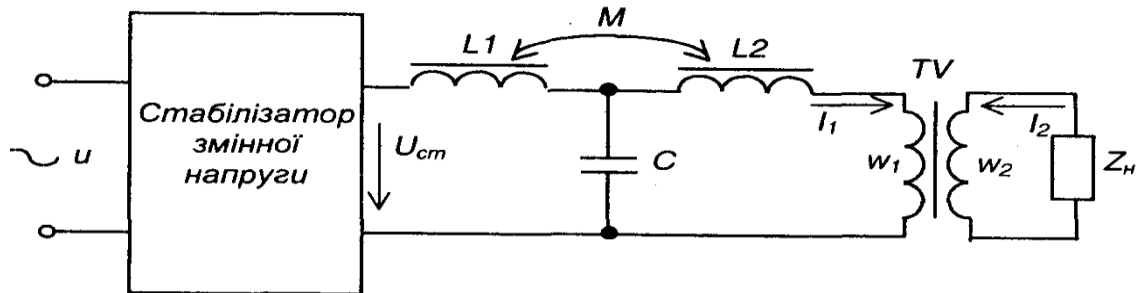


Рис. 9.35 – Промислова схема індуктивно-ємнісного перетворювача  
Умова, за якої схема перетворює джерело напруги у джерело струму

$$\omega L_1 = \frac{1}{\omega C_1} \quad \text{коли} \quad I = \frac{U}{Z_{onm}}, \quad \text{а} \quad Z_{onm} = \omega L_1 (1 + K_{зв}). \quad (9.94)$$

Коефіцієнт зв'язку  $K_{зв}=0,8/0,9$  відображає ступінь електромагнітного зв'язку дроселів  $L_1$  і  $L_2$

Ця схема є джерелом струму, якщо

$$Z'_H < Z_{onm}, \quad (9.95)$$

де:  $Z'_H = n^2 Z_H$  - зведений до первинного кола трансформатора опір навантаження;  
 $n = w_1/w_2$  - коефіцієнт трансформації трансформатора.

Підбираючи  $n$ , можна досягти виконання умови

$$n^2 Z_H \leq \omega L_1 (1 + K_{зв}). \quad (9.96)$$

Звідси отримуємо

$$n = \sqrt{\frac{\omega L_1 (1 + K_{зв})}{Z_H}}. \quad (9.97)$$

### САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ № 31

#### ТЕМА: ПОБУДОВА ТИПОВИХ ВУЗЛІВ СІФУ

#### МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1. СІФУ з вертикальним керуванням
2. Генератор лінійно-змінювальної напруги

#### Література:

1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.

2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

### Питання для самоконтролю.

1. СІФУ з вертикальним керуванням
2. Генератор лінійно-змінювальної напруги

### СІФК з вертикальним керуванням

Більш широко застосовуються СІФК, що реалізують вертикальний спосіб керування, за якого керуючий імпульс генерується в момент зрівняння напруги, що змінюється лінійно, та постійної опорної напруги керування. Цей процес ілюструють часові діаграми, наведені на рис. 9.43, де позначено:  $u$  - лінійно змінювана напруга;

$U_o$ - опорна напруга.

Кут керування  $\alpha$  змінюється зі зміною  $U_o$  - ніби по вертикалі.

Пристрій, де порівнюються  $m_7$  та  $U_o$ , називається вузлом порівняння (ВП). Він генерує сигнал у момент зміни знаку різниці напруг ( $u-U0$ ).

СІФК з вертикальним керуванням можуть бути одноканальними та багатоканальними. Останні набули ширшого розповсюдження.

На рис. 9.44 зображена функціональна схема двоканальної СІФК з вертикальним керуванням однофазного двопівперіодного випрямляча з нульовим виводом.

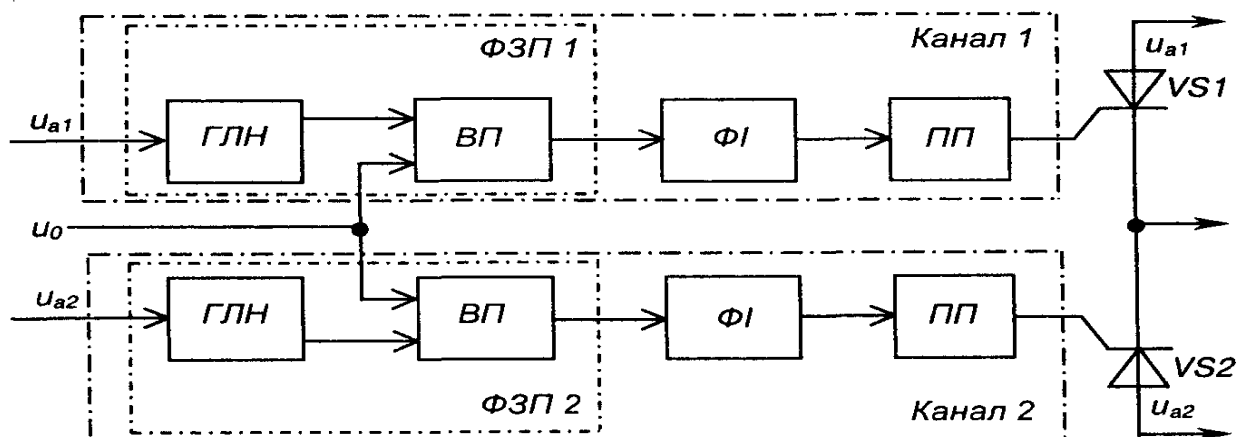


Рис. 9.44 – Функціональна схема двоканальної СІФК з вертикальним керуванням однофазного двопівперіодного випрямляча з нульовим виводом  
На ній позначено:

ГЛН- генератор лінійно змінюваної напруги;

ВП - вузол порівняння напруг;

ФЗП- фазо зсувний пристрій;

ФІ- формувач імпульсів;

ПП- підсилювач потужності.

Часові діаграми роботи каналу СІФК з вертикальним керуванням наведені на рис. 9.45.

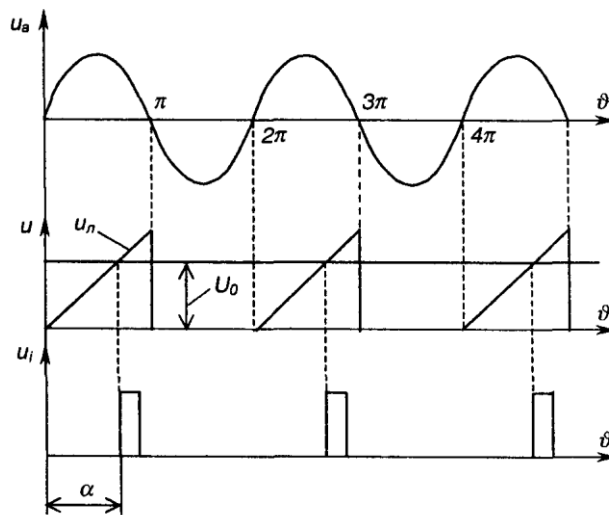


Рис. 9.45 – Часові діаграми роботи каналу СІФК з вертикальним керуванням

Під час дії на тиристор позитивної півхвилі анодної напруги  $u$  ГЛН генерує лінійно змінювану напругу  $u_c$ , яка надходить на один з входів вузла порівняння ВП. На другий вхід ВП подається постійна опорна напруга  $U_0$ .

У момент зрівняння цих напруг, коли  $u=U_0$ , на виході ВП формується сигнал, фаза якого регулюється зміною величини напруги  $U_g$ .

Вузли ГЛН та ВП виконують роль фазозсувного пристрою ФЗП.

Вузли ФІ та ПП призначені для формування та підсилення імпульсів керування  $u$  необхідної тривалості.

Кількість каналів СІФК відповідає кількості тиристорів керованого випрямляча.

Оскільки СІФК з вертикальним керуванням складається з однотипних електронних вузлів, це обумовлює можливість при їх реалізації широко використовувати інтегральну технологію і, завдяки цьому, одержувати достатньо надійні та недорогі уніфіковані пристрої керування.

### Побудова типових вузлів СІФК з вертикальним керуванням Генератор лінійно змінюваної напруги (ГЛН)

Схема транзисторного ГЛН (генератора пилкоподібної напруги) зображена на рис. 9.46.

Вона складається з таких елементів:

TV- трансформатор напруги, вторинна напруга  $u$ , якого знаходиться у протифазі з первинною напругою  $u_1$ ;

VT- транзисторний ключ;

$R_2, R_3, C$  - зарядне RC-коло, стала часу якого

$$\tau_{зар} = (R_2 + R_3)C \gg T_m, \quad (9.105)$$

де  $T$  - період напруги мережі.

Необхідно також забезпечувати  $R_3 \ll R_2$ .

Працює схема так.

За позитивної півхвилі  $u$ , транзистор VT відкритий, конденсатор C розряджений, вихідна напруга  $u=0$ .

За негативної півхвилі  $u_2$  транзистор закривається, а конденсатор заряджається по колу  $(+E_K, R_2, R_3, C, -E_K)$ .

За наступної позитивної півхвилі  $u_2$  транзистор знову відкривається і конденсатор швидко розряджається до нуля через резистор  $R_p$ , що обмежує струм через транзистор.

Оскільки  $t_{зар} \gg T_m$ , можна вважати, що напруга  $u_i$  змінюється лінійно (використовується лише початкова ділянка зарядної експоненти). Ці процеси ілюструють часові діаграми, наведені на рис. 9.47.

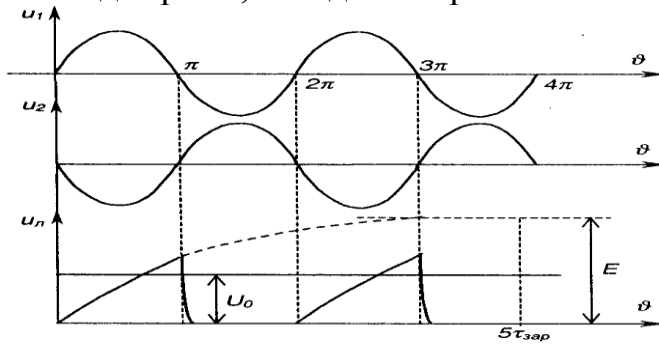


Рис. 9.47 – Часові діаграми роботи генератора пилкоподібної напруги

Більшу лінійність напруги можна забезпечити, якщо замість резистора  $R$ , використати джерело постійного струму (див. розділ 9.9), як це показано на рис. 9.48.

У сучасних пристроях частіше застосовують генератори лінійної напруги,

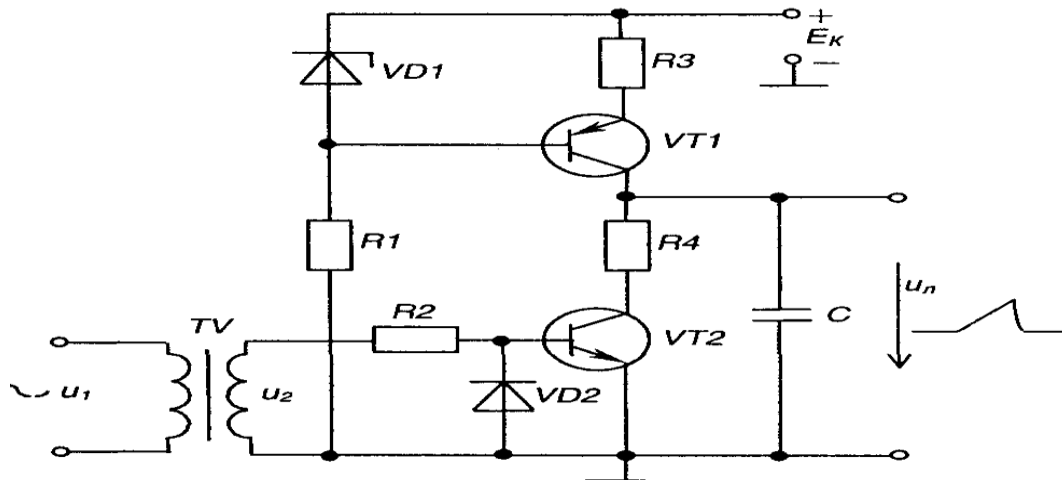


Рис. 9.48 – Генератор пилкоподібної напруги з джерелом струму

побудовані на основі інтегратора, виконаного на операційному підсилювачі і доповненого розрядним транзисторним ключем, як це показано на рис. 9.49, де інтегратор складається з елементів  $R_p$ ,  $C$  і  $DA2$ .

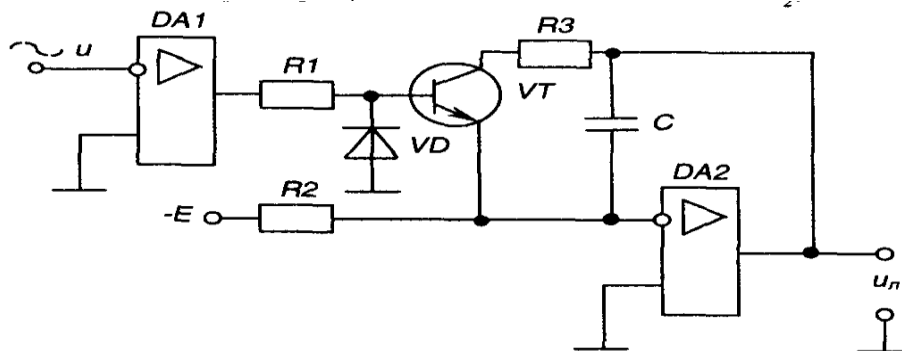


Рис. 9.49 – Генератор пилкоподібної напруги на операційному підсилювачі

Зверніть увагу на те, що розрядний транзистор  $VT$  тут емітером підімкнений до інвертуючого входу операційного підсилювача  $DA2$ , що має нульовий потенціал (див. розділ 4.6.7).

Синхронізує роботу генератора з напругою мережі нуль-орган на операційному підсилювачі  $DA1$ .

**САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ № 32**  
**ТЕМА: ТИПОВІ ВУЗЛИ СІФУ З ВЕРТИКАЛЬНИМ КЕРУВАННЯМ**  
**МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми**

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1. Вузол порівняння.
2. Імпульсний підсилювач потужності.

**Література:**

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Главное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Главное изд-во, 1987.
- 6 Бабилов М.А. Косинский А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

**Питання для самоконтролю.**

1. Вузол порівняння.
2. Імпульсний підсилювач потужності.

**Вузол порівняння (ВП)**

Вузол порівняння, схема якого наведена на рис. 9.50, виконано на основі операційного підсилювача  $DA$ , що працює в режимі компаратора (схема порівняння напруг - див. розділ 4.6.9).

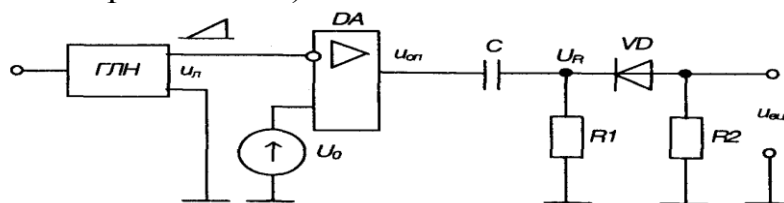


Рис. 9.50 – Вузол порівняння

На його інвертуючий вхід надходить пилкоподібна напруга  $u_н$ , а на неінвертуючий - опорна напруга  $U_о$ . Вихід компаратора з'єднано з формуючим ланцюгом: із диференціюючим колом  $C$ ,  $R_1$  і обмежуючим діодним ключем  $VD$ ,  $R_2$  який пропускає на вихід пристрою імпульси тільки від'ємної полярності.

Роботу вузла порівняння ілюструють часові діаграми, наведені на рис.

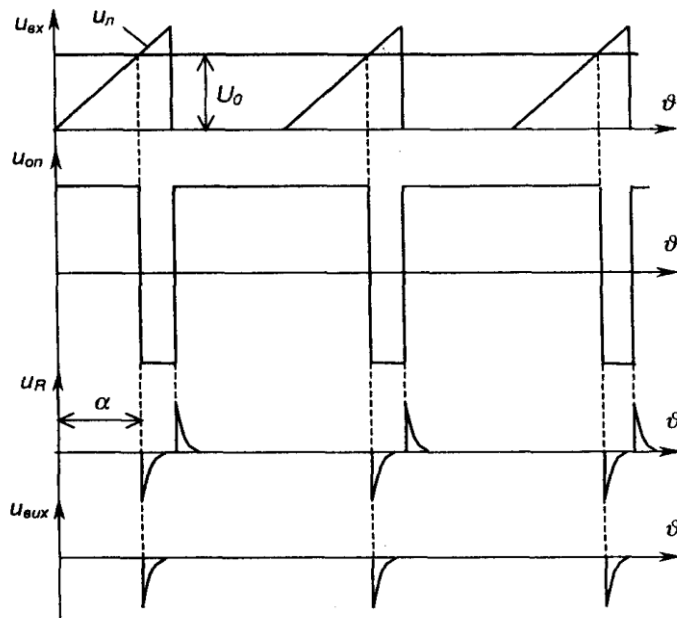


Рис. 9.51 – Часові діаграми роботи вузла порівняння

Вихідний імпульс вузла порівняння подається на одновібратор (див. розділ 5.3.5), який генерує керуючий імпульс прямокутної форми з необхідною тривалістю.

### Імпульсний підсилювач потужності

Підсилювач потужності призначений для підсилення прямокутних керуючих імпульсів до рівня, що забезпечує надійне вмикання тиристора. Схема такого підсилювача зображена на рис. 9.52.

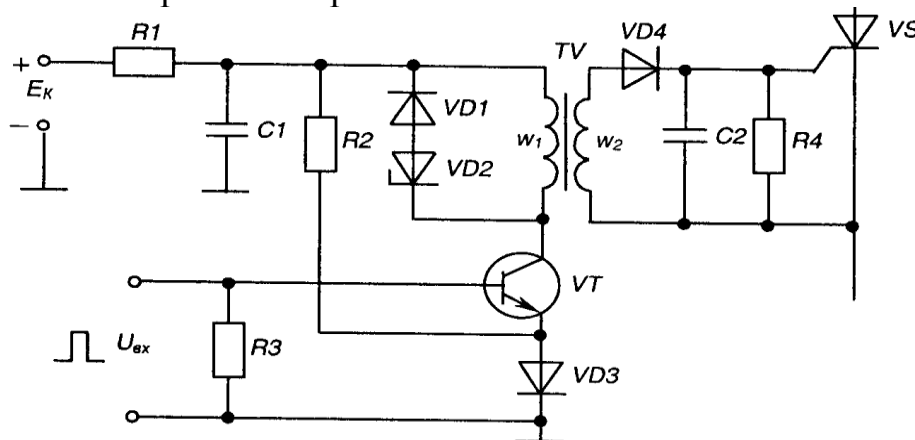


Рис. 9.52 - Імпульсний підсилювач потужності

Він виконаний на транзисторі  $VT$ , який увімкнено за схемою з СЕ і працює в ключовому режимі. У колекторне коло транзистора увімкнена первинна обмотка  $w_1$  трансформатора  $TV$ , напруга з вторинної обмотки  $w_2$  якого подається у коло керування тиристора  $VS$ .

За відсутності вхідного імпульсу  $U_{вх}$  транзистор  $VT$  закритий (для надійного забезпечення закритого стану в коло його емітера подана напруга зміщення з діода  $VD3$ ). Напруга на вихідній обмотці  $w_2$  відсутня.

За надходження прямокутного вхідного імпульсу транзистор переходить у стан насичення і вся напруга  $E_k$  прикладається до первинної обмотки трансформатора  $w_1$ .

Під впливом цієї напруги магнітопровід трансформатора починає перемагнічуватися і на вторинній обмотці з'являється прямокутний позитивний імпульс

$$U_{вух} = E \frac{w_1}{w_2} = \frac{E}{n},$$

який існує протягом дії вхідного імпульсу.



Коефіцієнт трансформації  $n=w_1/w_2$  вибирається із умов забезпечення максимальної передачі потужності від підсилювача до кола керування тиристора - для надійного вмикання останнього. Трансформатор, крім узгодження вихідного кола транзистора з навантаженням (колом керування), забезпечує ще й гальванічне (електричне) розділення силового кола та кола керування.

Після закривання транзистора діоди  $VD1$  і  $VD2$  забезпечують розсіювання енергії, що накопичується у магнітопроводу трансформатора по закінченні вхідного імпульсу.

Фільтр  $-R, C$ , знижує вплив роботи підсилювача на інші пристрої, що живляться також від джерела  $E_K$  оскільки імпульсне споживання енергії призводить до появи у колах живлення завад.

## **САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №33**

### **ТЕМА: ПРИКЛАДИ РЕАЛІЗАЦІЇ СІФК**

#### **МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми**

#### **Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

- 1 Резистивно-емнісна СІФК.
- 2 Вмикання силового тиристора через оптичну пару

#### **Література:**

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. и доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Главное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники и микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

#### **Питання для самоконтролю.**

- 1 Резистивно-емнісна СІФК.
- 2 Вмикання силового тиристора через оптичну пару

#### **Приклади реалізації СІФК**

Проста схема резистивно-емнісної СІФК наведена на рис. 9.53.

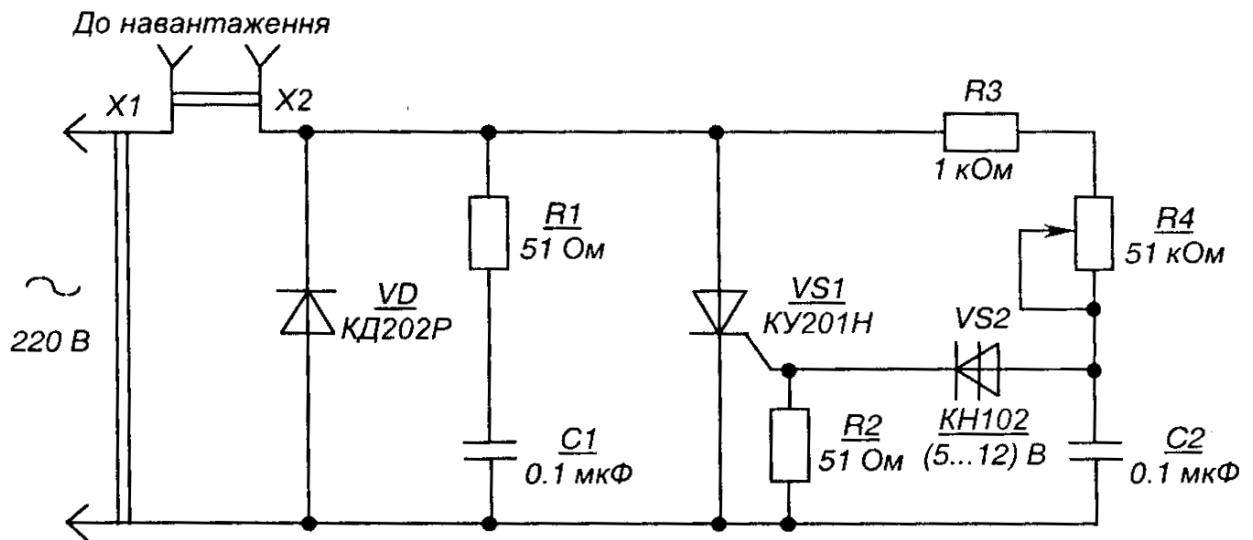


Рис. 9.53 – Резистивно-ємнісна СІФК

Вона складається з часозадаючого ланцюжка  $R_p$ ,  $R_4$ ,  $C_2$  і пирогового приладу - диністора  $VS2$ . Змінюючи величину  $R_4$  від нуля до нескінченності (в ідеалі), можна змінювати кут керування від нуля до 90 ел. градусів. Реально таку схему застосовують при діапазонах регулювання а в декілька десятків ел. градусів у невідповідальних регуляторах (наприклад, у регуляторі температури нагріву паяльника).

Вилкою  $X1$  пристрій відмикається до мережі живлення, а в розетку  $X2$  вмикається навантаження.

У кожному додатному півперіоді анодної напруги тиристора напруга на конденсаторі  $C_2$  зростає до тих пір, доки не досягне значення напруги вмикання диністора  $VS2$ , після чого  $C_2$  швидко розряджається через коло керування тиристора, вмикаючи останній.

Диністор  $VS2$  забезпечує більш чітку роботу схеми при змінах значення керуючої напруги вмикання тиристора зі змінами температури.

Ланцюжок  $R_1$ ,  $C_1$ , захищає тиристор від самочинного вмикання - знижує швидкість зростання напруги на тиристорі до прийнятних значень, наприклад, при підмиканні пристрою до мережі.

Більш складна схема одного каналу СІФК з вертикальним керуванням наведена на рис. 9.54.

Тут синхронізуюча напруга з вторинної обмотки трансформатора  $TV$ , після завадопоглинаючого фільтра на елементах  $R_7$ ,  $C_2$ , надходить на нуль-орган  $DA1.1$ , який керує розрядним ключем на транзисторі  $VT1$  генератора лінійно змінюваної напруги, виконаного на операційному підсилювачі  $DA1.3$ .

За допомогою резистора  $R_7$  регулюють нахил пилкоподібної напруги для забезпечення ідентичності каналів багатоканальної СІФК. Їх не-ідентичність виникає за рахунок технологічного розкиду параметрів елементів часозадаючого ланцюжка  $R_1$ ,  $R_v$ ,  $C_4$  в різних екземплярах пристрою.

Вихідна напруга генератора компаратором  $DA1.4$  порівнюється з напругою задання, що надходить з дільника  $R_{11}-R_{13}$  (а може подаватися і від електронного пристрою автоматичного задання, наприклад, якщо СІФК працює в складі стабілізатора) і визначає величину вихідної напруги керованого випрямляча.

Диференціюючи ланцюжок  $C_3$ ,  $R_3$  забезпечує подачу імпульсу запуску на одновібратор, побудований на операційному підсилювачі  $DA1.2$ .

Підсилює генерований одновібратором керуючий імпульс підсилювач потужності на транзисторах  $VT2$  і  $VT3$ . Фільтруючий ланцюжок  $C_7, R_{17}$  знижує вплив імпульсного підсилювача на кола живлення (поглинає імпульсні завади).

Використання в якості виконавчого елемента оптронного тиристора  $V$  виключає, в даному випадку, застосування дорогого і нетехнологічного імпульсного трансформатора.

Оптронні тиристри в наш час дозволяють комутувати струм в сотні ампер. За необхідності в більш потужному силовому ключі використовують потужний тиристор, яким керує оптронний, як це показано на рис. 9.55.

Тут ланцюжки  $R_1, C_1$  і  $R_4, C_4$  знижують швидкість зростання напруги до допустимого значення на тиристорах  $U$  і  $VS$  відповідно.

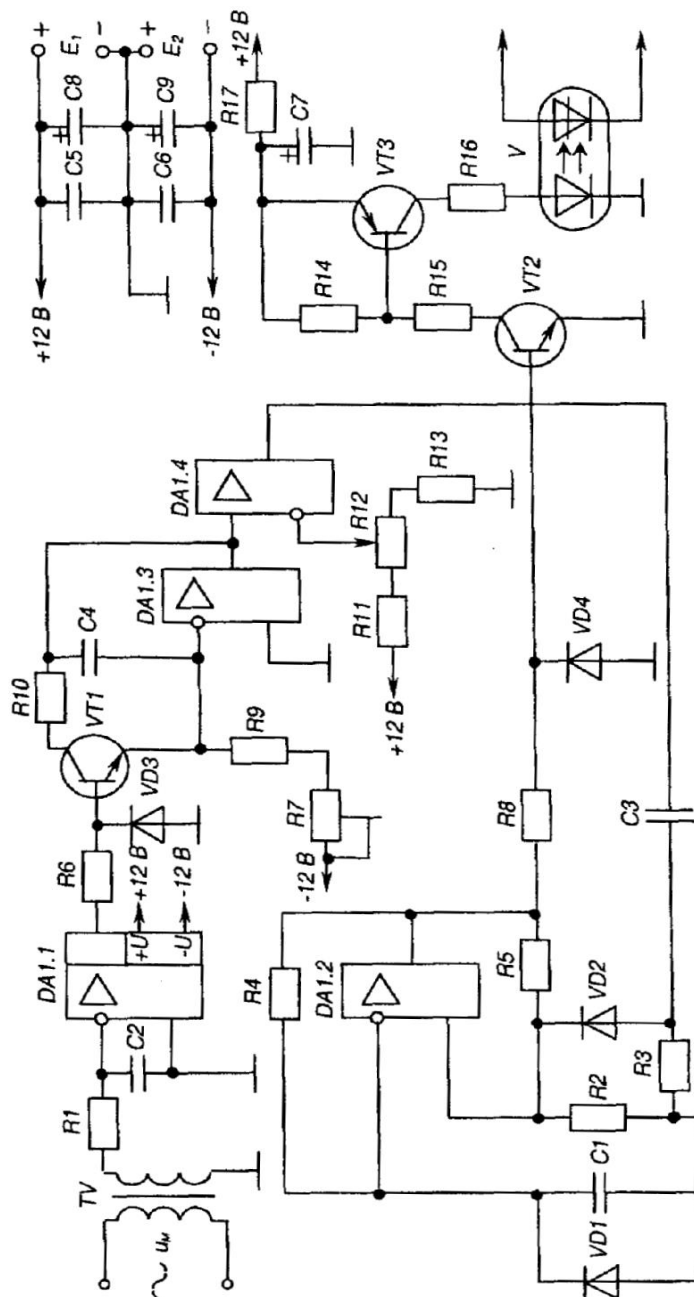


Рис. 9.54 – Практична схема каналу СІФК з вертикальним керуванням

Елементи  $R_2$  і  $C_2$  забезпечують завадостійкість кола керування тиристора  $VS$ , а резистор  $R_4$  обмежує його струм керування (розраховується за максимально допустимим значенням струму для амплітудного значення напруги мережі).

У даному випадку СІФК виконана на основі ІМС К1401УД2, в одному корпусі якої міститься чотири операційні підсилювачі із спільними колами живлення.

Живиться СІФК від двополярного джерела напруги  $E_1$   $E_2$  до якого підмикаються через фільтруючі конденсатори - електролітичні  $C_8$ ,  $C_9$  і керамічні  $C_5$   $C_6$  (останні забезпечують поглинання високочастотних завад у колах живлення).

### СІФК з цифровим керуванням

У цифрових системах керування тиристорами поточне значення кута керування  $\alpha_u$  задається у вигляді цифрового коду. Після відповідної обробки цього коду цифрою системою на її виході генерується прямокутний імпульс керування, фаза якого відповідає поточному значенню кута керування  $\alpha_{y/}$ .

За своєю суттю така СІФК є цифровим аналогом розглянутої у розділі 9.11.3 СІФК з вертикальним керуванням аналогової дії.

Структурна схема СІФК з цифровим керуванням зображена на рис.

На схемі позначено :  $\Gamma$

$ЗП$  - задаючий пристрій,  $\wedge$

за допомогою якого значення  $\alpha_n$  задається у вигляді цифрового коду;

$P$  - реєстр, в якому зберігається код поточного значення  $\alpha_{p/}$  це елемент оперативної пам'яті системи;

$ППК$ - пристрій порівняння кодів (цифровий компаратор);

$ЛЛ$ - лічильник імпульсів;

$ГПГ$  - генератор прямокутних імпульсів еталонної частоти;

$\Phi I$ - формувач імпульсів;

$ПП$ - підсилювач потужності;

$ВС$ - вузол синхронізації;

$VS$  - тиристор.

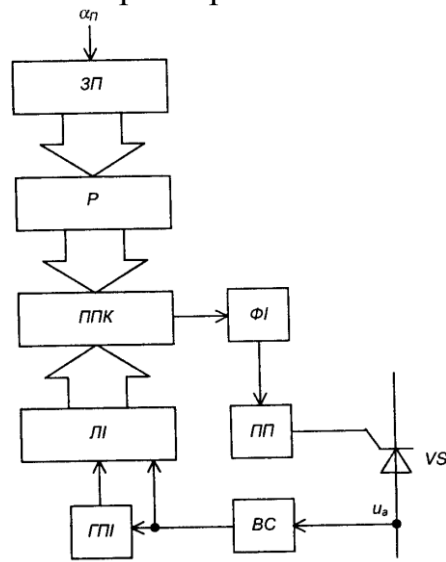


Рис. 9.56 – Структурна схема СІФК з цифровим керуванням

Напочатку кожного циклу роботи в реєстр  $P$  заноситься, наприклад, від керуючої ЕОМ код  $\alpha_{y/}$  ( який є аналогом опорної напруги  $U_n$  у аналогової СІФК з вертикальним керуванням).

У момент переходу анодної напруги на тиристорі  $u_a$  через нуль вузол синхронізації  $ВС$  вмикає генератор  $ГПГ$  і лічильник імпульсів  $ЛЛ$ , який починає рахувати імпульси. Лінійно зростаючий код (аналог напруги  $u$ ) з виходу  $ЛЛ$  подається на цифровий пристрій порівняння кодів  $ППК$ , куди також подається і код з виходу реєстра  $P$ . Після досягнення кодом лічильника значення коду, що зберігається в реєстрі  $P$ ,  $ППК$  виробляє сигнал, який використовується для запуску

формувача імпульсів  $\Phi I$ . Вихідний імпульс  $\Phi I$  після підсилення в  $III$  подається на керуючий електрод тиристора  $VS$ .

Після закінчення додатної півхвилі  $u_{BC}$  вимикає генератор  $ГIII$  і встановлює лічильник імпульсів  $ЛI$  в нульовий стан - схема готова до наступного циклу роботи.

У зв'язку з інтенсивним розвитком інтегральної технології цифровий метод керування знаходить дедалі ширше використання в перетворювальних пристроях.

СІФК з цифровим керуванням можуть забезпечувати практично будь-яку точність задання кута керування (з допустимою величиною дискретності). Це досягається за рахунок вибору необхідного числа розрядів  $P$  і  $ЛI$ , а також частоти  $ГIII$ .

Не дивлячись на більші апаратні витрати (більшу кількість корпусів ІМС середнього ступеня інтеграції), цифрові СІФК порівняно з аналоговими забезпечують:

- 1) більшу точність роботи;
- 2) високу завадостійкість (погодьтесь, що забезпечити завадостійкість цифрового компаратора, який порівнює послідовність одиниць і нулів - високих або низьких рівнів напруги, значно легше, ніж аналогового, який порівнює досить повільно змінювані в часі напруги);
- 3) абсолютну ідентичність каналів багатоканальних СІФК;
- 4) ідеальне узгодження з цифровими керуючими пристроями. Наприкінці зазначимо, що такий принцип керування, звичайно, може бути реалізований програмно, наприклад, у мікропроцесорному пристрої керування.

## **САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №34**

### **ТЕМА: РЕГУЛЯТОРИ ЗМІННОГО СТРУМУ. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ КЛАСИФІКАЦІЯ**

**МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми**

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

- 1 Основні положення.
- 2 Керований електронний ключ.
- 3 Регульований електронний ключ.

### **Література:**

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабилов М.А. Косинский А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

## **Питання для самоконтролю.**

- 1 Основні положення.
- 2 Керований електронний ключ.
- 3 Регульований електронний ключ.

## **Загальні відомості і класифікація**

Регулятори (переривачі) змінного струму є електронними ключами, що дозволяють вмикати чи вимикати навантаження у колі змінного струму або регулювати потужність, яка виділяється у навантаженні. Вони, як і випрямлячі, належать до класу перетворювачів ведених мережею.

Регулятори можуть бути класифіковані у залежності від способу керування, числа фаз, схеми з'єднання, виду навантаження та ін. Найбільш загальна їх класифікація ґрунтується на способі керування та включає такі типи регуляторів:

- електронний ключ типу контактора;
- керований електронний ключ;
- регульований електронний ключ.

Електронний ключ типу контактора, як і електромеханічний контактор, слугує лише для вмикання або вимикання навантаження. Після вмикання напруга на навантаженні дорівнює напрузі мережі живлення. Такі ключі застосовують, наприклад, для керування нагрівальними приладами (печі опору, побутові електронагрівачі і т.п.), для комутації однофазних та трифазних електродвигунів.

Керований електронний ключ відрізняється від контактора тим, що для зниження величини перехідних струмів, що супроводжують процес вмикання, подача напруги на навантаження здійснюється поступово від нуля до значення напруги мережі живлення. Це реалізується зменшенням кута керування від найбільшої величини до найменшої з наперед встановленою швидкістю. Керовані електронні ключі можуть бути застосовані, наприклад, для уповільненого вмикання чи вимикання освітлення театральної або спортивної зали, для такого ж запуску електродвигуна, що забезпечує зниження величини пускового струму.

Регульований електронний ключ являє собою ключ, у якого може здійснюватися регулювання кута керування за необхідним законом, а значить і потужності, що віддається у навантаження. їх застосовують у регуляторах (стабілізаторах) напруги, для регулювання яскравості потужних джерел освітлення і т. ін.

Слід зазначити, що при роботі регульованого ключа форма кривої напруги на навантаженні відрізняється від форми кривої мережі живлення, за рахунок чого і напруга, і струм містять у собі багато гармонік. Основна гармоніка має ту ж частоту, що й частота напруги живлення. Струм основної гармоніки відстає від напруги за фазою. Величина кута відставання залежить від виду навантаження і величини кута керування, але, навіть за активного навантаження, кут відставання не дорівнює нулеві: пристрої з такими ключами завжди споживають реактивну потужність.

Регулятори усіх трьох типів мають однакову схему силового електронного вузла, але відрізняються побудовою системи керування, що повинна реалізовувати необхідний закон зміни напруги на навантаженні.

У якості силових елементів у потужних регуляторах використовуються, в основному, тиристри, симістри, діоди і рідше повністю керовані напівпровідникові

прилади (двоопераційні тиристори, потужні біполярні та польові транзистори, силові БТІЗ).

Із властивостей тиристора (симістора) випливає, що сигнал керування вмикає регулятор напруги змінного струму майже без затримки, після чого струм у колі навантаження припиняється лише при переході його через нуль (за умови відсутності сигналу керування). Очевидно, що при використанні повністю керованих приладів припинення струму у колі навантаження може бути здійснене у будь-який момент півхвилі змінного струму.

Проектування силової схеми регулятора змінного струму є комплексною задачею, бо навіть у сталому режимі струм через тиристори та напруга на них мають квазістаціонарний характер.

При виборі вентилів регулятора (наприклад, тиристорів) за струмом та напругою, втрати потужності в них знаходять, виходячи з форми кривої струму, що протікає через напівпровідниковий прилад. Втрати у вентилі практично дорівнюють втратам від прямого струму, що, у свою чергу, залежать від середнього та діючого значень струму напівпровідникового приладу і параметрів його прямої гілки вольт-амперної характеристики. Для визначення зазначених струмів використовують графічні залежності, що називаються характеристиками керування, або регульовальними характеристиками, і зображують залежність від кута керування середніх і діючих значень струмів окремих вентилів, а також діючих значень струму та напруги на навантаженні у сталому режимі. Ці графіки необхідні не тільки для вибору вентилів для регулятора, але й для його загального розрахунку.

Придатний за струмом вентиль для регулятора можна вибрати, якщо знати втрати потужності в ньому та параметри охолодження (середня температура, тепловий опір і допустима температура напівпровідникового переходу вентиля, тепловий опір охолоджувача). Робочу напругу вентиля вибирають, виходячи із значень стаціонарної напруги, що залежить від схеми з'єднання, навантаження, змін у напрузі мережі живлення і проти – е.р.с., а також перехідної напруги, зумовленої комутаційними й зовнішніми перенапругами. Перехідна напруга, як правило, визначається за допомогою коефіцієнта перенапруг; що залежить від застосованих засобів захисту від перенапруг і динамічних характеристик вентилів.

### **САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №35**

#### **ТЕМА: ОДНОФАЗНІ ТА ТРИФАЗНІ РЕГУЛЯТОРИ ЗМІННОГО СТРУМУ.**

**МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми**

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

- 1 Основні положення.
- 2 Керований електронний ключ.
- 3 Регульований електронний ключ.

#### **Література:**

1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.

2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

### Питання для самоконтролю.

- 1 Основні положення.
- 2 Керований електронний ключ.
- 3 Регульований електронний ключ.

Залежно від способу зміни опору та збудження розрізняють регулятори **безперервної** і **дискретної** дії. Вони побудовані за принципом зворотного зв'язку: величина струму в обмотці збудження змінюється пропорційно відхиленню напруги генератора від його номінального значення з урахуванням знаку цього відхилення.

В якості регуляторів **безперервної** дії використовуються **вугільні** і **магнітні** регулятори.

У **вугільному** регуляторі роль регульовального опору виконує вугільний стовпчик, включений послідовно в коло обмотки збудження генератора. При зміні напруги генератора опір стовпчика і струм в обмотці збудження змінюються й напруга повертається до необхідного значення.

**Магнітні** регулятори використовуються для регулювання напруги безконтактних трифазних СГ. В цих генераторах стабілізація напруги здійснюється за рахунок зміни параметрів магнітних підсилювачів, які включені в коло обмотки збудження збудника генератора.

**Дискретні** регулятори, які знаходять усе більш широке застосування, виконуються на напівпровідникових приладах – **транзисторах** і **тиристорах**.

У більшості схем РН на **транзисторах** принципова схема крайового каскаду регулятора має вигляд, представлений на рис. 2.19, *a*.

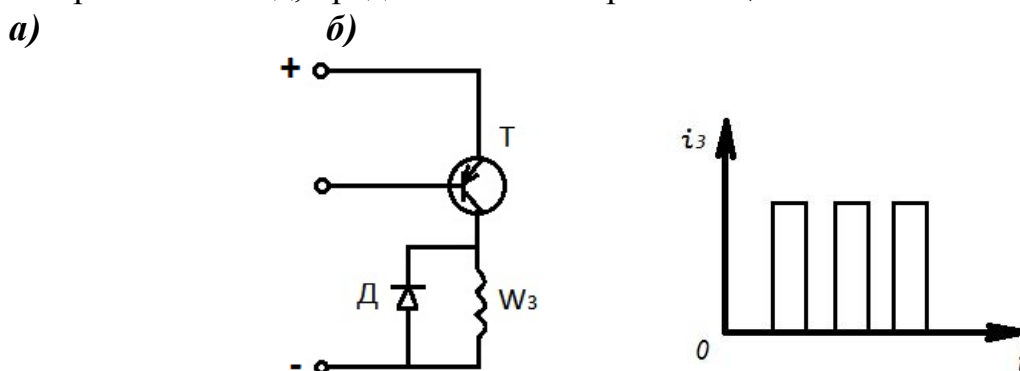


Рис. 2.19. Функціональна схема транзисторного РН.

Схеми регуляторів відрізняються одна від одної схемами управління імпульсним елементом, роль якого виконує транзистор  $T$ , включений послідовно з обмоткою збудження генератора  $w_3$  і працюючий в режимі ключа.

Коли транзистор знаходиться в закритому стані, можна вважати, що опір ланцюга емітер – колектор транзистора дуже великий – "ключ закритий", по



обмотці збудження струм не протікає. Якщо транзистор знаходиться у відкритому стані, то його опір дуже малий – "ключ відкритий" і по обмотці збудження протікає струм  $i_3$  (рис. 2.19, б).

Регулювання напруги здійснюється шляхом зміни *середнього значення струму збудження*  $i_3$ , дією на шпаруватість імпульсів, що поступають на обмотку збудження  $w_3$ . Обмотка збудження у поєднанні з випрямлячем Д виконує роль демодулятора. У ній серія імпульсів перетвориться в струм, середнє значення якого залежить від шпаруватості імпульсів.

Робота **транзисторного** регулятора. При збільшенні напруги генератора час знаходження транзистора у відкритому стані зменшується, що призводить до зменшення шпаруватості імпульсів і зниження середнього значення струму збудження збудника генератора, тому напруга генератора повертається до колишнього значення. При зниженні напруги генератора час знаходження транзистора у відкритому стані збільшується, середній струм збудження збудника  $i_3$ , отже, напруга генератора збільшуються.

У схемах з **тиристорним** регулятором регулювання напруги генератора здійснюється шляхом дії на струм збудження збудника і засновано на принципі фазового управління тиристорами. Тиристри, включені в ланцюг синусоїдальної напруги, періодично відпираються короткочасними імпульсами, що управляють, синхронізованими з напругою живлення. При зміні кута відмикання тиристора від значення  $\varphi$  (рис. 2.20) до значення  $\varphi_1$ , змінюється середнє значення випрямленої напруги, прикладеної до обмотки збудження збудника, від значення  $U_{cp}$  до значення  $U_{cp1}$ .

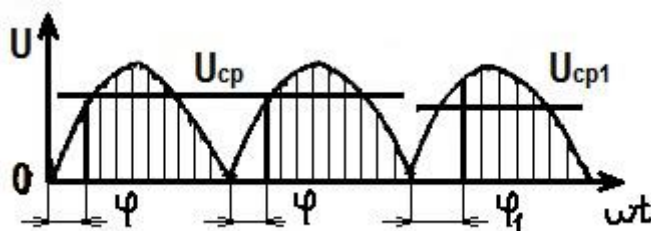


Рис. 2.20. Фазоімпульсне управління струмом збудження.

Якщо напруга генератора перевищує номінальне значення, то кут відмикання тиристорів  $\varphi$  збільшується, що призводить до зниження напруги на обмотці збудження збудника  $i_3$ , отже, до зменшення напруги генератора.

### САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №36

#### ТЕМА: ІНВЕРТОРИ. ПРИЗНАЧЕННЯ. КЛАСИФІКАЦІЯ

#### МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми

#### Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Інвертор струму.
- 2 Інвертор напруги.

#### Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

### Питання для самоконтролю.

- 1 Інвертор струму.
- 2 Інвертор напруги.

### Призначення та класифікація

Автономні інвертори - це пристрої, що працюють на автономне навантаження і призначені для перетворення напруги постійного струму в напругу змінного струму заданої або регульованої частоти.

Застосовують автономні інвертори:

1) у системах електропостачання споживачів змінного струму, коли єдиним джерелом живлення є джерело напруги постійного струму (наприклад, акумуляторна або сонячна батарея);

2) у системах гарантованого електропостачання при зникненні напруги мережі живлення (наприклад, для особистих потреб електростанцій -для живлення пристроїв контролю, вимірювання, захисту, ЕОМ);

3) для живлення технологічного устаткування, частота напруги якого відрізняється від промислової частоти 50 Гц;

4) для частотного регулювання швидкості асинхронних двигунів;

5) для живлення споживачів змінного струму від ліній електропостачання постійного струму;

6) для перетворення постійної напруги одного рівня у постійну напругу іншого рівня (конвертування напруг).

Комутаційними елементами в інверторах є тиристори або силові транзистори.

Залежно від специфіки електромагнітних процесів розрізняють інвертори струму та інвертори напруги. На рис. 10.1 зображені приклади їхніх схем.

В інверторах струму силове коло схеми підмикається до джерела постійної напруги через дросель  $L$  з великим індуктивним опором (як відомо, джерело струму повинно мати великий опір).

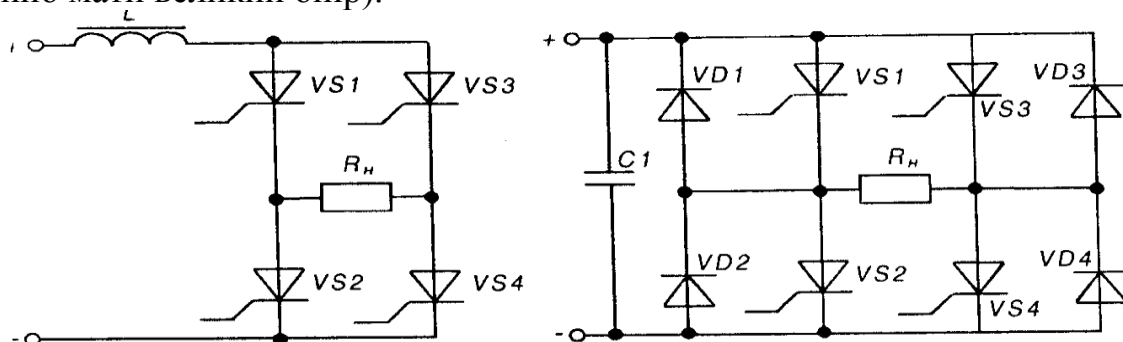


Рис. 10.1 – Автономні інвертори струму (а) та напруги (б)

В інверторах напруги паралельно джерелу живлення вмикається конденсатор великої ємності, чим виключається вплив на роботу пристрою внутрішнього опору джерела (отримуємо джерело напруги за змінним струмом).

Таким чином, комутація тиристорів в інверторах струму проводиться за сталого струму, а в інверторах напруги - за сталої напруги.

При роботі інвертора схема керування по чергово вмикає пари тиристорів  $VS1$ ,  $VS4$  або  $VS2$ ,  $VS3$ , завдяки чому на навантаженні  $R_H$  виникає змінна напруга - за допомогою ключової схеми навантаження підмикається таким чином, щоб в ньому протікав струм різних напрямків.

Якщо навантаження інвертора напруги має індуктивний або активно-індуктивний характер, то паралельно тиристорам вмикають зворотні діоди ( $VD1$ - $VD4$  на рис. 10.1,6). Цим забезпечується передача накопичуваної в індуктивності енергії назад у джерело живлення.

Основною проблемою при проектуванні інверторів є забезпечення надійного вимикання тиристорів, що знаходяться у провідному стані, перед вмиканням тиристорів, що не проводили струм. Це реалізується використанням схем примусової комутації, що забезпечують запирання тиристорів у колах постійного струму (див. розділ 2.6.2).

Зверніть увагу на те, що вентильна схема в наведених інверторах є мостовою, як і у випрямлячі (що є перетворювачем напруги змінного струму в напругу постійного струму). Звідси висновок - керовані вентильні схеми є зворотними. Вони можуть передавати енергію як в одному, так і в іншому напрямку, залежно від місця вмикання джерела і навантаження і від алгоритму керування.

## **САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №37**

### **ТЕМА: АВТОНОМНІ ІНВЕРТОРИ. ІНВЕРТОРИ ВІДОМІ МЕРЕЖЕЮ**

#### **МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми**

#### **Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

- 1 Автономні інвертори
- 2 Інвертори відомі мережею.

#### **Література:**

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроелектроніки (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Баби́ков М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

## Питання для самоконтролю.

- 1 Автономні інвертори
- 2 Інвертори відомі мережею.

### Інвертори напруги на повністю керованих напівпровідникових приладах

Із розглянутого вище випливає, що однією з основних проблем, яку необхідно вирішувати при створенні автономних інверторів на одноопераційних тиристорах є забезпечення надійного вимикання тиристорів. Введення в схему інвертора вузлів примусової комутації істотно ускладнює алгоритм роботи пристрою, підвищує його вартість та габарити, і, що особливо важливо, знижує надійність.

Тому створені в останні десятиліття повністю керовані напівпровідникові прилади на великі струми - біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT-транзистори), двоопераційні тиристори та ін. - витісняють у пристроях перетворювальної техніки традиційні одноопераційні тиристори. Особливо це показово у галузі створення інверторів напруги регульованої частоти, де IGBT-транзистори (що можуть працювати на частотах до 200 кГц) практично вже витіснили тиристори з їх громіздкими вузлами примусової комутації і необхідністю використання низькочастотних силових трансформаторів.

Нарис. 10.6 а,б наведено найрозповсюдженіші схеми мостових однофазних інверторів напруги, що виконані на основі вищевказаних новітніх приладів. При цьому в якості повністю керованих силових ключів у схемі рис. 10.6,а використано біполярні транзистори з ізольованим затвором  $VT1-VT4$ , а в схемі рис. 10.6,б-двоопераційні тиристори  $VS1-VS4$ . Оскільки схеми працюють ідентично, розглянемо принцип їх дії на прикладі схеми з рис. 10.6,а.

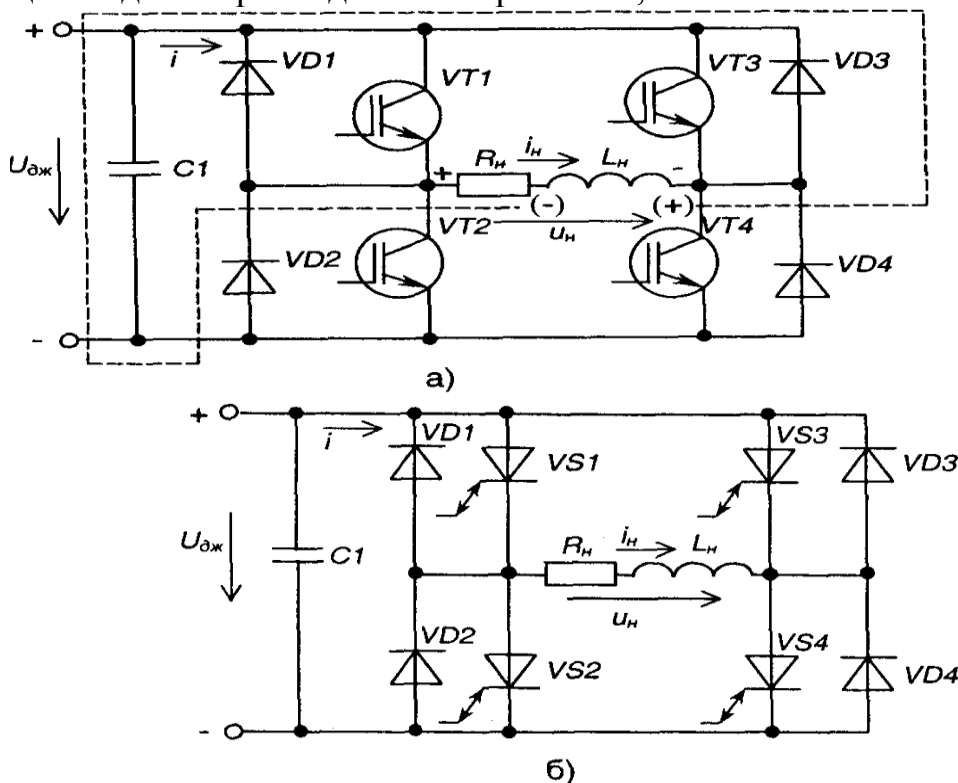


Рис. 10.6 – Однофазні мостові інвертори напруги на IGBT-транзисторах (а) і на двоопераційних тиристорах (б)

При увімкнених транзисторах  $VT1$  і  $VT4$  та вимкнених  $VT2$  і  $VT3$  навантаження ( $R_n, L_n$ ) підмикається лівим кінцем до позитивного полюса напруги джерела живлення

$U_{дж}$ , а правим - до негативного і струм  $i_n$  протікає у напрямку вказаному на рисунку. Якщо  $VT1$  і  $VT4$  вимкнуті, а  $VT2$  і  $VT3$  увімкнуті, то напруга на навантаженні змінить свою полярність, а струм напрямком. При активному навантаженні (за  $L_n=0$ ) струм навантаження  $i_n$  повторює за формою напругу на навантаженні  $u_n$ . На рис. 10.7 штриховою лінією показано криві струму навантаження  $i$  та вхідного струму інвертора  $i'$  при  $L=0$  (зрозуміло, що струм  $i_n$  і напруга  $u$  мають при цьому прямокутну форму).

При активно-індуктивному навантаженні ( $L > 0$ ), що реально завжди має місце, струм навантаження  $i_n$ , змінюється за експоненціальним законом з постійною часу  $\tau = L/R$ . При запиранні  $VT1$  і  $VT4$  у момент  $t_2$ , незважаючи на надходження на затвори  $VT2$  і  $VT3$  вмикаючої напруги керування, через зміну полярності ЕРС самоіндукції індуктивності  $L_n$  (вказана у дужках) струм навантаження  $i_n$  буде прагнути зберегти свої величину і напрямком. Для того, щоб забезпечити його протікання, виключаючи при цьому виникнення перенапруг, транзистори шунтують діодами  $VD1$ - $VD4$ . Тоді струм навантаження  $i_n$  на інтервалі часу  $t_2 < t < t_3$  протікає через діоди  $VD2$  і  $VD3$  і повертає частину енергії, накопиченої в індуктивності навантаження, назад у джерело живлення.

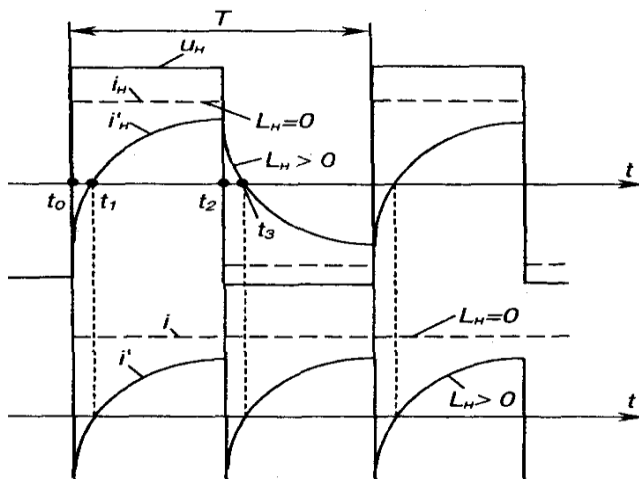


Рис. 10.7 – Часові діаграми роботи мостового інвертора

У момент часу  $t = t_3$  струм навантаження  $i_n$  знижується до нуля, а при  $t > t_1$  починає протікати в протилежному напрямку - через транзистори  $VT2$  і  $VT3$ , на затворах яких продовжує утримуватись вмикаюча напруга керування. Аналогічно на інтервалі часу  $t_0 < t < t_1$ , тобто після запирання транзисторів  $VT2$  і  $VT3$ , струм навантаження протікає через діоди  $VD1$  і  $VD4$ .

Вихідна напруга інвертора через малу тривалість процесів комутації (наприклад, тривалість процесу запирання транзисторів складає менш як 1 мкс, а двоопераційних тиристорів - десятки мікросекунд) за формою близька до прямокутної і не залежить від струму навантаження. У зв'язку з цим зовнішня (навантажувальна) характеристика інвертора напруги  $U_H = f(I)$  є прямою лінією з дуже малим нахилом.

Вхідний струм інвертора  $i'$ , як показано на рис. 10.7, при  $L_n > 0$  стає знакозмінним через періодичний енергообмін між ланцюгом навантаження і джерелом живлення: на інтервалі роботи транзисторів енергія з джерела надходить у навантаження, а на інтервалі роботи зворотних діодів енергія, накопичена в індуктивності навантаження, повертається у джерело. Наявність конденсатора великої ємності  $C_n$ , що шунтує джерело живлення, забезпечує комутацію силових

ключів при незмінній величині напруги на вході інвертора, а також зворотну провідність у джерелі, якщо у якості останнього застосовано випрямляч.

Знайдемо математичний вираз для струму навантаження. Контур струму  $i_n$  містить у собі  $U_{дж}$ ,  $R_n$  та  $L_n$ . Оскільки струм навантаження складається з вимушеної і вільної складових, маємо:

$$i_n = i_{n.пр} + i_{n.св} = I_0 + Ae^{-t/\tau_n} \quad (10.20)$$

де  $I_0 = \frac{U_{дж}}{R_n}$  – струм навантаження при  $t = \infty$  (у режимі, що встановився) або при  $L_n = 0$ .

Через те, що напруга на навантаженні періодично повторюється, маємо

$$i_n(0) = -i_n\left(\frac{T}{2}\right),$$

що дозволяє визначити постійну інтегрування А.

Після підстановки (10.20) у (10.21) і перетворень одержимо

$$i_n = \frac{U_{дж}}{R_n} \left[ 1 - \frac{2e^{-t/\tau_n}}{1 + e^{-T/2\tau_n}} \right] \quad (10.22)$$

Максимальне значення струму навантаження знаходимо з (10.22)

при  $t = \frac{T}{2}$ :

$$I_{нт} = \frac{U_{дж}(1 - e^{-T/2\tau_n})}{R_n(1 + e^{-T/2\tau_n})} \quad (10.23)$$

Для забезпечення регулювання величини вихідної напруги в інверторах напруги або змінюють величину напруги джерела живлення  $U_{дж}$  або, як правило, змінюють форму вихідної напруги за рахунок зміщення імпульсів керування транзисторів  $VT3$  і  $VT4$  відносно імпульсів керування транзисторів  $VT1$  і  $VT2$  на кут керування  $\alpha$ . В результаті у кривій з'являються регульовані паузи між різнополярними імпульсами. Порядок подачі імпульсів керування на ключі інвертора називається алгоритмом керування. Алгоритм керування і характер навантаження інвертора напруги визначають характер і тривалість роботи ключів - алгоритм перемикання.

В наш час широке застосування мікропроцесорних пристроїв у системах керування інверторами напруги дозволяє реалізувати практично будь-які алгоритми перемикання, наприклад, забезпечуючи протікання в навантаженні струму практично синусоїдної форми за можливості регулювання його частоти в широкому діапазоні.

На рис. 10.8, а наведено схему трифазного інвертора напруги. Розглядаємо найпростіший режим, коли кожні два транзистори однієї фази відкриваються поперемінно. Якщо вважати потенціал негативного полюса джерела живлення  $U_{дж}$  рівним нулю, то потенціали точок схеми  $A$ ,  $B$  і  $C$  будуть приймати значення або  $U_{дж}$  або 0. На рис. 10.8, б показані криві зміни потенціалів  $\phi^A$ ,  $\phi^B$  і  $\phi^C$ . Зазвичай в трифазних системах, вони зміщені одна відносно одної на 120 ел. градусів. До навантаження прикладена лінійна напруга

$u_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$ ,  
 форма якої також наведена на рис. 10.8, б.

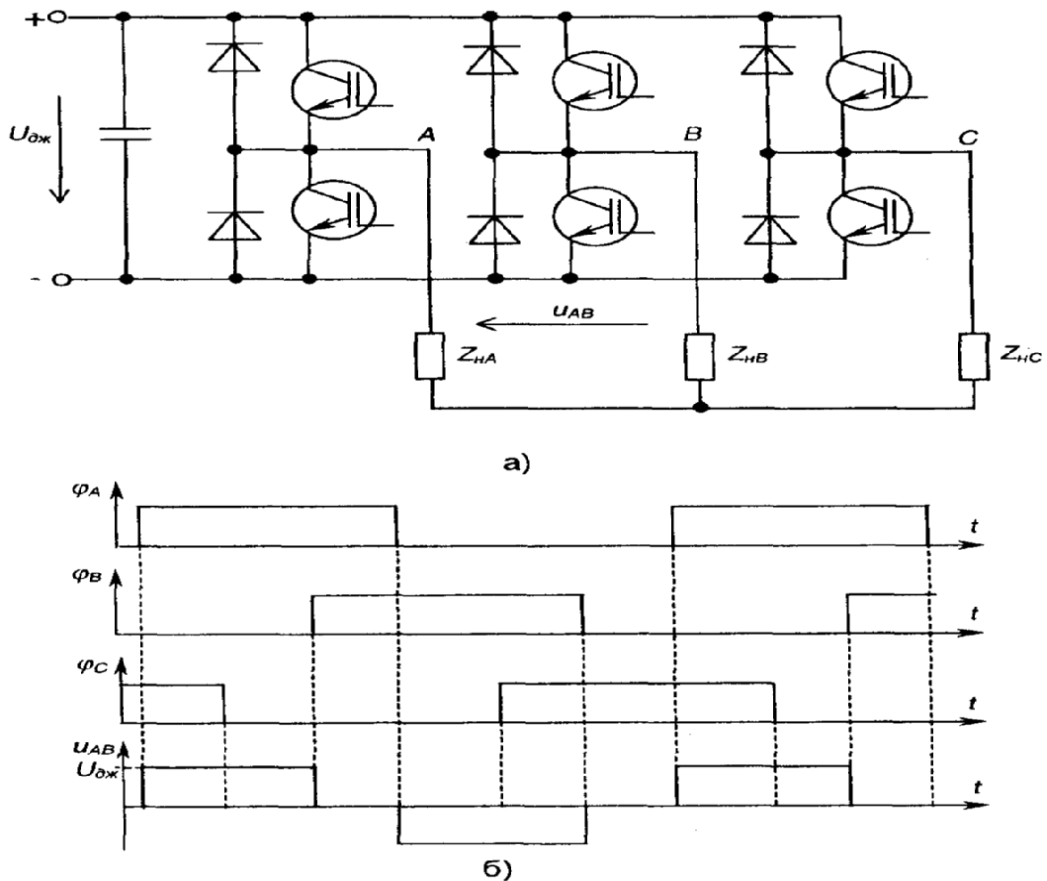


Рис. 10.8 – Трифазний інвертор напруги (а) та часові діаграми його напруг (б)

Вхідна напруга трифазного інвертора (лінійна) являє собою в розглянутому режимі знакозмінні прямокутні імпульси тривалістю 120 ел. градусів. Для зміни форми вихідної напруги, а також її величини застосовують методи, розглянуті вище.

З огляду на важливе місце, що зараз займають автономні інвертори напруги в силовій електроніці, особливо у галузі створення електроприводів з регулюванням швидкості обертання асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором, вважаємо, що надані в даному розділі короткі відомості будуть корисні читачу і стануть основою для більш глибокого вивчення цих перспективних пристроїв, теорія і схемотехніка яких невпинно розвиваються.

### САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №38

#### ТЕМА: ІНВЕРТОРИ ВІДОМІ МЕРЕЖЕЮ

#### МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми

#### Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Автономні інвертори
- 2 Інвертори відомі мережею.

#### Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред.. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд.,перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-є изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

### Питання для самоконтролю.

- 1 Автономні інвертори
- 2 Інвертори відомі мережею.

### Інвертори, ведені мережею

Інвертори, ведені мережею - це перетворювальні пристрої, які забезпечують передачу енергії від джерела постійної напруги у мережу змінної напруги, напруга та частота якої обумовлюються стороннім потужним джерелом напруги. Ці пристрої виконуються на основі керованих випрямлячів (до речі, останні також відносять до перетворювачів, ведених мережею), На рис. 10.10 наведена схема однофазного інвертора, на якій зображено керований випрямляч, до вихідного кола якого підімкнено джерело  $U_d$  із вказаною полярністю.

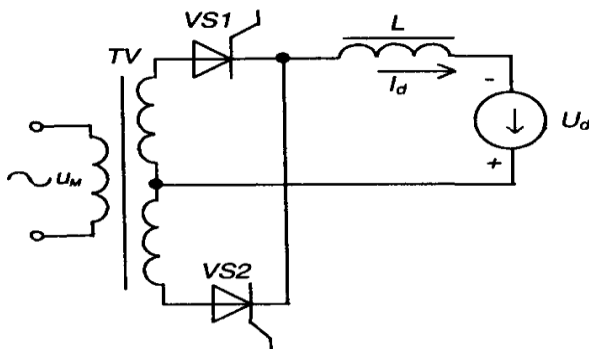


Рис. 10.10 – Однофазний ведений мережею інвертор

При цьому пристрій може виконувати дві функції:

- 1) керованого випрямляча, якщо кут керування задавати у межах  $0 < \alpha < \pi/2$ ;
- 2) інвертора, веденого мережею, якщо кут керування задавати у межах  $\pi/2 < \alpha < \pi$ ;  
 $\beta = \pi - \alpha$ .

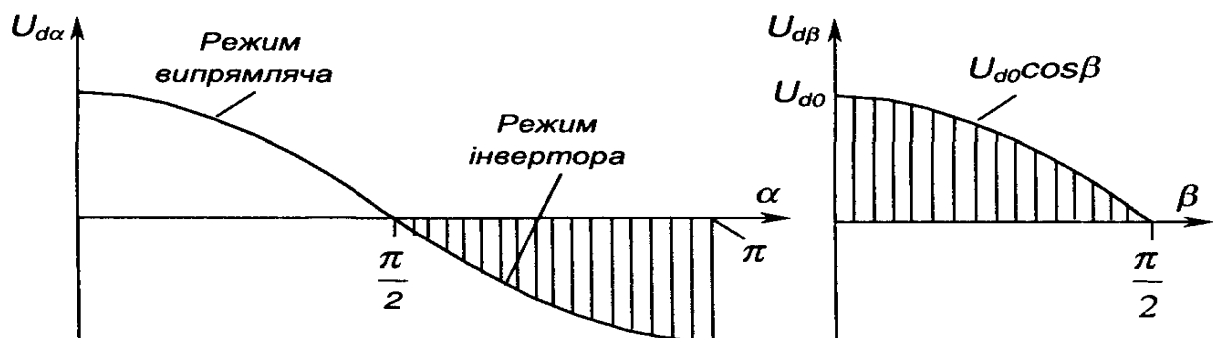


Рис. 10.11 – Регульовальні характеристики інвертора, веденого мережею, для режимів керованого випрямляча й інвертора



Характеристика  $U=f(B)$  свідчить, що при різних  $P$  напруга винна бути меншою або дорівнювати за величиною  $U_{od}$ :

Інвертори, ведені мережею, використовуються у таких випадках:

- 1) для плавного регулювання швидкості обертання двигунів (режим випрямляча);
- 2) для регульованого гальмування двигунів (режим інвертора).

На рис. 10.12 зображена схема реверсивного перетворювача напруги, призначеного для регулювання швидкості обертання і реверсу (змін напрямку обертання) двигуна постійного струму.

Коли ліва частина (1) схеми працює у режимі керованого випрямляча, а права (2) у режимі інвертора, веденого мережею двигун обертається в одному напрямку і можливе регулювання швидкості його обертання й прискорене його гальмування. АВС

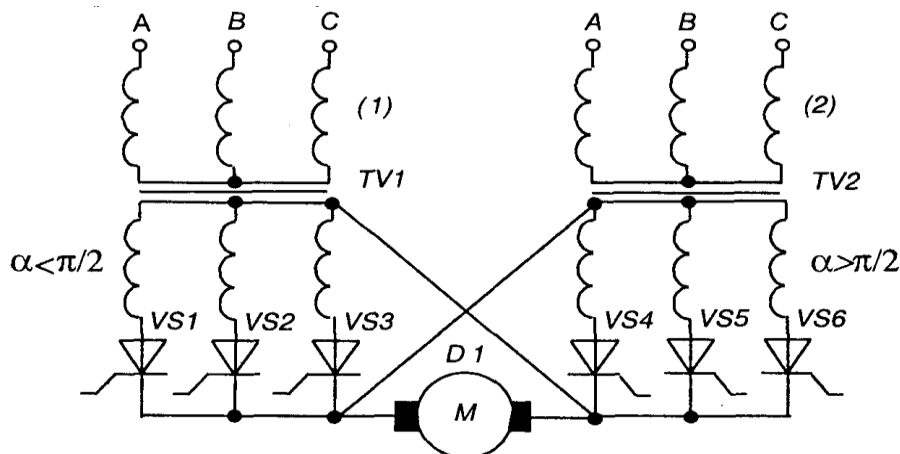


Рис. 10.12 – Реверсивний перетворювач напруги

Коли ліва частина (1) працює у режимі інвертора, а права (2) у режимі керованого випрямляча, напрямок обертання двигуна протилежний і також можливе регулювання швидкості обертання і прискорене гальмування.

Реверсивний перетворювач працює таким чином, що схема керування надсилає керуючі сигнали, наприклад, у частину (2), лише після припинення їх подачі у частину (1). Кут керування  $\alpha$  задається так, щоб виконувати умову  $U_{db} = U_{d0}$ .

При використанні такого пристрою, енергія двигуна в режимі гальмування не гаситься, як звичайно, у спеціальних потужних резисторах, а віддається у мережу живлення - рекуперується.

Отже, коли пристрій працює в режимі інвертора, джерелом енергії є двигун, а споживачем (навантаженням) - мережа змінного струму.

### САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №39

#### ТЕМА: ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ІМПУЛЬСНІ ПРИСТРОЇ. ПАРАМЕТРИ ІМПУЛЬСІВ

**МЕТА:** оволодіти знаннями про електричні схеми

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

1. Імпульси різної форми.
2. Параметри імпульсів.

**Література:**

1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.

2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

### **Питання для самоконтролю.**

1. Імпульси різної форми.
2. Параметри імпульсів.

### **Загальні відомості про імпульсні пристрої. Параметри імпульсів**

Імпульсними називають пристрої, що працюють не безперервно, а в переривчастому режимі, коли дія чередується з паузою, тривалість якої спів мірна з тривалістю перехідних процесів (якщо тривалість неспівмірно більша, то процес вважається таким, що встановився). Використання імпульсних режимів роботи має ряд переваг порівняно з безперервними режимами, а саме:

1) в імпульсному режимі можна отримати досить значну потужність в імпульсі за незначної середньої потужності, а оскільки габарити електронних пристроїв визначаються головним чином середньою потужністю, то імпульсні пристрої мають менші габарити, ніж пристрої, що працюють у безперервному режимі;

2) імпульсні пристрої практично не зазнають впливу такого дестабілізуючого фактору, як зміни температури навколишнього середовища, бо працюють у ключовому режимі: увімкнено-вимкнено;

3) імпульсні пристрої мають значну швидкодію та високу завадостійкість;

4) імпульсні пристрої, навіть найскладніші (наприклад, обчислювали! і машини) будуються з простих однотипних елементів, що дозволяє як найширше використовувати інтегральну технологію, забезпечуючи підвищену надійність і невеликі габарити;

5) застосування імпульсних (цифрових) методів у вимірювальній техніці дозволило суттєво підвищити точність вимірів та зручність **роботи** з вимірювальними приладами.

Імпульсні пристрої широко використовують при побудові систем **керування** та регулювання для:

1) формування імпульсів необхідної форми, тривалості і полярності із синусоїдних коливань та імпульсів іншої форми;

2) генерування імпульсів із заданими параметрами;

3) керування імпульсами, пов'язане з визначенням їх часового положення (затримка, синхронізація, лічба, розподіл та ін.).

Отже: імпульс - це короткочасна зміна напруги (струму) в електричному колі від нуля до деякого значення, тривалість якої спів мірна або менша за тривалість перехідних процесів у цьому колі.

За геометричною формою імпульси бувають прямокутні, трапецеїдальні, дзвоноподібні (як у підсилювача синусоїдних коливань в режимі класу В), експоненційні, лінійно змінювані (пилкоподібні), як показано на рис. 5.1.

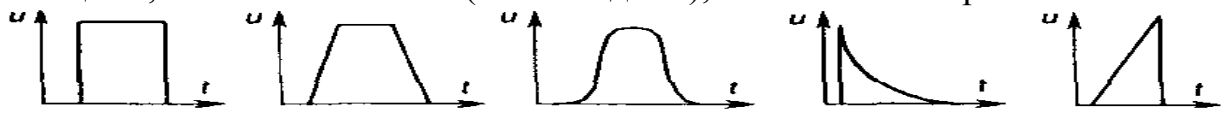


Рис. 5.1 – Імпульси різної форми: а) прямокутної; б) трапецеїдальної; в) дзвоноподібної; г) експоненційної; д) пилкоподібної

Розрізняють відео імпульси і радіоімпульси.

Відеоімпульс - це імпульс в колі постійного струму. Відеоімпульси можуть бути позитивні, негативні або різнополярні.

Радіоімпульс являє собою короткочасний пакет високочастотних коливань, обвідна якого має форму відеоімпульсу.

Параметри послідовності імпульсів розглянемо на прикладі прямокутних імпульсів з рис. 5.2. Це:

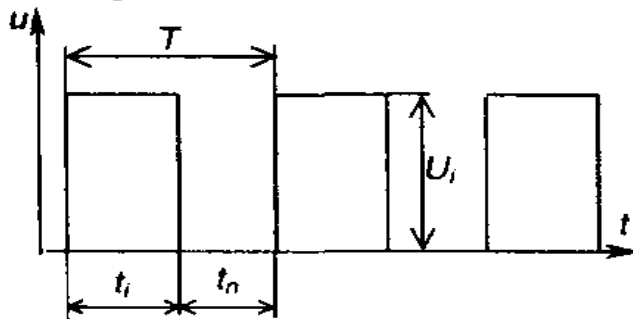


Рис. 5.2 – Параметри послідовності імпульсів

$T$  – період надходження імпульсів;  
 $f = T^{-1}$  – частота повторення;  
 $t_i$  – тривалість імпульсу;  
 $U_i$  – амплітуда імпульсу;  
 $t_n$  – тривалість паузи;

$$Q = \frac{T}{t_i} \quad (5.1)$$

щільність імпульсів;

$$U_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^{t_i} U_i dt = \frac{U_i}{Q} \quad (5.2)$$

середнє значення напруги (як енергетична дія імпульсної послідовності);

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{t_i} U_i^2 dt} = \frac{U_i}{\sqrt{Q}} \quad (5.3)$$

ефективне (діюче) значення напруги;

$$P_{cp} = \frac{P_i}{Q} \quad (5.4)$$

середня потужність (при цьому потужність джерела живлення імпульсного пристрою повинна бути не меншою за  $P_{cp}$ : тоді, накопичуючи енергію в паузі, можна в імпульсі видавати потужність в  $Q$  разів більшу за  $P_{cp}$  - так працюють фотоспалах, крапкова зварка і подібні пристрої).

На рис. 5.3 зображено класичну форму реального прямокутного імпульсу. Він має такі параметри:

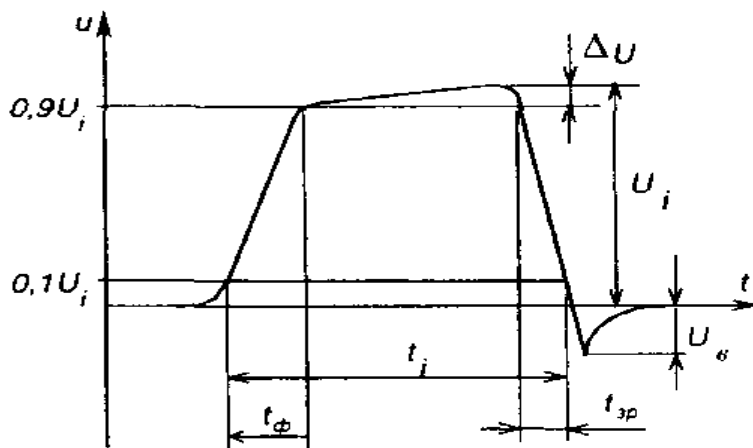


Рис. 5.3 – Параметри несиметричного імпульсу

$U_i$  – амплітуда імпульсу;  
 $\Delta U$  – нерівномірність вершини;

$t_\phi$  – тривалість переднього фронту;

$t_{зр}$  – тривалість заднього фронту (зрізу);

$U_v$  – амплітуда викиду.

Деякі імпульси не мають вершини (наприклад, див. рис. 5.1,д).

Пропускна спроможність імпульсного пристрою за

частотою визначається спектром імпульсу, який є наслідком розкладання імпульсу у ряд Фур'є, тобто на нескінченну кількість гармонічних складових різної частоти.

Зокрема, частотні властивості імпульсного сигналу визначаються активною шириною частотного спектру  $F_a$  : беруться частоти від  $=0$  до  $= F_a$  . що відповідає 95% енергії імпульсного сигналу.

Наприклад, активна ширина спектру:

у прямокутного імпульсу –  $F_a = \frac{2}{t_i}$ ;

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ № 40

### ТЕМА: ЕЛЕКТРОННІ КЛЮЧІ

**МЕТА:** оволодіти знаннями про електричні схеми

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

1. Найпростіші електронні ключі

#### Література:

1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.

2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроелектроніки (Б.С.Гершунский) - 3-є изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

6 Баби́ков М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

Питання для самоконтролю.

1. Найпростіші електронні ключі

## Електронні ключі та найпростіші схеми формування імпульсів

Ключ - це елемент, що має два тривалих стани: увімкнений та вимкнений.

Найближчим за параметрами до ідеального ключа є електромеханічний контакт, що має нескінченний опір в розімкнутому стані і нульовий у замкнутому. Б наш час в електронних пристроях у якості ключів найчастіше використовують напівпровідникові діоди, транзистори, тиристори.

Схема найпростішого ключа на електромеханічному контакті та часові діаграми його роботи зображені на рис. 5.4.

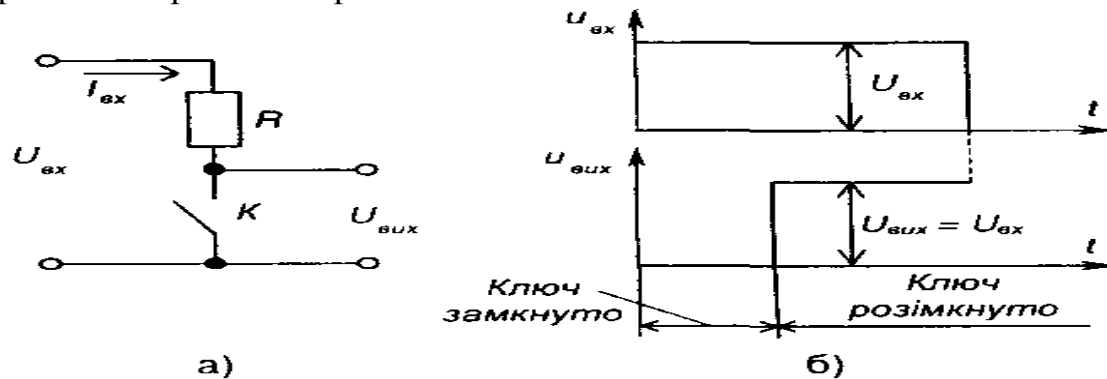


Рис. 5.4 – Ключ на електромеханічному контакті (а) і часові діаграми його роботи (б)

Схема одного з найпростіших діодних ключів та його передатна характеристика зображені на рис. 5.5 - це паралельний діодний ключ обмежувач знизу.

Для того, щоб виключити зв'язок між вхідним та вихідним колами і забезпечити підсилення, в якості ключа використовують транзистор.

Схема транзисторного ключа зображена на рис. 5.6.

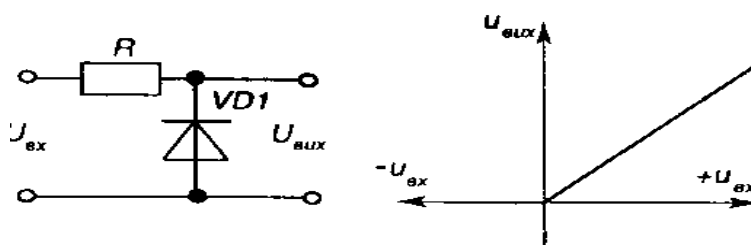


Рис. 5.5 Діодний ключ (а) та його передатна характеристика (б)

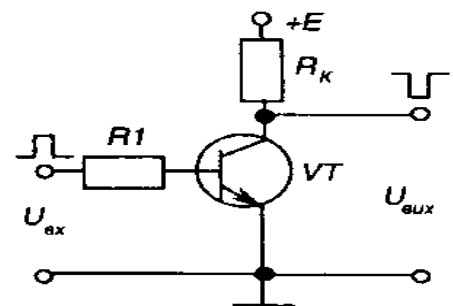


Рис. 5.6 Транзисторний ключ

Найпростішими колами формування імпульсів (формуючими колами) є диференціюючі та інтегруючі ЯС ланцюжки.

У диференціюючої ланцюжка, схема якого зображена на рис. 5.7,а, напруга на виході пропорційна похідній за часом вхідної напруги, як це видно з наступних математичних міркувань. Для ідеального випадку:

$$u_{\text{вих}} = K \frac{du_{\text{вх}}}{dt}, \quad (5.5)$$

тому що

$$i = C_1 \frac{du_c}{dt}; \quad (5.6)$$

$$u_{\text{вих}} = R_1 C_1 \frac{du_c}{dt}; \quad (5.7)$$

$$U_c = U_{\text{вх}} - U_{\text{вих}}. \quad (5.8)$$

Якщо

$$U_c \approx U_{\text{вх}}, \quad u_{\text{вих}} = U_{R_1} \ll U_{\text{вх}}, \quad (5.9)$$

і забезпечуються умови виконання ланцюжком операції диференціювання (а саме:

- для гармонійного сигналу це

$$R_1 \ll \frac{1}{\omega C_1},$$

де ( $\omega = 2\pi F$ ;  $F$  - частота;  $\sim$  для імпульсного сигналу -  $R_1 C_1 \ll t$ ;  
матимемо

$$u_{вих} = R_1 C_1 \frac{du_{вх}}{dt}, \quad (5.10)$$

де  $R_1 C_1 = \tau_i$  - постійна часу.

Часові діаграми роботи диференціюючого ланцюжка наведені на рис. 5.7,б (для трапецеїдальної форми імпульсів) і рис. 5.7,в (для прямокутного імпульсу у випадку коли не виконується умова диференціювання).

У інтегруючого кола, схема якого зображена на рис. 5.8,а, вихідна напруга пропорційна інтегралу за часом від вхідної. Роботу схеми пояснюють наступні математичні міркування:

$$u_{вих} = u_c = \frac{1}{C_1} \int_0^T i_c dt; \quad (5.11)$$

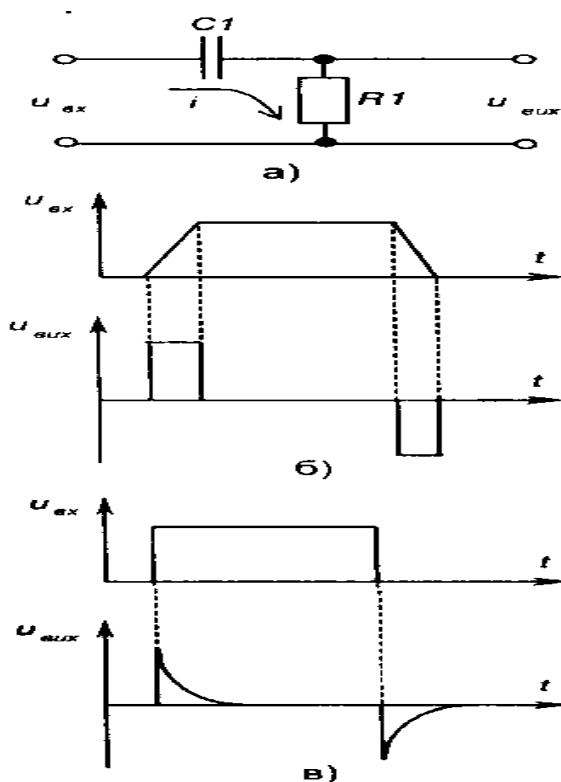


Рис. 5.7 – Диференціюючий ланцюжок (а) і часові діаграми його роботи (б), (в)

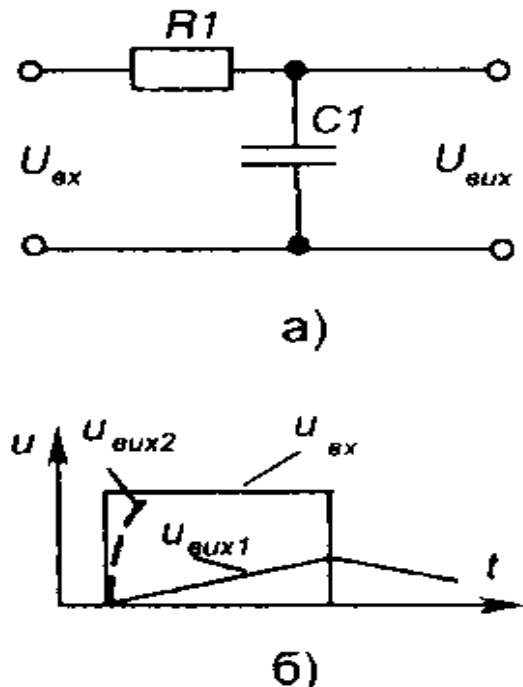


Рис. 5.8 Інтегруючий ланцюжок

$$i_c = \frac{u_{ax} - u_c}{R_1} \quad (5.12)$$

(порівняйте з інтегратором на ОП – див. розділ 4.6.7);

Якщо  $u_c < u_{ax}$ , маємо

$$i_c = \frac{u_{ax}}{R_1} \quad (5.13)$$

(умови виконання ланцюжком операції інтегрування:

– для гармонійного сигналу  $R_1 \gg \frac{1}{\omega C_1}$ ;

– для імпульсного сигналу  $R_1 C_1 \gg t_i$ ).

$$U_{вих} = \frac{1}{R_1 C_1} \int_0^t u_{ax} dt = \frac{1}{\tau_1} \int u_{ax} dt. \quad (5.14)$$

Часові діаграми роботи інтегруючого ланцюжка для вхідного імпульсу прямокутної форми наведені на рис. 5.8,б (при виконанні умови інтегрування -  $u_{вих1}$  і при її невиконанні -  $u_{вих2}$ )-

### САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №41

#### ТЕМА: КЛАСИФІКАЦІЯ ЕЛЕМЕНТНИХ БАЗ ЛОГІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми

#### Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1. Будова принцип дії елемента РТЛ - логіки.
2. Будова принцип дії елемента ДТЛ - логіки.
3. Будова принцип дії елемента ТТЛ - логіки.
4. Будова принцип дії елемента ТТЛШ - логіки.

#### Література:

1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.

2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Главное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Главное изд-во, 1987.

6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

#### Питання для самоконтролю.

1. Будова принцип дії елемента РТЛ - логіки.
2. Будова принцип дії елемента ДТЛ - логіки.
3. Будова принцип дії елемента ТТЛ - логіки.
4. Будова принцип дії елемента ТТЛШ - логіки.

## Загальні відомості

Основу сучасних пристроїв обробки інформації складають цифрові (логічні) ІМС.

Аналіз роботи цифрових пристроїв базується на використанні апарату математичної логіки - алгебри Джорджа Буля (1815 - 1864 рр.). В її основі лежить поняття події, яка оцінюється з точки зору її настання: вона може настати або не настати.

Тоді кожен подію можна вважати істинною, що може моделюватися одиницею «1» (високим рівнем напруги при електричному моделюванні) або хибною, що моделюється нулем «0» (низьким рівнем напруги).

Обробка інформації, яка подається у вигляді подій, ведеться у двійковій системі числення, яка має тільки дві цифри: 0 і 1.

Величина, котра може приймати тільки ці два значення, називається двійковою (логічною) змінною.

Складна подія, що залежить від декількох двійкових змінних, називається двійковою (логічною, перемикальною) функцією:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \text{ де } x = \{1, 0\}. \quad (6.1)$$

У практичних цілях алгебру Буля першим у 1938 році застосував родоначальник кібернетики Клод Шеннон (США) при дослідженні електричних кіл з контактними перемикачами.

Цифрові пристрої поділяються на два великих класи: комбінаційні і послідовнісні.

Комбінаційні пристрої реалізують функції, що залежать тільки від комбінації змінних, що до них входять, у даний момент часу і не залежать від стану пристрою в попередній момент часу.

Послідовнісні (від слова «послідовність») пристрої реалізують функції, і що залежать не тільки від комбінації вхідних змінних у даний момент часу, а ще й від стану пристрою в попередній момент часу: вони мають пам'ять.

## Реалізація простих логічних функцій. Логічні елементи

Однією з найпростіших логічних функцій є функція заперечення НІ,  $J$  яку ще називають операцією інверсії:

$$y = \bar{x} \quad (6.2)$$

(читається:  $y$  дорівнює не  $x$ ).

Графічне позначення елемента, що реалізує таку функцію наведено на рис. 6.1. В якості такого елемента може бути використано, наприклад, транзисторний ключ - підсилювач з СЕ, що працює у ключовому режимі: при високому рівні напруги на вході на виході матимемо низький і навпаки.

Функцію, яку виконує комбінаційний пристрій, для полегшення сприйняття часто представляють у вигляді таблиці, яку називають таблицею істинності. Кількість стовбців цієї таблиці дорівнює числу змінних, що входять до функції і є ще один стовбець, в якому вказують значення функції для кожної з можливих комбінацій вхідних змінних, числу яких відповідає кількість рядків таблиці; у загальному випадку кількість рядків дорівнює  $2^n$ , де  $n$  число змінних.



Об'єднана таблиця істинності деяких основних логічних функцій, що залежать від двох змінних (всього таких функцій шістнадцять), наведена на рис. 6.2. На рисунку також представлено інформацію про математичний запис функцій, їх назву, графічне позначення, можливу реалізацію.

З таблиці видно, що, наприклад, функція АБО істинна, якщо істинною є хоча б одна із змінних, що до неї входять, а функція І - тільки у випадку істинності обидвох змінних.

Якщо вхідні сигнали логічних елементів змінювати з часом, як це показано на рис. 6.3, можна отримати часові діаграми роботи, що відповідають динамічному режиму роботи елементів.

Вхідні змінні		Функція $y$			
$x_1$	$x_2$	АБО	АБО-НІ	І	І-НІ
0	0	0	1	0	1
0	1	1	0	0	1
1	0	1	0	0	1
1	1	1	0	1	0
Математичний запис (формула)		$y = x_1 + x_2 = x_1 \vee x_2$	$y = \overline{x_1 \cdot x_2}$	$y = x_1 \cdot x_2 = x_1 \wedge x_2$	$y = \overline{x_1 \cdot x_2}$
Назва функції		Логічне додавання (диз'юнкція) – функція АБО	Заперечення логічного додавання (стрілка Пірса) – функція АБО-НІ	Логічне множення (кон'юнкція) – функція І	Заперечення логічного множення (штрих Шеффера) – функція І-НІ
Графічне позначення елемента, що реалізує функцію					
Можлива реалізація					
		Резисторно-діодна логіка (РДЛ)	Резисторно-транзисторна логіка (РТЛ)	Резисторно-діодна логіка (РДЛ)	Резисторно-діодно-транзисторна логіка (РДТЛ)

Рис. 6.2 – Деякі логічні функції двох змінних

У загальному випадку кількість вхідних змінних (кількість, вхідів) логічних елементів, необхідних для реалізації складних, і логічних функцій, може бути і будь-якою. Реально у елементів, що випускаються у вигляді ІМС, воно, як правило, складає 2 (чотири елементи в одному корпусі ІМС, які мають спільні кола живлення), 3 (три елементи), 4 (два елементи), 8 (один елемент). Частіше це елементи І-НІ, АБО-НІ.

По елементній базі, на якій виконано логічні елементи, їх підрозділяють на резисторно-діодних.

Схеми двохходових резисторно-діодних елементів 2АБО та 2І наведені на рис 6.4,а і рис. 6.4,б відповідно.

При своїй схемній простоті вони мають суттєвий недолік: падіння напруги на діодних ключах не дозволяє реалізовувати складні логічні функції з послідовним вмиканням великого числа елементів за прийнятних значень напруги джерела живлення. Необхідно забезпечити проміжне підсилення сигналів.

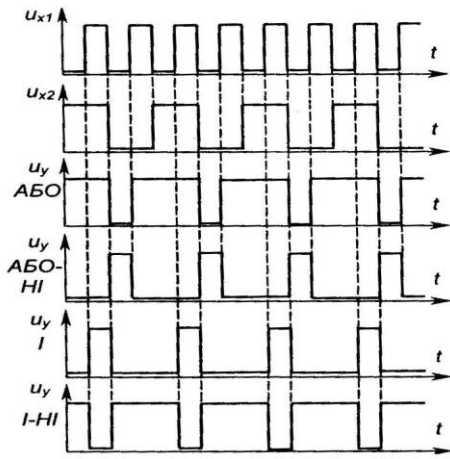


Рис. 6.3 – Часові діаграми роботи деяких двохходових логічних елементів

Підсилення забезпечують елементи, побудовані на основі транзисторних ключів. Наприклад, це інвертор, схема якого наведена на рис. 6.5. Подача невеликої від'ємної напруги  $U_{зм}$  забезпечує надійне вимкання транзистора – збільшує занадостійкість елемента.

Схеми діодно-транзисторних елементів 2АБО-НІ та 2І-НІ наведені на рис. 6.6 і рис. 6.7 відповідно.

Діоди  $VD3$  і  $VD4$  у елементі І-НІ забезпечують виключення відкриваючої дії на транзистор напруги, що падає на діодах  $VD1$  або  $VD2$ .

Велике розповсюдження знайшли елементи ТТЛ. Схема двоходового ТТЛ елемента 2І-НІ наведена на рис. 6.8.

Відмінною його рисою є наявність на вході багатомірного транзистора  $VT1$ , який є здобутком інтегральної технології і заміняє вхідний діодний вузол елементів РДТЛ.

Елемент ТТЛ також має складний двотактний вихідний каскад, що дозволяє збільшити навантажувальну здатність елемента – знижує вплив опору колекторного резистора на величину вихідного сигналу, що відповідає 1.

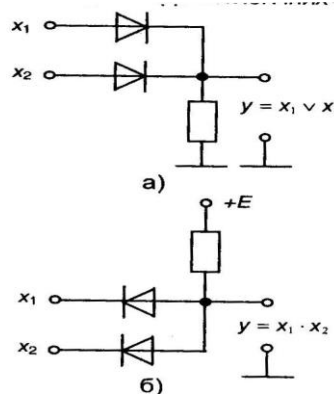


Рис. 6.4 – Резистивно-діодні елементи 2АБО (а) та 2І (б)

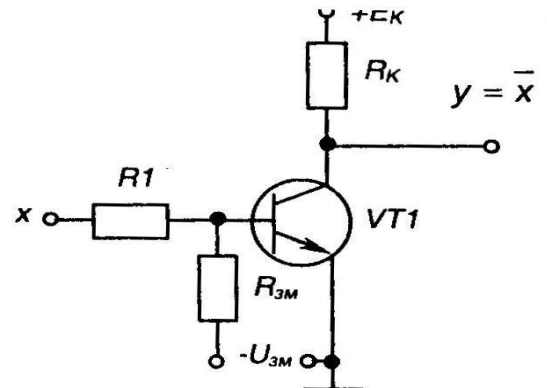


Рис. 6.5 – Інвертор (елемент НІ)

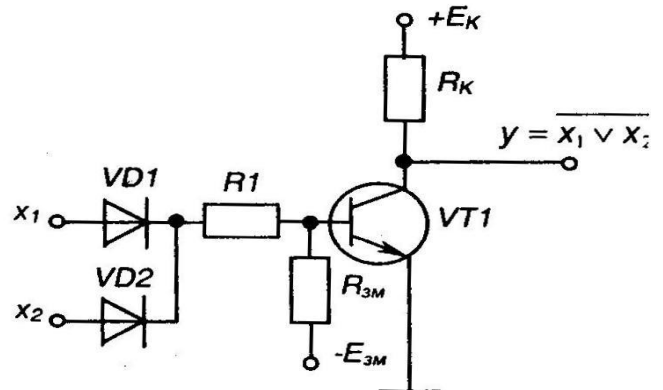


Рис. 6.6 – РДТЛ елемент 2АБО-НІ

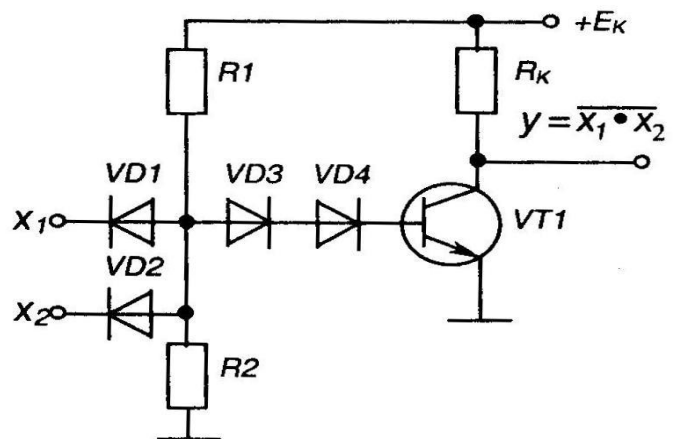


Рис. 6.7 – РДТЛ елемент 2І-НІ

Діод  $VD$  (як пороговий елемент з напругою відкриття близько 0,6 В), надійно забезпечує замкнений стан транзистора  $VT3$  при відкритому  $VT2$  (падіння на якому складає 0,2-0,4 В).

$VT4$

На рис. 6.9 наведена схема двоходового елемента І-НІ, виконаного на комплементарних К-МОН транзисторах. Як видно з рисунку, він складається тільки з чотирьох МОН-транзисторів, які одночасно виконують і роль резисторів, бо опір їх каналу становить від десятків до сотень ом. Вихід елемента транзисторними ключами  $VT1$  або  $VT2$  підмикається до шини живлення, а  $VT3$  і  $VT4$  - до нульової шини.

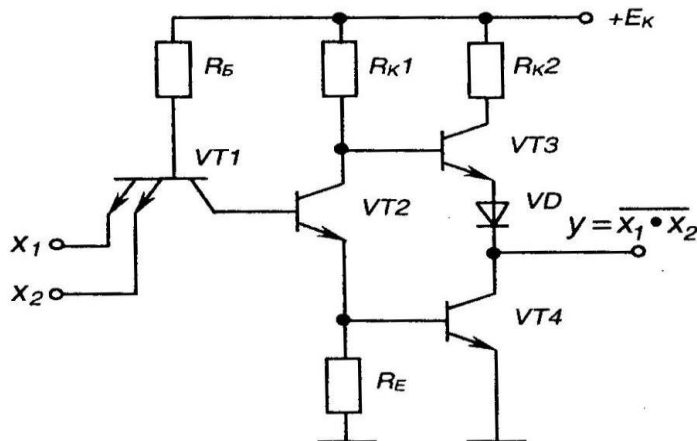


Рис. 6.8 – ТТЛ елемент 2І-НІ

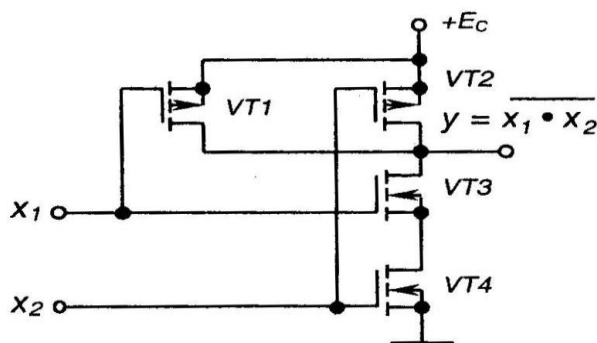


Рис. 6.9 – Елемент 2І-НІ К-МОН-логіки

Елементи К-МОН прості у виготовленні (а значить дешеві), мають більшу завадостійкість, ніж елементи ТТЛ, а за частотними властивостями в останній час наближаються до них.

Перевагою К-МОН логіки є ще й те, що вона працездатна в широкому діапазоні змін напруги живлення. Так, якщо для ІМС ТТЛ типове значення напруги живлення становить  $5 \text{ В} \pm 5 \%$ , то для ІМС К-МОН вона може становити від 3 до 15 В.

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №42

### ТЕМА: ТРИГЕР НА БІПОЛЯРНОМУ ТРАНЗИСТОРІ

### МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми

### Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Будова принцип дії тригера на біполярному транзисторі.

### Література:

1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.

2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

### Питання для самоконтролю.

1 Будова принцип дії тригера на біполярному транзисторі.

### Тригер на біполярних транзисторах (симетричний тригер з лічильним запуском)

Схема симетричного тригера зображена на рис. 7.1. Тригер являє собою двокаскадний підсилювач з додатнім зворотним зв'язком, виконаний на біполярних транзисторах  $VT1$  і  $VT2$ , увімкнених за схемою з СЕ.

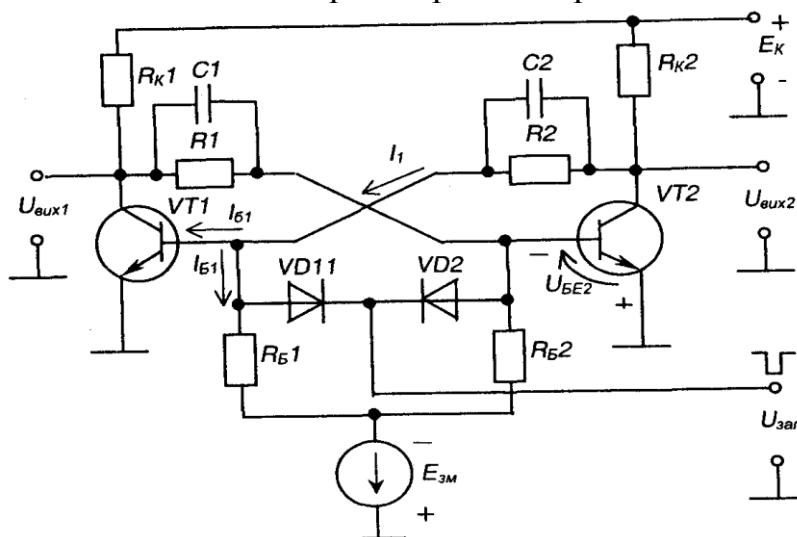


Рис. 7.1 – Симетричний тригер на біполярних транзисторах

Додатній зворотний зв'язок забезпечується ланцюжками  $R_1, C_1$ , та  $R_2, C_2$ , які з'єднують колектор одного транзистора з базою іншого.

Напруга  $E_{3m}$  призначена для надійного утримання у закритому стані одного з транзисторів схеми.

Коло, до якого входять діоди  $VD1$  і  $VD2$ , призначене для запуску тригера при подачі напруги  $U_{\text{зап}}$ .

Тригер є симетричним, бо

$$R_{K1} = R_{K2} = R_K; \quad R_1 = R_2 = R; \quad C_1 = C_2 = C; \quad R_{B1} = R_{B2} = R_B.$$

Він має два сталих стани:

1)  $VT1$  відкритий,  $VT2$  закритий, при цьому  $U_{\text{вих1}} = 0, U_{\text{вих2}} = 1$ ;

2)  $VT1$  закритий,  $VT2$  відкритий,  $U_{\text{вих1}} = 1, U_{\text{вих2}} = 0$ .

Після підмикання джерела живлення тригер рівноможливо може опинитися у будь-якому стані і, за відсутності зовнішніх сигналів керування, може знаходитися у

сталому стані скільки завгодно часу (але тільки за наявності живлення - енергозалежна пам'ять).

Розглянемо умови, коли  $VT1$  відкритий, а  $VT2$  закритий:

$$I_{\text{б1}} = I_1 - I_{\text{Б1}}; I_{\text{б1}} = \frac{E_K}{R_K + R} - \frac{E_{\text{зм}}}{R_B}. \quad (7.1)$$

Щоб транзистор  $VT1$  знаходився у насиченому стані, необхідно забезпечити:

$$I_{\text{б1}} \geq I_{\text{бн}} = \frac{I_{\text{бн}}}{\beta} = \frac{E_K}{R_K \beta}, \quad (7.2)$$

тобто

$$\frac{E_K}{R_K + R} - \frac{E_{\text{зм}}}{R_B} \geq \frac{E_K}{R_K \beta}. \quad (7.3)$$

Вираз (7.3) є визначальним для забезпечення насиченого стану  $VT1$ . Маємо

$$U_{\text{BE2}} = E_{\text{зм}} - U_{\text{RB2}}; U_{\text{RB2}} = \frac{E_{\text{зм}} R_B}{R_B + R}; U_{\text{BE2}} = E_{\text{зм}} - \frac{E_{\text{зм}} R_B}{R_B + R} < 0. \quad (7.4)$$

Розглянемо роботу тригера за наявності запускаючої напруги. Припустимо, схема знаходиться у першому сталому стані рівноваги. У цьому випадку діод  $VD1$  зміщений у прямому напрямку під дією позитивної напруги  $U_{\text{EE1}}$ , а діод  $VD2$  закритий напругою  $U_{\text{BE2}}$ . Якщо подати негативний запускаючий імпульс, він через діод  $VD1$  потрапить до бази  $VT1$ , який закриється (матимемо  $I_1=0$ ). Напруга на колекторі  $VT1$  зросте і через  $R_1$  та прискорюючий конденсатор  $C_1$  потрапить на базу  $VT2$  і відкриє його.

У результаті - схема перейде до другого сталого стану.

Тепер діод  $VD1$  закритий напругою  $U_{\text{EE1}}$  і наступний негативний імпульс запуску буде діяти на базу  $VT2$  через діод  $VD2$  і закриє  $VT2$ , переводячи тригер у перший сталий стан.

Таким чином, кожен імпульс запуску змінює стан тригера на протилежний. Такий вид запуску називається лічильним запуском, а тригер має назву тригера Т-типу. Його роботу ілюструють часові діаграми, зображені на рис. 7.2, з яких видно, що період вихідних імпульсів  $T_{\text{вих}}$  у два рази більший за період запускаючих  $T_{\text{зан}}$  (тому такий тригер ще називають тригером поділювачем на два).

Поряд з лічильним запуском існує роздільний запуск, котрий можна реалізувати двома способами:

- 1) подачею імпульсів однієї полярності від двох різних генераторів на бази кожного з транзисторів у різні моменти часу;
- 2) подачею імпульсів змінної полярності на базу одного з транзисторів.

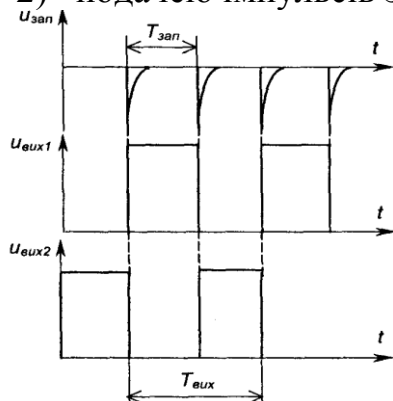


Рис. 7.2 - Часові діаграми роботи лічильного тригера

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ № 43

### ТЕМА: РЕГІСТРИ

#### МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1. Будова, принцип дії регістра

#### Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабикив М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

Питання для самоконтролю.

1. Будова, принцип дії регістра

### Регістри

Регістри призначені для запам'ятовування і зберігання інформації, представленої у вигляді багаторозрядних двійкових чисел (двійкового коду) та їх видачі за зовнішньою командою - це елементи короткочасної (оперативної) пам'яті.

Залежно від способу запису і видачі інформації регістри бувають: 1) послідовні - запис інформації в яких виконується послідовно

одного двійкового розряду за іншим через один вхід;

2) паралельні - запис інформації в яких виконується одночасно (паралельно) у всі розряди;

3) послідовно-паралельні - можуть працювати як послідовні або паралельні, залежно від сигналу на спеціальному вході керування.

На рис. 8.14 як приклад наведено умовне позначення універсального регістру типу 564ИР9. Він має входи:

- 1) синхронізації (тактовий) -  $C$ ;
- 2) задання режиму роботи (паралельний-послідовний) -  $P/S$ ;
- 3) послідовного вводу інформації (входи Ж-тригера першого розряду) -  $J, K$ ;
- 4) паралельного вводу інформації -  $D_1, D_2, D_4, D_3$
- 5) задання видачі інформації в прямому або інверсному коді -  $T/C$ ;
- 6) встановлення нульового стану  $R$ . Виходи:  $Q_1, Q_2, Q_4, Q_8$ .

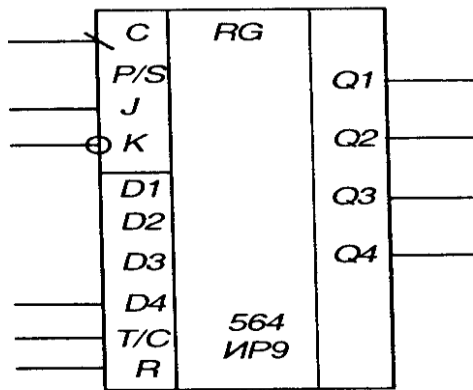


Рис. 8.14 – Універсальний регістр 564ІР9

При видачі інформації у послідовному коді останній знімається з виходу  $Q_4$ .

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ № 44 ТЕМА: МУЛЬТИПЛЕКСОРИ

**МЕТА:** оволодіти знаннями про основні види напівпровідникових приладів

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1. Призначення, будова мультиплексора

### Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред.. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

Питання для самоконтролю.

1. Призначення, будова мультиплексора

### Мультиплексори

Мультиплексори (комутатори) - це комбінаційні пристрої, що підмикають до виходу вхід (передають на вихід інформацію з входу), номер якого задає комбінація нулів і одиниць на адресних входах.

Схема чотиривходового мультиплексора та його таблиця істинності наведені на рис. 8.6.

Логічна функція, яку реалізує цей мультиплексом, така:

$$F = A\bar{x}\bar{y} + B\bar{x}y + Cx\bar{y} + Dxy. \quad (8.13)$$

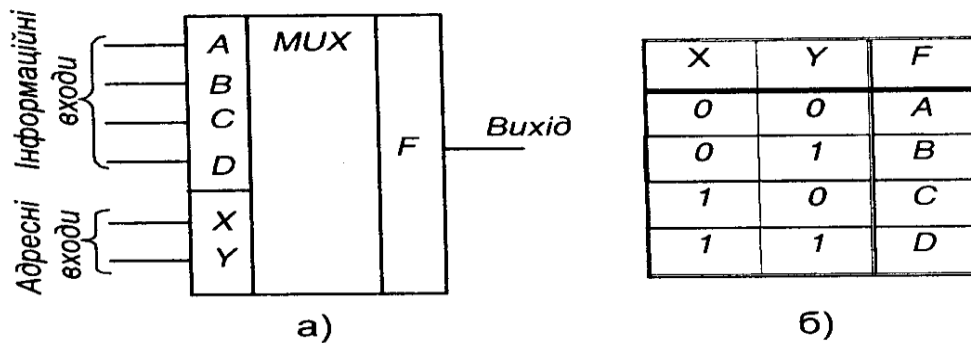


Рис. 8.6 – Чотириходовий мультиплексор (а) та його таблиця істинності (б)

Зауважимо, що К-МОН мультиплексори забезпечують комутацію не тільки цифрових, а й і аналогових сигналів.

### САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ № 45

#### ТЕМА: ПАРАЛЕЛЬНІ І ПОСЛІДОВНІ ЦАП І АЦП

#### МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми

#### Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1. Будова, принцип дії ЦАП.
2. АЦП послідовного наближення.

#### Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроелектроніки (Б.С.Гершунский) - 3-є изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Баби́ков М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

#### Питання для самоконтролю.

1. Будова, принцип дії мікросхем перетворювачів.
2. Структурна схема мікросхем.

#### Цифро-аналогові (ЦАП) і аналого-цифрові (АЦП) перетворювачі

Для узгодження цифрових пристроїв вимірювання і керування, що працюють з інформацією, представленою у двійковому коді, з датчиками і виконавчими пристроями, що мають аналогові відповідно вихідні і вхідні сигнали, застосовують ЦАП і АЦП.

ІМС ЦАП як правило являють собою резистивні матриці, елементи яких мають співвідношення опорів дільника напруги R-2R-4R-8R-16R і т.д. (застосовують рідко,



бо технологічно важко виконувати точні значення великих опорів, що відповідають старшим розрядам) або співвідношення опорів дільника струмів R-2R. Також до ІМС зазвичай входять транзисторні (частіше на польових МОН-транзисторах) ключі, що забезпечують вмикання потрібної комбінації резисторів за сигналами двійкового коду.

Матриця R-2R підмикається до операційного підсилювача (ОП), утворюючи з ним інвертуючий підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення. Вхідним сигналом підсилювача є опорна напруга, яка визначає величину напруги, що відповідає молодшому двійковому розряду.

У результаті кожному значенню двійкового коду на входах керування ЦАП відповідає деяке значення напруги на виході ОП.

АЦП може бути побудований на основі ЦАП, лічильника імпульсів і компаратора. Спрощена структурна схема такого АЦП наведена на рис. 8.15.

Цикл перетворення аналогового сигналу, представленого у вигляді напруги  $U_{вх}$ , у двійковий код складається з наступних операцій.

Напруга  $U$  подається на вхід пристрою - один з входів компаратора  $K$ . Сигнал з виходу компаратора дозволяє роботу генератора імпульсів  $ГІ$ .

Сигнал *Пуск* встановлює нульовий стан і дозволяє роботу лічильника імпульсів  $ЛІ$ , який починає заповнюватися імпульсами  $ГІ$ .

Код з виходу  $ЛІ$  подається на цифрові входи ЦАП (входи керування ключами). У результаті з виходу ЦАП ступінчато зростаюча напруга надходить на другий вхід компаратора. Після досягнення цією напругою значення  $U_m$  компаратор забороняє роботу генератора, а на виході  $ЛІ$  маємо код, що відповідає величині  $U$ .

Слід зазначити, що елементарним пристроєм перетворення аналогової величини в дискретну є компаратор, який фіксує факт перевищення однієї напруги іншою і може мати на виході сигнали 0 або 1.

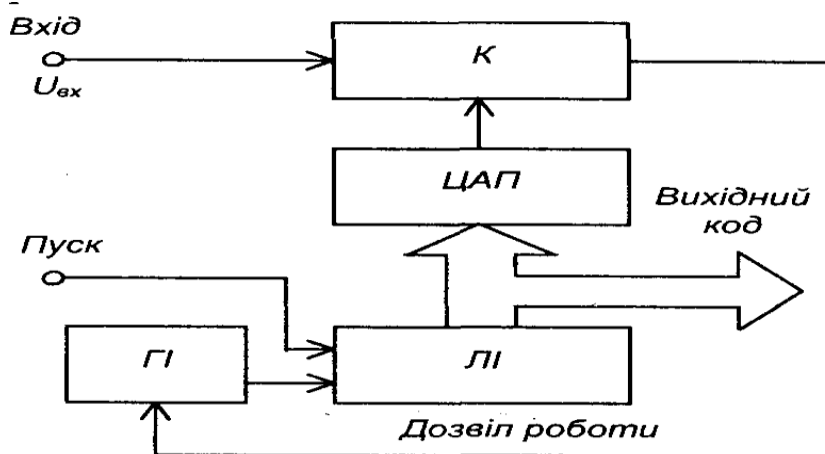


Рис. 8.15 – Структурна схема АЦП

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №46

### ТЕМА: ІНТЕГРАЛЬНИЙ ТАЙМЕР

**МЕТА:** оволодіти знаннями про електричні схеми

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

1. Будова, принцип дії ІМС К1006ВІ1.
2. Одновібратор на ІМС К1006ВІ1.
3. Мультивібратор на ІМС К1006ВІ1.

### Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред.. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд.,перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

### Питання для самоконтролю.

1. Будова, принцип дії ІМС К1006ВІ1.
2. Одновібратор на ІМС К1006ВІ1.
3. Мультивібратор на ІМС К1006ВІ1.

### ІМС таймера К1006ВІ1 (555)

Для побудови генераторів імпульсів використовують також спеціалізовані ІМС. Одна з них - це ІМС таймера універсального призначення К1006ВІ1 (міжнародний код 555). Його умовне позначення наведене на рис. 8.19, а схема - на рис. 8.20. До складу ІМС входять два операційних підсилювачі, тригер, комбінаційна логічна схема, два транзистори (один з яких досить потужний) і вихідний підсилювач.

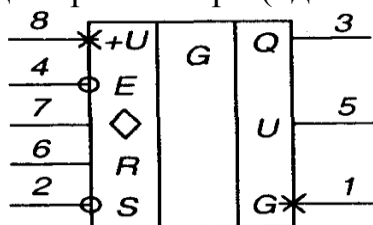


Рис. 8.19 – Умовне позначення таймера К1006ВІ1

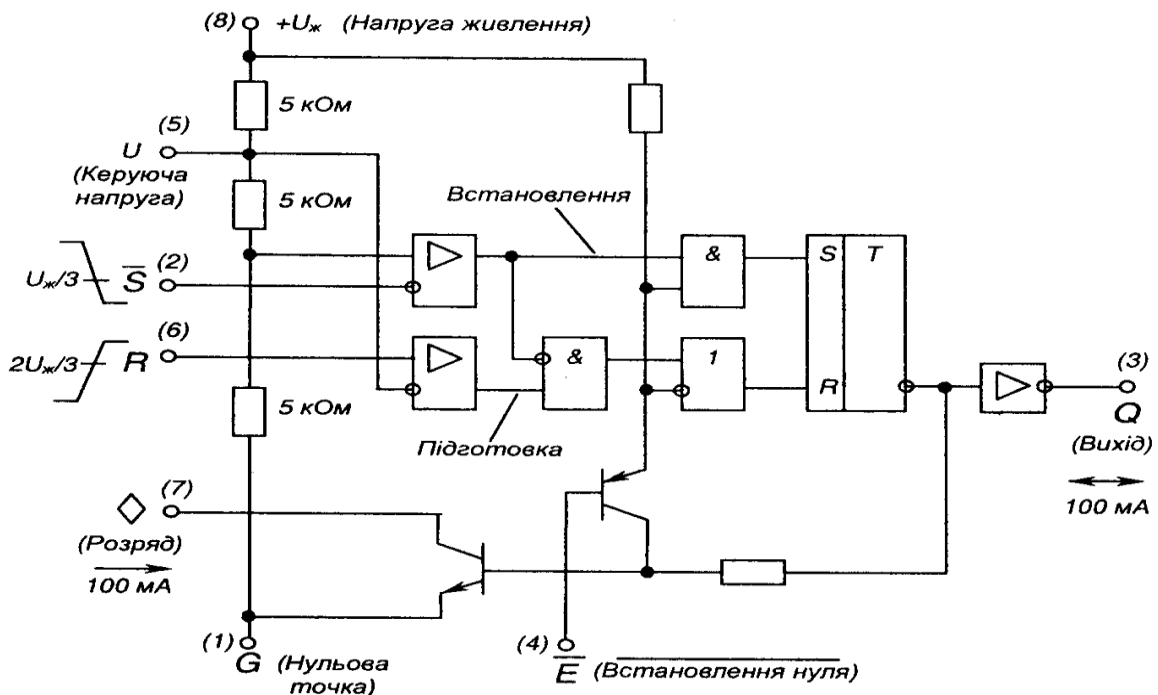


Рис. 8.20 – Схема ІМС таймера універсального призначення К1006ВІ1

Таймер дозволяє будувати одновібратори з тривалістю імпульсів від десяти мікросекунд до однієї години і мультивібратори з частотою

імпульсів до 500 кілогерц при точності 1%. При цьому напруга живлення може задаватися в межах від 4,5 до 18 вольт, а струм навантаження сягає 100 міліампер (200 міліампер у ІМС 555). Схеми одновібратора і мультивібратора, побудованих на ІМС К1006ВІ1, наведені на рис. 8.21 і 8.22

відповідно.

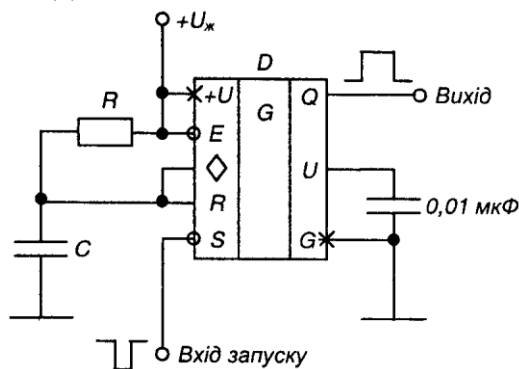


Рис. 8.21 – Одновібратор на ІМС К1006ВІ1

У цих пристроях величину ємності конденсатора можна задавати більшою за 100 пікофарад, а опору резисторів від 1 кілоому до 10 мега ом (для забезпечення працездатності ІМС і виключення впливу паразитних ємностей і опорів на параметри генерованих імпульсів).

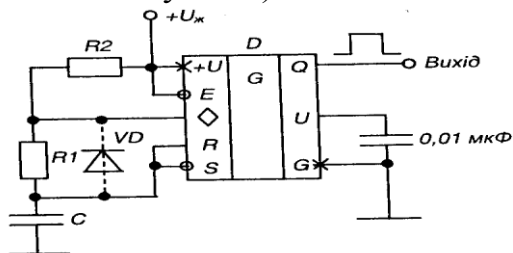


Рис. 8.22 – Мультивібратор на ІМС К1006ВІ1

Тривалість імпульсу одновібратора становить

$$t_i \approx 1,1RC, \quad (8.17)$$

а період генерованих мультівібратором імпульсів:

– без діода

$$T \approx 0,7(R_2 + 2R_1)C; \quad (8.18)$$

– з діодом

$$T \approx 0,7(R_2 + R_1)C. \quad (8.19)$$

Змінюючи співвідношення величин опорів  $R_1$  і  $R_2$ , можна змінювати шпаруватість послідовності генерованих імпульсів

$$Q = \frac{R_1 + R_2}{2R_1 + R_2}. \quad (8.20)$$

ІМС таймера 555 знайшла якнайширше використання при побудові імпульсних пристроїв. У США якимось навіть оголошувався конкурс: хто запропонує більше варіантів застосування цієї ІМС.

## **САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ № 47**

### **ТЕМА: ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ І ВИКОРИСТАННЯ**

### **МІКРОПРОЦЕСОРІВ**

**МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми**

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1. Використання мікропроцесорів

#### **Література:**

1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.

2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматизации и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматизации. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

Питання для самоконтролю.

1. Використання мікропроцесорів

В 1973 році були розроблені перші мікропроцесорні комплекти на основі мікропроцесора 8008. Правда, вони годилися хіба що для демонстрації своїх можливостей і включення індикаторів. В кінці 1973 року Intel випустила мікропроцесор 8080, швидкодія якого була в 10 разів вище, ніж у 8008, і який міг адресувати пам'ять об'ємом до 64 Кбайт. Це стало поштовхом до промислового виробництва ПК. В 1975 році фотографія комплекту Altair фірми MITS була поміщена на обкладинку січневого номера журналу Popular Electronic. Цей комплект, який можна вважати першим ПК, складався з процесора 8080, блоку живлення, лицьової панелі з безліччю індикаторів і пристрою місткістю, що запам'ятовує, 256 байт (не кілобайт!). Вартість комплекту складала 395 доларів, і покупець повинен був сам зібрати комп'ютер. Цей ПК був побудований по схемі з відкритою шиною (роз'ємами), що дозволяло іншим фірмам розробляти доповни тільні плати і периферійне устаткування. Поява нового процесора стимулювало розробку різного програмного забезпечення, включаючи операційну систему CP/M (Control Program for Microprocessors) і першу мову програмування BASIC (Beginners Allpurpose Symbolic Instruction Code) фірми Microsoft. В 1975 році IBM вперше випустила пристрій, який можна б було назвати персональним комп'ютером. Модель 5100 мала пам'ять місткістю 16 Кбайт, вбудований дисплей на 16 рядків по 64 символи, інтерпретатор мови BASIC і касетний накопичувач DC-300. Проте вартість комп'ютера (9 000 доларів) для рядового покупця така ціна була надто висока, особливо якщо врахувати, що безліч любителів (названих пізніше хакерами) пропонували власні комплекти всього за 500 доларів. Очевидно, що ПК фірми IBM не могли витримати такої конкуренції на ринку і продавалися дуже погано. До появи відомого зараз IBM PC (модель 5150) були розроблені моделі 5110 и 5120. Хоча ці комп'ютери і передували IBM PC, вони не мали з ним нічого спільного. IBM PC був більше схожий на випущену в 1980 році для вживання в офісах модель System/23 DataMaster. вартістю 666 доларів. Його системна плата була пригвинчена до шматка фанери, а корпусу і блоку живлення не було взагалі. Було випущено всього декілька екземплярів цього комп'ютера, які згодом продавалися колекціонерам за 20 тис. доларів. Але комп'ютер Apple II, що з'явився в 1977 році, став прообразом більшості подальших моделей, включаючи і IBM PC. До 1980 року на ринку мікрокомп'ютерів домінували дві базові моделі комп'ютерних систем. Це був Apple II, мав безліч зрадженних користувачів і неймовірну кількість програм, і дещо інших моделей, що походили від комплекту Altair. Ці комп'ютери були сумісні один з іншим, мали одну операційну систему (CP/M) і стандартні роз'єми розширення з шиною S-100 (по 100 контактів на роз'єм). Всі вони збиралися різними компаніями і продавалися під різними назвами. Але в більшості випадків фірми використовували однакові програмні і апаратні частини. Цікаво відзначити, що жоден комп'ютер не був сумісний ні з одним з двох основних сучасних стандартів ПК -- ні з IBM, ні з Mac. В кінці 1980 року IBM нарешті вирішила вийти на ринок дешевих ПК, що стрімко розвивається. Для розробки нового комп'ютера фірма заснувала в місті Бока-Ратон (шт. Флоріда) своє відділення Entry Systems Division. Невелику групу з 12 чоловік очолив Дон Естрідж (Don Estridge), а головним конструктором був Люїс Еггебрехт (Lewis Eggebrecht). Саме ця група і розробила перший справжній IBM PC. (Фірма IBM рахувала модель 5100, розроблену в 1975 році, інтелектуальним програмованим терміналом, а не справжнім комп'ютером, хоча, в естві, це був справжній комп'ютер.) Майже всі інженери групи раніше працювали над проектом комп'ютера System/23

DataMaster, тому він фактично виявився прообразом IBM PC. але і електрична схема клавіатури були скопійовані з DataMaster; правда, в IBM PC дисплей і клавіатура були автономні, на відміну від DataMaster, де вони об'єднувалися в один пристрій (що було незручне). Запозичали і деякі інші компоненти, включаючи системну шину (роз'єми уведення-виведення), причому використовувалися не тільки ті ж самі 62-контактні роз'єми, але і розводка контактів. В IBM PC застосовувалися ті ж контроллери переривань і прямого доступу до пам'яті, що і в DataMaster. При цьому платня розширення, розроблена для DataMaster можна було використовувати і в IBM PC. Проте в DataMaster застосовувався процесор 8085 фірми Intel, який міг адресувати всього 64 Кбайт пам'яті і мав 8-розрядні внутрішню і зовнішню шини даних. Через ці обмеження в IBM PC використовувався процесор 8088, який мав адресний простір 1 Мбайт, 16-розрядну внутрішню шину даних, але зовнішня шина даних була 8-розрядною. Завдяки 8-розрядній зовнішній шині даних і аналогічній системі команд стало можливим використовувати пристрої, розроблені раніше для DataMaster. На цьому, як ви розумієте, справа не зупинилася. Були вивчені потреби ринку, враховані всі існуючі на той час стандарти, з'ясовані причини їх успіху, що дозволило розробникам вбудувати в IBM PC можливості практично всіх популярних тоді систем. Параметри комп'ютера фактично визначалися споживачами, тому IBM вдалося створити пристрій, який ідеально заповнив відведену йому на ринку нішу. IBM створила комп'ютер менш ніж за рік, максимально упродивши в нього розробки і компоненти інших виробників, що були. Групі Entry Systems Division була надана більша незалежність, ніж іншим підрозділам: їм було дозволено використовувати послуги і продукцію інших фірм в обхід бюрократичного правила, приписуючого використовувати в розробках тільки вироби IBM. Наприклад, мови програмування і операційну систему для IBM PC розробляла Microsoft. Зауваження Цікаве, що IBM спочатку звернулася е Digital Research, творцю операційної системи CP/M, але ті не зацікавилися цією пропозицією. Потім за справу узялася Microsoft, яка пізніше перетворилася в найбільшу в світі компанію виробника програмних продуктів. IBM фактично запропонувала їм співпрацювати і підтримати новий комп'ютер. цей новий стандарт. З тих пір були продані сотні мільйонів PC-сумісних комп'ютерів, а на його основі виросло величезне сімейство комп'ютерів і периферійних пристроїв. Програмного забезпечення для цього сімейства створено більше, ніж для будь-якої іншої системи. Після появи першого IBM PC пройшло майже 20 років, і за цей час, звичайно, багато що змінилося. Наприклад, IBM-сумісні комп'ютери, що раніше використовують процесор 8088 з тактовою частотою 4,77 МГц, тепер на основі процесора Pentium II працюють з тактовою частотою 500МГц і вище, швидкодія сучасних систем виросла більш ніж в 4 000 (!) разів (мається на увазі загальна продуктивність, а не тільки тактова частота). Перший IBM PC мав два односторонні накопичувачі на гнучких дисках місткістю 160 Кбайт і використовував операційну систему DOS 1.0, а сучасні комп'ютери працюють з жорсткими дисками місткістю в 20 Гбайт і вище. В комп'ютерній індустрії продуктивність процесора і місткість дискових накопичувачів подвоюються, як правило, кожні 2-3 роки (цей закон носить ім'я одного із засновників фірми Intel Гордона Мура). Слід зазначити ще один важливий момент: IBM перестала бути єдиним виробником PC-сумісних комп'ютерів. Звичайно, IBM розробила і продовжує розробляти стандарти, яким винні відповідати сумісні комп'ютери, але вона вже не є монополістом на ринку. Часто нові стандарти для ПК розробляють інші фірми, а не IBM. Сьогодні Intel розробляє більшість стандартів апаратного забезпечення, а Microsoft -- програмного.

Саме через те, що продукти цих двох компаній домінують на ринку ПК, самі персональні комп'ютери часто називають Wintel. Саме ці фірми розробили стандарти шини PCI (Peripheral Component Interconnect), AGP (Accelerated Graphics Port), формфактори системної платні ATX і NLX, кубла Socket 1-8 Slot 1, Slot 2, Socket 370 і багато що інше. Windows фактично стала стандартом операційної системи для PC-сумісних комп'ютерів. виробників електронних компонентів. Все це сприяє як розширенню ринку, ти поліпшенню споживацьких якостей PC-сумісних комп'ютерів. PC-сумісні комп'ютери так широко поширені не тільки тому, що сумісну апаратуру легко збирати, але і тому, що операційні системи поставляє не IBM, а інші фірми, наприклад Microsoft. Ядром програмного забезпечення комп'ютера являється BIOS (Basic Input Output System), вироблювана різними компаніями (наприклад, Phoenix, AMI і ін.). Багато виробників ліцензію мають програмне забезпечення BIOS і операційні системи, пропонуючи свої сумісні комп'ютери. Увібравши в себе все краще, що було в системах CP/M і UNIX, DOS стала доступною для більшості існуючих програмних продуктів. Успіх Windows привів до тому, що розробники програм все частіше стали створювати свої продукти для PC-сумісних комп'ютерів. Системи Macintosh фірми Apple ніколи не користувалися таким успіхом, як PC-сумісні моделі. Це зв'язано з тим, що компанія Apple сама розпоряджається всім програмним забезпеченням і не надає його іншим фірмам для використання в сумісних комп'ютерах. З погляду користувачів, PC-сумісні комп'ютери більш зручніші від всіх інших. Конкуренція між виробниками привела до того, що за ті ж гроші, вкладені в покупку, ви дістаєте доступ до набагато більш різноманітних програмних і додаткових апаратних засобів. Сьогодні ринок PC-сумісних комп'ютерів продовжує розвиватися. При розробці нових моделей використовуються все більш досконалі технології. Оскільки ці типи комп'ютерних систем використовують найрізноманітніше програмне забезпечення, мабуть, протягом найближчі 15-20 років домінувати на ринку будуть PC-сумісні комп'ютери. Що нас чекає в майбутньому? Тут логичнее можна б було привести числові дані (наприклад, до 2011 року Intel випустить процесор з 1 млрд транзисторів, тактовою частотою 10 ГГц, виготовлений за 0,07-мікронною технологією і здатний виконувати 100 млрд операцій в секунду), але з упевненістю можна сказати лише одне: комп'ютери будуть швидше, менше і дешевше.

## **САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №48**

### **ТЕМА: ПРОГРАМОВАНІ ЛОГІЧНІ КОНТРОЛЕРИ**

#### **МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми**

#### **Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

1 Програмовані логічні контролери.

#### **Література:**

1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред.. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.

2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники и микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

6 Бабилов М.А. Косинский А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

## Питання для самоконтролю.

### 1 Програмовані логічні контролери.

#### Структура і пристрій ПЛК

З чого починалася промислова автоматика? А починалося все з контактно-релейних схем керування промисловими процесами. Крім моторошного «шелестення», контактно релейні схеми мали фіксовану логіку роботи, і у разі зміни алгоритму, необхідно ґрунтовно переробити монтажну схему

Бурхливий розвиток мікропроцесорної техніки, привели до створення систем управління технологічними процесами на базі промислових контролерів. Але це не означає, що реле зжили себе, у них просто своя ніша для застосування.

**ПЛК - програмований логічний контролер**, являють собою мікропроцесорний пристрій, призначений для збору, перетворення, обробки, зберігання інформації і вироблення команд управління, що має кінцеве кількість входів і виходів, підключених до них датчиків, ключів, виконавчих механізмів до об'єкту управління, і призначений для роботи в режимах реального часу.



Принцип роботи ПЛК дещо відрізняється від «звичайних» мікропроцесорних пристроїв. Програмне забезпечення універсальних контролерів складається з двох частин. Перша частина це системне програмне забезпечення. Проводячи аналогію з комп'ютером можна сказати, що це операційна система, тобто управляє роботою вузлів контролера, взаємозв'язку складових частин, внутрішньої діагностикою. Системне програмне забезпечення ПЛК розташована в постійній пам'яті центрального процесора і завжди готовий до роботи. По включенню живлення, ПЛК готовий взяти на себе управління системою вже через кілька мілісекунд. ПЛК працюють циклічно за методом періодичного опитування вхідних даних. Робочий цикл ПЛК включає 4 фази:

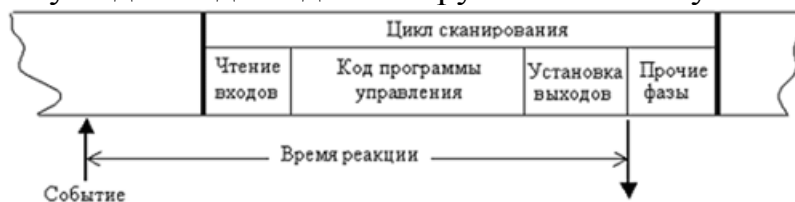
1. Опитування входів
2. Виконання користувацької програми
3. Встановлення значень виходів
4. Деякі допоміжні операції (діагностика, підготовка даних для налагоджувача, візуалізації і т. д.).

Виконання 1 фази забезпечується системним програмним забезпеченням. Після чого управління передається прикладної програми, тієї програми, яку ви самі записали в пам'ять, за цією програмою контролер робить те що ви побажаєте, а по її



завершенню управління знову передається системного рівня. За рахунок цього забезпечується максимальна простота побудови прикладної програми - її творець не повинен знати, як здійснюється управління апаратними ресурсами. Необхідно знати з якого входу приходить сигнал і як на нього реагувати на виходах

Очевидно, що час реакції на подію буде залежати від часу виконання одного циклу прикладної програми. Визначення часу реакції - часу від моменту події до моменту видачі відповідного керуючого сигналу - пояснюється на малюнку:



Володіючи пам'яттю, ПЛК в залежності від передісторії подій, здатний реагувати по-різному на поточні події. Можливості перепрограмування, управління по часу, розвинені обчислювальні здібності, включаючи цифрову обробку сигналів, піднімають ПЛК на більш високий рівень на відміну від простих комбінаційних автоматів.

Розглянемо входу і виходу ПЛК. Існує три види входів дискретні, аналогові та спеціальні

Один дискретний вхід ПЛК здатний приймати один бінарний електричний сигнал, що описується двома станами - включений або виключений. Всі дискретні входи (загального виконання) контролерів зазвичай розраховані на прийом стандартних сигналів з рівнем 24 В постійного струму. Типове значення струму одного дискретного входу (при вхідній напрузі 24 В) складає близько 10 мА.

Аналоговий електричний сигнал відображає рівень напруги або струму, що відповідає деякою фізичною величиною, в кожен момент часу. Це може бути температура, тиск, вагу, положення, швидкість, частота і т. д.

Оскільки ПЛК є цифровою обчислювальною машиною, аналогові вхідні сигнали обов'язково піддаються аналого-цифрового перетворення (АЦП). В результаті утворюється дискретна змінна визначеної розрядності. Як правило, в ПЛК застосовуються 8 - 12 розрядні перетворювачі, що в більшості випадків, виходячи з сучасних вимог по точності керування технологічними процесами, є достатнім. Крім цього АЦП більш високої розрядності не виправдовують себе, в першу чергу з-за високого рівня індустріальних перешкод, характерних для умов роботи контролерів.

Практично всі модулі аналогового введення є багатоканальними. Вхідний комутатор підключає вхід АЦП до необхідного входу модуля.

Стандартні дискретні і аналогові входи ПЛК здатні задовольнити більшість потреб систем промислової автоматики. Необхідність застосування спеціалізованих входів виникає у випадках, коли безпосередня обробка деякого сигналу програмно утруднена, наприклад, вимагає багато часу.

Найбільш часто ПЛК оснащуються спеціалізованими рахунковими входами для вимірювання тривалості, фіксації фронтів і підрахунку імпульсів.

Наприклад, при вимірі положення і швидкості обертання валу дуже поширені пристрої, що формують певну кількість імпульсів за один оборот - поворотні шифратори. Частота проходження імпульсів може досягати декількох мегагерц. Навіть якщо процесор ПЛК володіє достатнім швидкодією, безпосередній підрахунок імпульсів у програмі користувача буде дуже марнотратним. Тут бажано мати спеціалізований апаратний вхідний блок, здатний провести первинну обробку та сформувати, необхідні для прикладної задачі величини.

Другим поширеним типом спеціалізованих входів є входи здатні дуже швидко запускати задані користувальницькі завдання з перериванням виконання основної програми - входи переривань.

Дискретний вихід також має два стани - включений і вимкнений. Вони потрібні для управління: електромагнітних клапанів, котушок, пускачів, світлові сигналізатори і т. д. загалом сфера їх застосування величезна, і охоплює майже всю промислову автоматику.

Конструктивно ПЛК поділяються на моноблочні, модульні і розподілені. Моноблочні мають фіксований набір входів виходів



В модульних контролерах модулі входів - виходів встановлюються у різному складі і кількості в залежності від майбутньої завдання



У розподілених системах модулі або навіть окремі входу-виходу, що утворюють єдину систему управління, можуть бути рознесені на значні відстані

## **САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №49**

### **ТЕМА: ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ**

#### **МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми**

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

- 1 Двійкова система обробки інформації.
- 2 Восьмирічна система обробки інформації.
- 3 Шістнадцятирічна система обробки інформації.

#### **Література:**

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред.. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд.,перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

### Питання для самоконтролю.

1 Двійкова система обробки інформації.

2 Восьмирична система обробки інформації.

3 Шістнадцятирична система обробки інформації

### Системи числення та їхнє використання

У повсякденному житті ми користуємося 10-ою системою числення. У ній усього 10 цифр: від 0 до 9. Однак існує безліч систем числення й деякі з них застосовуються в комп'ютерній техніці. Наприклад, двійкова система числення включає всього дві цифри 0 й 1, що дозволяє представити (закодувати) будь-яку інформацію (числа, текст, малюнки). А ще двійкове кодування легко реалізується технічно, тобто електронні схеми для обробки двійкових кодів можуть перебувати тільки в одному із двох станів: є сигнал (1) / немає сигналу (0). Так само існують вісімкова (від 0 до 7) і шістнадцяткова (від 0 до F) системи числення, які є дуже зручними при написанні програм, тому що дуже легко переводяться з однієї в іншу.

Десяткова	Двійкова	Вісімкова	Шістнадцяткова
1	2	3	4
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3
4	100	4	4
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D

14	1110	16	E
15	1111	17	F
16	10000	20	10
17	10001	21	11
18	10010	22	12
19	10011	23	13
20	10100	24	14
21	10101	25	15
22	10110	26	16
23	10111	27	17
24	11000	30	18
25	11001	31	19
26	11010	32	1A
27	11011	33	1Y
28	11100	34	1C
29	11101	35	ID
30	11110	36	IE
31	11111	37	IF
32	100000	40	20
127	1111111	177	7F
255	11111111	377	FF
65 535	11111111111111 11	177777	FFFF
4 294 967 295	11111111111111 11 11111111111111 11	377777777777	FFFFFFFF

Щоб із числа в довільній системі числення отримати його подання в іншій (наприклад, десятковій — звичній людині) системі, необхідно підсумувати степені числа вихідної системи числення. Наприклад, число  $A7F_{16} = A \cdot 16^2 + 7 \cdot 16^1 + F \cdot 16^0 = 10 \cdot 256 + 112 + 15 = 2687_{10}$  або  $101101^2 = 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 32 + 8 + 4 + 1 = 45_{10}$ .

Розглянемо тепер алгоритм перекладу числа з десяткової у двійкову систему числення:

1. Розділити число на 2, зафіксувати залишок (0 або 1) і частку.
2. Якщо залишок не дорівнює нулю, знову розділити його на 2.
3. Якщо частка дорівнює нулю, записати всі отримані залишки, починаючи з останнього, зліва на право. Переведемо число  $215_{10}$  у двійкову систему числення

$$\begin{array}{r}
215|2 \\
-214 \\
\hline
1
\end{array}
\begin{array}{r}
107|2 \\
-106 \\
\hline
1
\end{array}
\begin{array}{r}
53|2 \\
-52 \\
\hline
1
\end{array}
\begin{array}{r}
26|2 \\
-26 \\
\hline
0
\end{array}
\begin{array}{r}
13|2 \\
-12 \\
\hline
1
\end{array}
\begin{array}{r}
6|2 \\
-6 \\
\hline
0
\end{array}
\begin{array}{r}
3|2 \\
-2 \\
\hline
1
\end{array}
\begin{array}{r}
1|2 \\
-1 \\
\hline
0
\end{array}$$

Результат  $215_{10} = 11101011$

**САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ № 50**  
**ТЕМА: ІНТЕРФЕЙС МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ**  
**МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми**

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1. Будова, принцип дії інтерфейсу

**Література:**

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Главное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабииков М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

Питання для самоконтролю.

1. Будова, принцип дії інтерфейсу

Загальні принципи організації інтерфейсу мікропроцесора із пристроями уведення-висновку даних: Використовувані в персональних ЕОМ мікропроцесори можуть управляти більшим числом пристроїв уведення-висновку даних.

Тут описані методи керування зовнішніми пристроями мікропроцесорних систем і технічні засоби, використовувані для опису організації уведення-висновку даних у мікропроцесорних системах. Шина даних - це група ліній DO - D7у фізичні засоби зв'язку, що представляють собою, мікропроцесорної системи із зовнішніми пристроями.

Уведення даних -це режим роботи мікропроцесорної системи, при якому

мікропроцесор приймає дані, передані із зовнішнього пристрою (пристрою уведення) по шині даних. Висновок даних - це режим роботи мікропроцесорної системи, при якому мікропроцесор передає дані в зовнішній пристрій (пристрій висновку). Адреса пристрою уведення-висновку - це двійкова адреса, що вказує пристрій уведення-висновку даних, у яке будуть записані або лічені дані.

Адреса пристрою уведення-висновку аналогічний адресі комірки пам'яті, що вказує область пам'яті, у яку будуть записані або з якої будуть лічені дані. Порт - це адреса пристрою уведення-висновку, по якому можуть бути передані дані по шині даних. Зовнішній пристрій - це пристрій, керований мікропроцесором. Зовнішній пристрій має один або кілька портів. Шина керування формується сигналами MEMW, MEMRy 10R і 10W. Ці сигнали управляють записом і читанням даних з пам'яті або пристрою уведення-висновку, а також передачею даних по системній шині даних.

Наприклад, ці сигнали управляють роботою обраного порту уведення-висновку або пристрою пам'яті відповідно до тимчасової діаграми роботи обраного пристрою. Шина керування СВ з'єднується із пристроями уведення-висновку УВВ1 - УВВ3 і із пристроєм "Пам'ять" системи. Шина даних D0 - D7 також з'єднується з усіма пристроями (або портами) системи.

Інтерфейс уведення-висновку даних у різних мікропроцесорних системах може мати особливості, однак можна виділити чотири типи організації інтерфейсу: адресуємий порт; комутується порт, щоМ; лінійний вибір і звертання до пристрою уведення-висновку за аналогією зі зверненням до пам'яті (розподіл адресного простору). Нижче описані технічні засоби для реалізації різних типів інтерфейсу й наведено порівняння їх надійності

Кожному порту привласнюється свій двійковий адресний код. У більшості мікропроцесорних систем (наприклад, систем на основі мікропроцесорів 8080, 8085, Z80) для звертання до зовнішніх пристроїв використовується 8-розрядна шина адреси. У системах на основі мікропроцесорів 6800, 6802, 6502 і сумісних з ними мікропроцесорів адреси зовнішніх пристроїв перевищують 8 розрядів.

Двійковий адресний код привласнюється апаратно порту уведення-висновку даних. З появою адреси порту на шині адреси АО-А7 пристрій, що дешифрує, 1 виробляє сигнал вибору порту // (логічну 1 або 0), подаваний на вхід обраного порту. Інформація буде передана по шині даних у цей порт або із цього порту в мікропроцесор.

Операція уведення-висновку даних з адресуемого порту виконується в наступному порядку: виставляється адреса порту АО-А7 виставляються дані на шині даних D0 - D7, мікропроцесор виробляє сигнал IOR або 10W на обраний порт подається сигнал дозволу читання або записи даних. За допомогою тимчасової діаграми наведену вище послідовність дій можна розглянути з іншої сторони.

Для керування записом даних в обраний порт можна використовувати сигнал вибору порту. Для дешифрування адреси порту можуть використовуватися не всі розряди шини адреси, наприклад у системі з 14 портами уведення-висновку даних можна використовувати чотири розряди адреси. ІС 7485 являє собою 4-розрядний

цифровий компаратор. Коли адреса порту уведення-висновку А0 - А3 дорівнює двійковому коду порту В - В3, на виході 6 з'являється логічна 1. Цей сигнал відкриває схему G1 або G2 (схеми И). Якщо мікропроцесор виробляє сигнал 10W або IOR, на виході схеми G1 або G2 з'являється сигнал звертання до порту уведення-висновку (логічний 0). Ці сигнали відповідають тельки одній адресній комбінації (адресі даного порту) шини адреси й використовуються для запису даних у порт або читання даних з нього. І запис, і читання даних здійснюються через системну шину даних.

Задати код порту уведення-висновку можна за допомогою інтегральних ключів. Вони випускаються в 14-або 16-вивідному корпусі типу DIP (Dual Inline Package) і дозволяють легко змінювати код вибору порту вводу-висновку. Це дає можливість використовувати те саме пристрій уведення-висновку в декількох підсистемах. Пристрій уведення-висновку буде мати в кожній з підсистем різні адреси.

Формуванням і видачею сигналів адреси портів уведення-висновку даних, сигналів керування й даних відповідно до тимчасової діаграми управляє мікропроцесор з убудованим таймером. Мікропроцесор виробляє всі сигнали, необхідні для роботи зовнішніх пристроїв. Якщо у виконуваний програмі зустрічається команда "Виконати операцію уведення-висновку даних", мікропроцесор виробляє відповідні сигнали адреси, даних і керування в потрібні моменти часу

Припустимо, що ці сигнали повинні використовуватися в мікропроцесорній системі. Дешифрування 8-розрядної адреси можна виконати, додавши до 4-розрядному порту 4-розрядний компаратор 7485. Адреси портів можна дешифрувати й за допомогою дешифратора типу "1 з 10" 7442, що використовує всього десять кодів вибору порту уведення-висновку, однак дуже часто цього буває цілком досить.

## **САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №51**

### **ТЕМА: ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ**

#### **МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми**

#### **Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

1. Сприйняття і переробка інформації
2. Внутрішня інформації про стан вузлів, механізмів і систем ПР
3. Забезпечення техніки безпеки

#### **Література:**

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред.. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Главное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Главное изд-во, 1987.

### **Питання для самоконтролю.**

- 1.Спри́йняття і переробка інформації
- 2.Внутрішня інформації про стан вузлів, механізмів і систем ПР
- 3.Забезпечення техніки безпеки

*ІВС* - Сукупність функціонально-об'єднаних вимірювальних, обчислювальних та інших допоміжних технічних засобів отримання вимірювальної інформації, її перетворення, обробки з метою надання споживачу (в тому числі введення в АСУТП - автоматична система управління технологічних процесів) в необхідному вигляді, або з метою автоматичного здійснення логічних функцій вимірювання, контролю, діагностики та ідентифікації.

Залежно від виконуваних функцій ІВС діляться на такі види:

- Вимірювальні системи (ІС);
  - Системи автоматичного контролю (САК);
  - Системи технічної діагностики (СТД);
  - Телевимірювальні системи (ТІС);
  - Системи розпізнавання зразків (СРО);

По області застосування ІВС ділять на групи:

- Для наукових досліджень;
- Для випробувань і контролю складних виробів;
- Для управління технологічними процесами.

За способом комплектування:

- Агрегатовані;
- Неагрегатовані, що складаються з компонентів, спеціально розроблених для конкретних систем.

Агрегатовані ІВС, як правило, включають універсальне ядро - ІВК, на основі якого, використовуючи датчики різних фізичних величин можна будувати ІВС різного призначення.

За структурними ознаками:

- Системи паралельно-послідовної структури. основною ознакою такої структури служить наявність ІК циклічно комутованого з безліччю датчиків;
- Системи паралельної структури, що включають безліч одночасно працюючих каналів, вихідні системи яких перетворюються функціональним єдиним перетворювачем і обробляються в одному обчислювальному пристрої.

Створювана ІВС повинна забезпечувати досягнення поставлених перед нею цілей. Ці цілі можуть бути досягнуті різними способами. Тому повинні бути визначені критерії порівняння різних варіантів - кількісні показники якості ІВС.

Основним показником якості ІВС як СІ, що відображає її призначення і специфіку конкретного застосування, є показник вірогідності видаваної інформації. Для вимірювальних систем (включаючи статистичні) показником достовірності, як і



для всіх СІ, є похибка вимірювання або невизначеність результату вимірювань. Для систем контролю і систем розпізнавання образів достовірність прийнятих рішень характеризується вірогідністю помилок. Більш складна оцінка достовірності результатів, що видаються системами технічної діагностики та системами ідентифікації. Однак вона теж зводиться до деяких імовірнісних характеристик.

При проектуванні ІВС, як і систем будь-якого іншого виду, необхідно керуватися системотехнічним підходом. При цьому слід мати на увазі, що ІВС є деякою ієрархічною структурою, верхнім рівнем якої є обчислювальний пристрій, а нижнім - первинні вимірювальні перетворювачі, що контактують з ІВ. При наявності зворотного зв'язку передача інформації відбувається не тільки від нижніх рівнів до верхніх, але і в зворотному напрямку. На проміжних рівнях також можуть перебувати мікропроцесорні обчислювальні пристрої. Ієрархічність багатоканальних (багатоканальних) ІВС очевидна, але навіть найпростіші одноканальні ІВС мають структуру, яку можна вважати ієрархічною. При цьому слід розрізняти два види ієрархічних структур:

- Функціональну структуру (датчики, вторинні перетворювачі, канали зв'язку, центральна ЕОМ);
- Конструктивну структуру (система, блок, плата, елемент).

## **САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №52**

### **ТЕМА: СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ**

#### **МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми**

#### **Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

1. Призначення системи керування технологічними процесами
2. Класифікація системи керування технологічними процесами..
3. Структура системи керування технологічними процесами.

#### **Література:**

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Главное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

#### **Питання для самоконтролю.**

1. Призначення системи керування технологічними процесами

- 2 Класифікація системи керування технологічними процесами..
- 3 Структура системи керування технологічними процесами.

## Системи керування технологічним процесом

### Автоматизована система керування технологічними процесами (АСК ТП)



Рис1. Приклад пульта оператора

Основні функції, виконувані подібними системами, – контроль і керування, обмін даними, обробка, нагромадження й зберігання інформації, формування сигналів тривоги, побудова графіків і звітів.

Автоматизована система керування технологічними процесами - сукупність апаратно-програмних засобів, що здійснюють контроль і керування виробничими й технологічними процесами; підтримуючи зворотний зв'язок і активно впливаючи на хід процесу при відхиленні його від заданих параметрів; забезпечуючи регулювання й оптимізацію керованого процесу.

Впровадження АСК ТП широко поширюються в різних секторах вітчизняної економіки – нафтовій й газовій промисловості, хімії й нафтохімії, металургії, енергетиці. Останнім часом АСК ТП починають проникати в такі сфери, як керування дорожнім рухом, медицина, машинобудування, ЖКГ. Окремий напрям їхнього застосування становить військова й космічна техніка, де системи автоматизації використовують як убудовані засоби контролю й керування.

Усі АСК ТП діляться на три глобальні класи:

**SCADA** (англ. Supervisory Control And Data Acquisition) — диспетчерське управління і збір даних. Основне призначення системи — контроль і моніторинг об'єктів за участю диспетчера. У вузькому сенсі під терміном «SCADA» розуміють програмний пакет візуалізації технологічного процесу. У широкому розумінні — це клас автоматизованих систем керування технологічним процесом.

**DCS** (англ. Distributed Control System) — розподілена система керування (РСК). Це система керування технологічним процесом, що характеризується побудовою розподіленої системи вводу/виводу та децентралізацією обробки даних. РСК застосовуються переважно для керування неперервними і гібридними технологічними процесами. У першу чергу це стосується процесів, що тривають місяцями і навіть роками, при цьому зупинка процесу, навіть на короткочасний період, може привести до псування продукції, що виготовляється, поломки

технологічного устаткування чи нещасних випадків. Докладніше: Розподілена система керування

**PLC** (англ. Programmable Logic Controller) — програмований логічний контролер (ПЛК). У вузькому розумінні це — апаратний модуль для реалізації алгоритмів автоматизованого керування з використанням логічних операцій, таймерів, і (в деяких моделях) неперервне регулювання відповідно до заданого закону. У широкому розумінні під ПЛК розуміється клас систем. Хоча ПЛК може управляти компонентами системи, що використовуються в SCADA і DCS систем, вони часто є основним компонентом у структурах невеликих систем керування у багатьох галузях виробництва.

### Система автоматичного керування технологічним процесом (САК ТП)

---

Наш час одним з найбільш прогресивних напрямків у загальному розвитку науки й техніки є заміна операцій людини в процесах керування функціонуванням певних технічних пристроїв, тобто автоматизація таких процесів. Це обумовлюється в першу чергу тим, що через фізіологічні й психологічні особливості людини-оператора ефективність процесів керування звичайно не може досягати можливих оптимальних значень. При цьому все більшого значення набуває автоматичне керування Система автоматичного керування технологічним процесом (САК ТП) являє собою сукупність автоматичних керуючих пристроїв і керованого об'єкта, взаємодіючих один з одним без особистої участі людини. Таким чином, САК ТП — чисто технічні пристрої, що безпосередньо виконують заданий алгоритм функціонування установок, що діють незалежно один від одного.

Розрізняють два види САК ТП

**Комплексна автоматизація технологічного процесу** означає автоматичне виконання всього комплексу операції і установок по обробці матеріалів і їх транспортування по завчасно заданій програмі за допомогою різних автоматичних пристроїв, які об'єднані загальною системою управління. В цьому випадку функції людини зводяться до спостереження за ходом процесу, його аналізу і зміни режиму роботи автоматичних пристроїв з метою досягнення найкращих техніко-економічних показників (очищення зерна, кормоприготування).

**Повна автоматизація** покладає виконання функцій вибору і узгодження режимів роботи окремих машин і агрегатів як при нормальному режимі, так і в аварійних ситуаціях не на людину, а на спеціальні автоматичні пристрої. В цьому випадку всі основні і допоміжні установки можуть робити в автоматичному режимі протягом тривалого періоду без участі людини. За обслуговуючим персоналом залишаються функції періодичного огляду, профілактичного ремонту і перебудови всієї системи на новий режим роботи (система керування мікрокліматом).

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №53

### ТЕМА: ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРІВ

#### МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми

#### Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 Приклади використання мікропроцесорних систем.

## Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

## Питання для самоконтролю.

### 1 Приклади використання мікропроцесорних систем.

Стрімке технічний прогрес вимагає все більш ретельного контролю за виробничими процесами, зокрема, отриманням точних даних вимірювання. Для здійснення контролю застосовується спеціальна техніка, різноманітні системи на основі мікропроцесорів.

Мікропроцесорні системи являють собою керуючі або обчислювальні системи, створені на основі мікропроцесорних засобів, що застосовуються автономно або вбудовуваних в керований об'єкт. Системи на основі мікропроцесорів застосовуються в різних галузях промисловості і науки.

Мікропроцесорні системи створюються в результаті комплектації програмно-апаратних засобів. Апаратна частина являє собою систему з типових модулів : центральний процесорний елемент, різні види пам'яті, адаптери, контролери і зовнішні пристрої. Основною проблемою при створенні мікропроцесорних систем залишається розробка програмного забезпечення.

Існують різні види мікропроцесорних систем : мікропроцесорний блок живлення, блок управління, блоки вимірювання та пр.

Мікропроцесорні системи, введені до складу багатофункціональних засобів вимірювання, перетворюють пристрої з жорсткою логікою роботи в програмно-керовані.

Функціональні можливості мікропроцесорних систем визначаються встановленою і виконуваною програмою, шляхом переходу до збереженої в ПЗУ іншій програмі їх можна легко видозмінити. Застосування програми для зміни логіки роботи дозволяє гнучко перебудовувати функціонал, нарощуючи функціональні можливості без істотних змін у схемі приладу при його модернізації.

Вхідні до складу вимірювальних приладів мікропроцесорні системи дозволяють, накопичуючи результати спостережень, обробляти їх за певною програмою.

Основним призначенням мікропроцесорних пристроїв є виконання таких функцій, як передача інформації, управління процесами і перетворення отриманої інформації. Програмуючи логіку роботи, мікропроцесорні пристрої збільшують ефективність роботи обладнання. Тому такі системи сьогодні вельми затребувані в управлінні процесами вимірювання, для отримання підсумкових результатів та

зберігання отриманих даних. Мікропроцесорні системи найчастіше використовуються для отримання статистичних (імовірнісних) характеристик.

Одним з основних переваг мікропроцесорних систем вимірювання є багатофункціональність, яка полягає в можливості заміни цілого вимірювального комплексу одним багатофункціональним, що стає здійсненим завдяки додаванню блоку програм. Кількість додаються програм визначається застосуванням блоком управління і можливостями ПЗУ.

До числа обладнання, в якому застосовуються мікропроцесорні системи, відносяться кріостати.

Дане обладнання застосовується для точного вимірювання температури рідини в діапазоні ут нуля до плюс шістдесят градусів Цельсія, а також як допоміжний в різних лабораторіях.

**САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №54**  
**ТЕМА: БЕЗІНЕРЦІЙНА І ІНЕРЦІЙНА ЛАНКА**  
**МЕТА: оволодіти знаннями про автоматичні системи**

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

- 1 Класифікація. Загальні поняття.
- 2 Безінерційна ланка
- 3 Інерційна ланка

**Література:**

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред.. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Главное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

**Питання для самоконтролю.**

- 1 Класифікація. Загальні поняття.
- 2 Безінерційна ланка
- 3 Інерційна ланка

1.У попередніх лекціях елементи автоматичних систем ми класифікували по функціональним ознакам, тобто за призначенням. Таке поділення елементів зручно, наприклад, при вивченні пристрою та взаємодія їх в автоматичній системі. Однак подібна класифікація не завжди доцільна. Більш зручно елементи класифікувати за їх

динамічними властивостями, оскільки однією з найважливіших задач теорії автоматичного керування є вивчення динамічних процесів у автоматичних системах. В цьому випадку зручним є принцип класифікування елементів по ланкам, які являються своєрідними “кирпичами”, із яких будується “будівля” динаміки автоматичних систем.

### 1). Безінерційна ланка.

Ланку прийнято називати без інерційною, якщо зв'язок між входом та виходом ланки визначається алгебраїчним рівнянням виду:

$$x_{\text{вих}} = kx_{\text{вх}}, \quad (4)$$

де  $k$  – коефіцієнт підсилення ланки;  $x_{\text{вх}}$ ,  $x_{\text{вих}}$  - відповідно вхідна та вихідна його величини.

Цю ланку інколи також називають підсилюючою.

Очевидно, що характер зміни в часі вихідної величини при подачі на вхід збурення, яке дорівнює  $x_{\text{вх}} = \text{const} = A(1)$ , буде визначатися рівнянням (4). Графічно ця залежність наведена нижче:

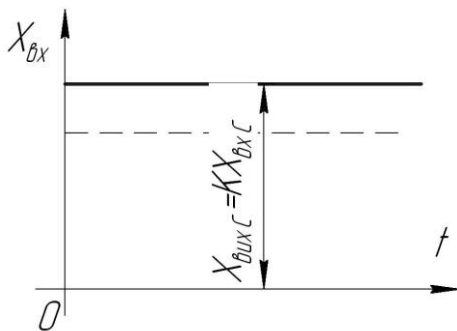


Рис. 2

Прикладом конструктивного виконання такої ланки можуть бути електронна підсилююча лампа, важіль, механічний редуктор (див.рис.1 а,б,в):

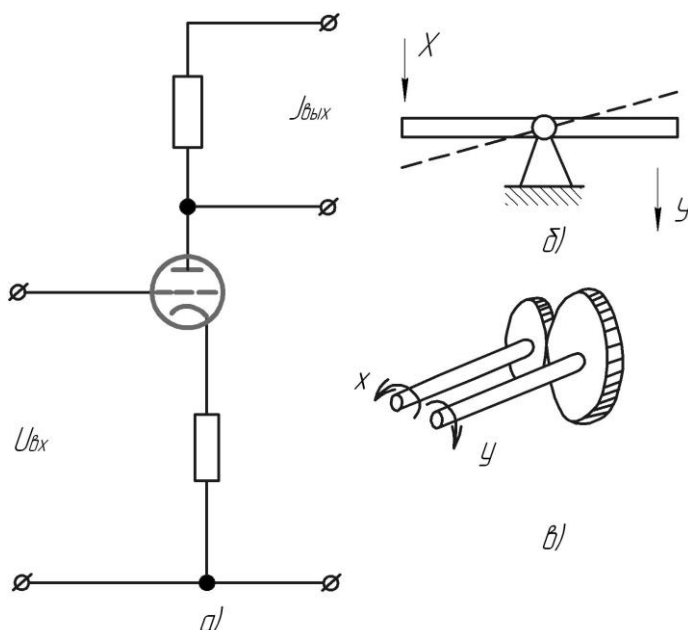


Рис.3

Передавальна функція безінерційної ланки може бути записана як відношення вихідної величини до вхідної в наступному вигляді:

$$W(s) = k \quad (5)$$

Її частотна функція буде мати вигляд:

$$W(j\omega) = k \quad (6)$$

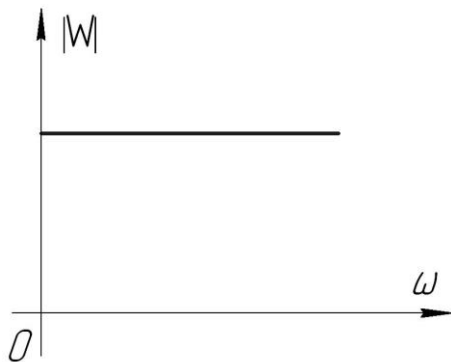
Модуль цього виразу:

$$|W(j\omega)| = k \quad (7)$$

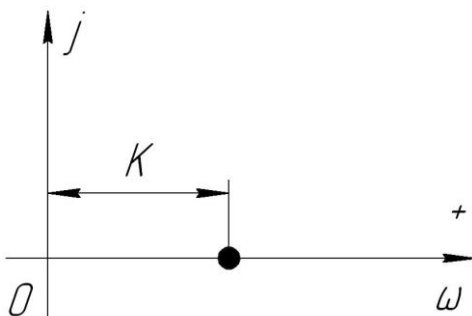
Фазовий кут:

$$\theta(\omega) = \arctg 0 = 0 \quad (8)$$

Амплітудно-фазова характеристика без інерційної ланки, яка побудована по виразу (5), та амплітудно-частотна характеристика, тобто залежність модуля  $W$  від частоти, наведені нижче:



а)



б)

Рис.4

У відповідності до виразу (5) можна визначити і вигляд логарифмічної характеристики:

$$L(\omega) = 20 \lg k, \theta = 0 \quad (9)$$

Тобто амплітудна характеристика представляє собою пряму, яка паралельна вісі абсцис на відстані  $20 \lg W$  від неї, а фазова характеристика показує відсутність фазового зсуву:

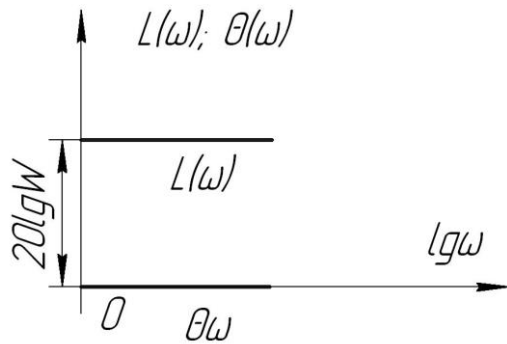


Рис. 5

## 2). Інерційна ланка

Ланка називається інерційною або аперіодичною, якщо зв'язок між входом та виходом ланки визначається диференціальним рівнянням:

$$T x'_{\text{вих}} + x_{\text{вих}} = k x_{\text{х}} \quad (10)$$

де  $T$ - постійна часу ланки.

Характер змінення в часі вихідної величини для інерційної ланки при вказаному вище збуренні та нульових початкових умовах легко отримати, інтегруючи рівняння (1).

Поклавши  $x_{\text{вх}} = \text{const} = A(1)$ , отримуємо:

$$x_{\text{вих}} = k x_{\text{х}} [1 - e^{-t/T}] \quad (11)$$

Графіки цих залежностей наведені нижче:

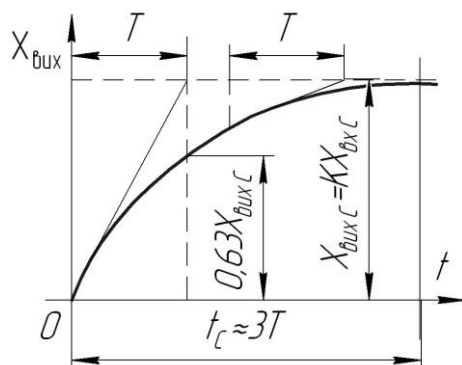


Рис. 6



Друга з них представляє собою експоненту. Якщо така експонента отримана дослідним шляхом, то з неї легко визначити постійну часу ланки  $T$ . Якщо відома величина, то коефіцієнт підсилення ланки буде дорівнювати відношенню сталого значення вихідної величини  $x_{\text{вих с}}$  до вхідної величини, тобто:

$$k = x_{\text{вих с}} / x_{\text{вх}} \quad (12)$$

В якості прикладу конструктивного виконання подібної ланки можна назвати ряд пристроїв: пасивний чотирьохполюсник, який складається із ємності та омичного опору або із індуктивності та омичного опору, термopара, магнітний підсилувач, електричний двигун (якщо вхідною величиною є напруга, а вихідною – кутова швидкість) і т.і.

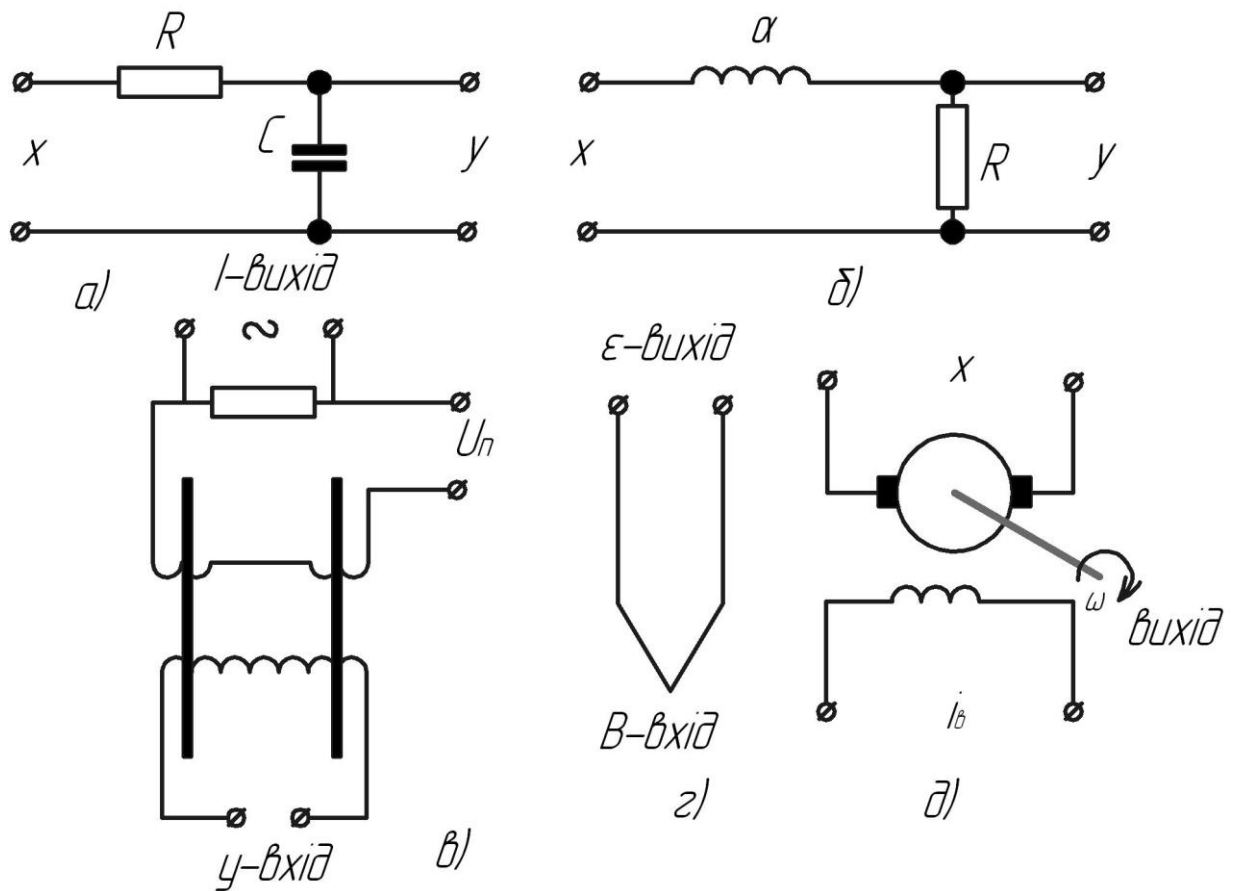


Рис. 7

Передавальна функція інерційної ланки:

$$W(s) = k / Ts + 1 \quad (13)$$

Частотну функцію інерційної ланки отримаємо, якщо у виразі (13) замінимо  $s$  на  $j\omega$ . Тоді:

$$W(j\omega) = k / T(j\omega) + 1 \quad (14)$$

Із виразу (14) визначимо модуль та фазу вектора:

$$|W(j\omega)| = k / \sqrt{(T\omega)^2 + 1} \quad (15)$$

$$\theta(\omega) = \text{arctg}(-\omega T) \quad (16)$$

Амплітудно-фазова характеристика для інерційної ланки, яка побудована за рівнянням (14) для додатніх значень частоти  $\omega$ , амплітудно-частотна та фазово-частотна характеристики наводяться нижче:

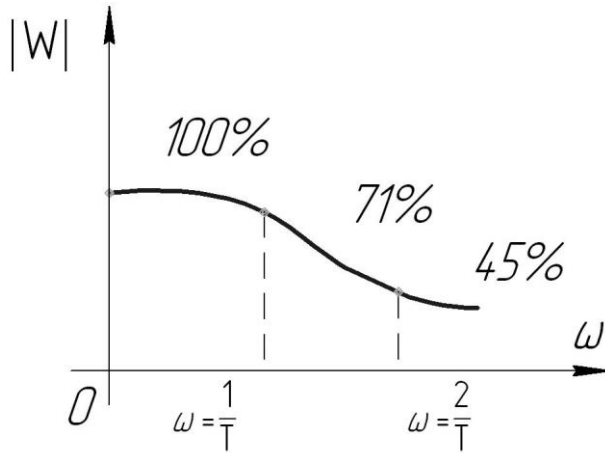


Рис. 8

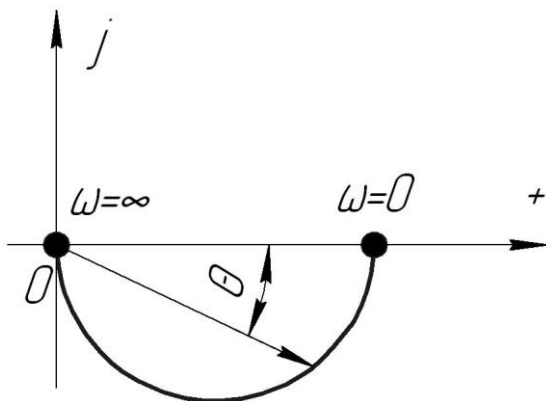


Рис. 9

Знаючи, що частотна характеристика інерційної ланки:

$$W(j\omega) = A(\omega) e^{j\theta(\omega)} = (k / \sqrt{T^2 \omega^2 + 1}) e^{-j \text{arctg}(\omega T)} \quad (17)$$

та логарифмуючи вираз (17), отримуємо:

$$\ln W(j\omega) = \ln k - \ln \sqrt{T^2 \omega^2 + 1} - j \text{arctg}(\omega T)$$

Позначивши відповідно амплітудну та фазову характеристики через  $L(\omega) = 20 \ln A(\omega)$  у децибелах та  $\theta(\omega)$  у градусах, можна написати, що

$$L(\omega) = 20 \lg k - 20 \lg \sqrt{T^2 \omega^2 + 1} \quad (18)$$

та

$$\theta(\omega) = -\arctg(\omega T) \quad (19)$$

Як видно з рівняння (18), шукана логарифмічна амплітудна характеристика дорівнює сумі двох доданків, із яких перший представляє собою постійну величину. Таким чином, форма логарифмічної амплітудної характеристики не залежить від коефіцієнта підсилення ланки  $k$ . Змінення величини  $k$  приводе лише до переміщення характеристики по вісі ординат, тому для визначення виду амплітудної характеристики можна покласти  $k=1$  і у відповідних випадках перемістити її на потрібну величину. Таким чином, при  $k=1$   $20\lg k=0$  і відповідно:

$$L(\omega) = -20\lg \sqrt{T^2 \omega^2 + 1} \quad (20)$$

Аналіз виразу (20) показує, щодля побудови логарифмічної амплітудної частотної характеристики інерційної ланки з параметрами  $k$  та  $T$  потрібно провести пряму, яка паралельна вісі частот і яка відстоїть від неї на величину  $20\lg k$  до частоти  $\omega=1/T$ , а з точки цієї прямої, яка відповідає частоті  $\omega=1/T$ , провести пряму із нахилом, який дорівнює  $20$  дб/дек. Нижче наведені логарифмічні частотні характеристики цієї ланки:

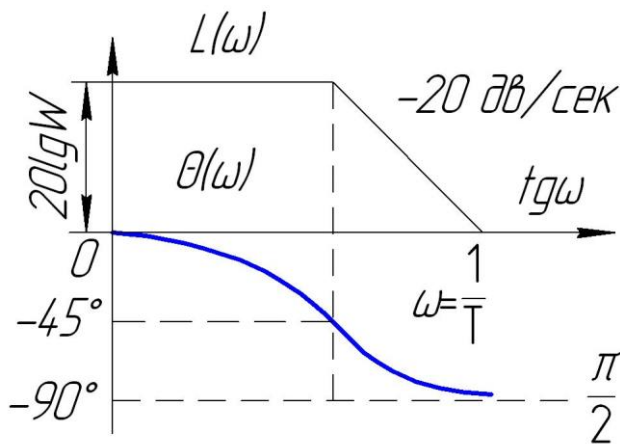


Рис. 10

**САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ № 55**  
**ТЕМА: ЧАСТОТНИЙ КРИТЕРІЙ НАЙКВІСТА**  
**МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми**

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1. Критерій Найквіста
2. Методика розрахунку

**Література:**

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред.. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

Питання для самоконтролю.

1. Критерій Найквіста
2. Методика розрахунку

#### 4. Частотний критерій стійкості Найквіста

Частотний критерій стійкості Найквіста дозволяє по виду частотної характеристики розімкнутої системи судити про стійкість замкнутої системи, тобто він застосовується для замкнутих систем.

Розглянемо функцію, яка пов'язує характеристики розімкнутих і замкнутих систем

$$W(p) = 1 + K(p) = 1 + \frac{B(p)}{A(p)} = \frac{A(p) + B(p)}{A(p)} = \frac{D(p)}{A(p)}, \quad (6)$$

де  $D(p)$  - характеристичний поліном замкнутої системи;  
 $A(p)$  - характеристичний поліном розімкнутої системи.

При цьому ступеня поліномів  $A(p)$  і  $D(p)$  однакові виходячи з умови фізичної реалізованості системи.

У відповідності зі слідством з принципу аргументу

$$\Delta \arg W(j\omega) = \Delta \arg D(j\omega) - \Delta \arg A(j\omega). \quad (7)$$

Розглянемо різні випадки.

Система, стійка в розімкнутому стані.

Так як розімкнена система стійка, то вона не містить коренів у правій півплощині (тобто  $m = 0$ ), для того щоб і замкнута система була стійка, повинна виконуватися умова:

$$\Delta \arg W(j\omega) = \Delta \arg D(j\omega) - \Delta \arg A(j\omega) = n \frac{\pi}{2} - n \frac{\pi}{2} = 0. \quad (8)$$

Графічно це означає, що годограф вектора  $W(j\omega)$  не охоплює початку координат, а вектора  $K(j\omega)$  - точку з координатами  $(-1, j0)$ , як показано на рис. 6. Точка з координатами  $(-1, j0)$  називається критичною.

Формулювання критерію Найквіста:

Замкнута система автоматичного управління стійка, якщо амплітудно-фазова частотна характеристика розімкнутої стійкої системи не охоплює критичну точку.

$$-1 \neq W(j\omega) K(j\omega) + J$$

**Формулировка критерия Найквиста:**  
 Замкнутая система автоматического управления устойчива, если амплитудно-фазовая частотная характеристика разомкнутой устойчивой системы не охватывает критическую точку.

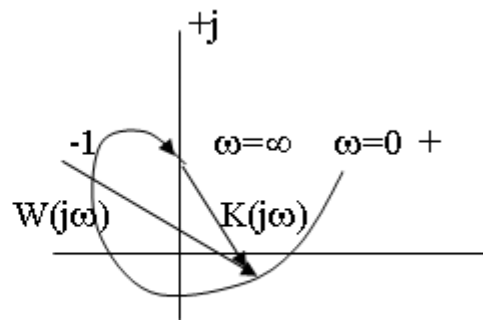


Рис.

Система, нестійка в розімкнутому стані. Так як розімкнена система нестійка, то вона містить  $m$  коренів у правій півплощині, для того, щоб замкнута система була стійкою, повинна виконуватися умова

$$\Delta \arg W(j\omega) = \Delta \arg D(j\omega) - \Delta \arg D(j\omega) = n \frac{\pi}{2} - (n - 2m) \frac{\pi}{2} = 2\pi \frac{m}{2} \quad (9)$$

Графічно це означає, що годограф вектора  $K(j\omega)$  охоплює точку з координатами  $(-1, j0)$   $m/2$  раз.

Формулювання критерію Найквіста: Замкнена система автоматичного керування стійка, якщо амплітудно-фазова частотна характеристика розімкнутої, нестійкою системи, що має  $m$  коренів у правій півплощині, охоплює точку з координатами  $(-1, j0)$   $m/2$ -раз.

Іноді за графіком важко визначити чи охоплює АФХ критичну точку. У цьому випадку можна використовувати правило переходів. Переходами називаються точки перетину АФХ відрізка осі  $(-\infty, -1)$ . Знак переходу визначається за наступним правилом: якщо фаза убуває - перехід негативний. Формулювання критерію Найквіста: Замкнута система автоматичного управління стійка, якщо різниця позитивних і негативних переходів дорівнює  $m/2$ , де  $m$  - кількість коренів у правій півплощині розімкнутої нестійкою системи, тобто

$$S^{\oplus} - S^{\ominus} = M/2$$

### САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №56

#### ТЕМА: ВИКОНАВЧІ ЕЛЕМЕНТИ. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

#### МЕТА: оволодіти знаннями про автоматичні системи

#### Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Класифікація. Загальні поняття.
- 2 Виконавчі елементи

#### Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

### **Питання для самоконтролю.**

1 Класифікація. Загальні поняття.

2 Виконавчі елементи

Виконавчий елемент (ВЕ) - функціональний елемент АСК, що здійснює вплив на об'єкт керування шляхом зміни потоку енергії й потоку матеріалів, що надходять на об'єкт. Виконавчі елементи в основному бувають двох типів:

- с механічним виходом (сервомотор, серводвигун або сервопривод), у цьому випадку виконавчий елемент робить механічне переміщення регульовального органа;

- с електричним виходом, у цьому випадку вплив, що безпосередньо прикладається до об'єкта регулювання, має електричну природу.

Наприклад, у регуляторі напруги генератора постійного струму регулюючим впливом є напруга порушення, одержуване від підсилювача.

Залежно від характеру об'єкта й виду допоміжної енергії, застосовуваної в системі автоматичного керування, роль виконавчих елементів виконують самі різні конструктивні елементи: електронні, електромашинні, магнітні або напівпровідникові підсилювачі, реле, пневматичні або гідравлічні сервомотори й ін.

Динамічні характеристики виконавчих елементів з механічним виходом відрізняються значно більшою інерційністю, чому елементи з електричним виходом. Часто виконавчі елементи 2-го типу служать приводом виконавчих елементів 1-го типу.

Сервоелектродвигуни, застосовувані в якості виконавчих елементів з механічним виходом, відрізняються спеціальним виконанням, що забезпечують знижену інерційність (подовженим ротором малого діаметра, порожнім ротором). Значно меншу інерційність при тій же потужності мають гідравлічні й пневматичні серводвигуни.

Виконавчий механізм (ВМ) або сервопривод - виконавчий елемент із механічним виходом. ЇМ класифікують по призначенню й типу керованих елементів, виду здійснюваних переміщень, роду застосовуваної енергії.

ЇМ призначають для привода:

- елементів, що регулюють потоки енергії, рідини, газу, сипучих і переміщуваних твердих тіл (реостатів, клапанів, засувок і заслінок, насосів, шлагбаумів і т.д.);

- елементів, що стежать систем (копіювальних верстатів, маніпуляторів, авто компенсаторів, що регулюють і інших пристроїв);
- кермових пристроїв транспортних об'єктів;
- особливих елементів систем керування (противаг у вантажопідійомних спорудженнях, затискних автоматичних пристроїв і т.п.).

До контрольних елементів ВМ ставляться:

- механізм зворотного зв'язку, що визначає характеристику регулятора або, що забезпечує передачу сигналу на дистанційний показчик положення ВМ;
- кінцеві або шляхові вимикачі, які зупиняють ВМ у крайніх, а іноді й проміжних положеннях (трипозиційний ВМ), і кінцеві вимикачі, у деяких випадках виконуючі сигнальні функції;
- вимірник обертаючого моменту на вихідній осі ВМ, що забезпечує вимикання двигуна або його проковзування в спеціальній муфті після досягнення гранично припустимого моменту, що необхідно для одержання запірного або затискної дії або запобігання його від аварій у випадку влучення під керований пристрій сторонніх предметів;
- гальмовий пристрій швидкохідних двигунів для боротьби з інерцією при зупинці;
- засувка з вимикачем головного соленоїда й спускне, що розчіплює пристрій у виконавчому механізмі із соленоїдами великої потужності.

У більшості електричних ІМ потужність електродвигунів 10... 1000 Вт. Пневматичні НІМ працюють при тисках до 0,6 МПа, а гідравлічні - до 3 МПа. У деяких випадках потужність досягає десятків кіловатів, а тиск - 10 МПа. ІМ звичайно розбудовують на вихідному валу обертаючий момент від 1 до 100 Н·м при кількості робочих обертів від 0,25 до 30 с<sup>-1</sup> або підсилення від 100 до 5000 Н при ході от 25 до 750 мм.

У приладах точної механіки застосовують ІМ з меншими обертаючими моментами, що й переставляють зусиллями. Час перестановки пристрою керованого ІМ з одного крайнього положення в інше звичайно перебуває в межах 5... 120 с. Час перестановки більш 120 з можна побільшати за допомогою регуляторів переривчастого (крокового) дії, щоб не ускладнювати надмірно редуктор. Час перестановки соленоїдних, а також дозуючих і аварійних ІМ доходить до часток секунд.

Виконавчий механізм електричний (ВМЕ) - ВМ у якому переміщення регулювального органа проводиться за рахунок електричної енергії. Виділяють два базових типи:

- с приводом від електродвигуна (найбільше широко поширені в схемах загальнопромислової автоматики);
- с приводом від електромагніту (звичайно соленоїда).

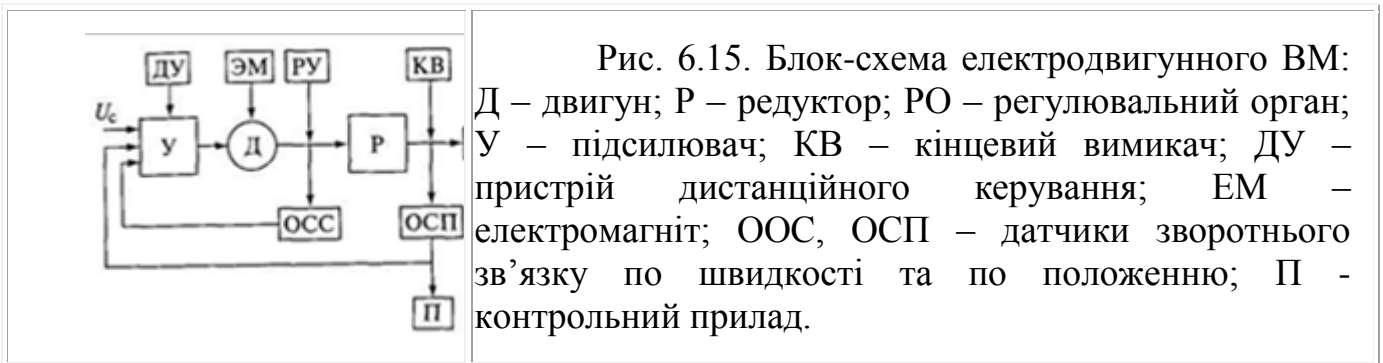
В ВМЕ застосовуються асинхронні двигуни. Для виконавчих пристроїв малої потужності - двофазні з короткозамкненим або порожнім ротором, для могутніших - трифазні з короткозамкненим або масивним ротором. Для зменшення вибігу

двигуна й поліпшення якості регулювання використовується електричне гальмування або електромагнітні гальма, які накладаються при знятті із двигуна напруги живлення.

Керування ВМЕ за допомогою відповідних зворотних зв'язків можна побудувати так, щоб переміщення регулювального органа або швидкість його руху змінювалися пропорційно сигналу керування.

Конструктивно ВМЕ виконуються, як правило, з обертовим рухом вихідного вала й рідше з поступальним переміщенням вихідного штока. У системах загальнопромислової автоматики для привода заслінок, кранів, шиберів і інших пристроїв найбільше часто застосовуються однооборотні ВМЕ, у яких поворот вихідного вала становить 120... 170. За допомогою багатооборотних ВМЕ керують регулювальними органами (запірні вентиля, засувки).

Блок-схема електродвигунного ВМ представлена на рис.6.15. Вона працює в такий спосіб. Двигун Д через редуктор Р переміщає регулювальний орган РО. Сигнал  $U_c$ , що надходить на вхід ЕИМ, має звичайно недостатню потужність для керування двигуном, тому він попередньо підсилюється підсилювачем У. Кінцеві вимикачі КВ служать для обмеження переміщення РО. Оператор може встановлювати РО за допомогою пристрою дистанційного керування ДУ, контролюючи його положення приладом П, а при несправності ДУ - штурвалом ручного керування РУ. Датчики зворотного зв'язку по положенню ОСП, виконувані у вигляді потенціометрів, індуктивних датчиків або лінійних індукційних потенціометрів, і датчики зворотному зв'язку по швидкості ОСС, виконувані у вигляді тахогенераторів постійного або змінного токи, служать для введення додаткових сигналів, необхідних для одержання необхідних характеристик від ВМЕ.



Номінальний момент  $M$  на вихідному валу й час  $T$  повного оберту вихідного вала, тобто швидкодія, є основними характеристиками ВМЕ. Потужність на валу двигуна  $P$ , необхідна для забезпечення заданих часу  $T$  и моменту  $M$ , визначається по формулі

$$P = \frac{61,5M}{T\eta},$$

де  $\eta$  - ККД редуктора.

Інерційність привода ВМЕ (час від початку руху регулювального органа до встановлення повної швидкості) залежить від співвідношення між пусковим моментом двигуна й моментом інерції привода ( $M_n \gg 2...2,5 M_n$ ). Важливою характеристикою ВМЕ є час запізнювання - час від моменту подачі сигналу до початку обертання вихідного вала.



**САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №57**  
**ТЕМА: РІЗНОВИДНОСТІ КОНТАКТІВ РЕЛЕ**  
**МЕТА: оволодіти знаннями про виконавчі елементи**

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення.**

- 1 Класифікація. Загальні поняття.
- 2 Види контактів реле
- 3 Області застосування

**Література:**

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред.. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд.,перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Баби́ков М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

**Питання для самоконтролю.**

- 1 Класифікація. Загальні поняття.
- 2 Види контактів реле
- 3 Області застосування

**Контакти реле.**

Контакти реле відносяться до рухливих розривних контактних з'єднань і являють собою конструктивні вузли у виді двох (або декількох) провідників, ізольованих друг від друга і здатних замикатися при зближенні контактуючих тіл або розмикатися при їхньому расходжені.

Контакти реле виконують функції комутуючого органа в контактних реле й у значній мірі визначають надійність їхньої роботи.

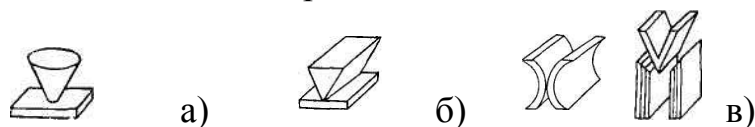


Рис. Форми контактних поверхонь: а - крапкові; б - лінійні; в – плоскі.

Для нормальної роботи реле контакти повинні задовольняти основним вимогам:

- забезпечувати надійність електричного з'єднання; мати малий і стабільний перехідний опір;
- не мати вібрацій при включенні й у робочому стані; володіти високою електро і теплопровідністю;
- бути стійкими проти зовнішніх впливів (зміни температури, вологості і т.п.);

- володіти зносостійкістю,
- забезпечувати необхідну потужність керування.

У найпростішому випадку контакти реле утворюють контактну пару, у якій один з контактів є рухливим, а іншої - нерухомим. У замкненому стані робочі поверхні контактів притискаються друг до друга з деяким контактним зусиллям  $R_k$ , забезпечуваним контактними пружинами, на яких зміцнюються контакти.

Напруга, що прикладається до контактів, не повинне перевищувати напруга пробою між контактним проміжком, що залежить від форми контактів, відстані між ними, частоти що комутирується перемінного струму, середовища, у яку поміщені контакти, і т.д..

У процесі роботи контакти піддаються зносу, що обумовлюється механічними, хімічними й електричними явищами.

**Механічний знос** контактів викликаний зіткненням і ковзанням контактів при їхньому замиканні і розмиканні. При цьому ступінь зносу залежить від форми і матеріалу контактів, а також від стану контактних поверхонь.

**Хімічний знос** (корозія) контактів обумовлений взаємодією матеріалів контактів з парами або газами, що утримуються в навколишньому середовищі.

**Електричний знос** (ерозія) контактів зв'язаний із плавленням, випаровуванням і розпиленням матеріалу контактів при утворенні між ними в процесі комутації іскри або дуги.

Електрична дуга виникає в тому випадку, якщо струм і напруга в ланцюзі, що розмикається, більше деяких мінімальних значень, що мають визначену величину для кожного контактного матеріалу.

Для збільшення терміну служби контактів і підвищення розривних потужностей у ряді випадків використовують спеціальні конструкції контактів, наприклад, контакти, поміщені в балон (скляний або металевий) з вакуумом, що утрудняє утворення дуги. Для розриву ланцюгів з великими струмами служать ртутні контакти, що представляють собою скляний балон, усередині якого маються два сталевих провідники, роль рухливого контакту виконує ртуть, при повороті балона на невеликий кут ртуть замикає або розмикає контакти. Ртутні контакти забезпечують розрив ланцюга зі струмом 10-25 А при напрузі 120-250 В.

Знос контактів, обумовлений ерозією, супроводжується зміною їхньої форми, розмірів і ваги, між контактних відстаней, фізичних властивостей матеріалів і т.д..

Зносостійкість контактів характеризується числом замикань (розмикання) при визначеній розривній потужності, після якого параметри контактів не виходять за припустимі межі. Так, для срібних контактів число замикань при розривній потужності до 100 Вт складає 105-М06, для платинових контактів при розривній потужності до 180 Вт-104-М05, для вольфрамових контактів при розривній потужності до 300 Ут-104-М05.

Надійність контактів характеризується числом відмовлень на 10<sup>6</sup> циклов замикання (розмикання). Відмовлення можуть мати місце або внаслідок короткого замикання контактів (при розмиканні), або внаслідок відсутності електропровідності (при замиканні). Дослідні дані показують, що число відмовлень на 10<sup>6</sup> циклів замикання (розмикання) може складати кілька десятків. Для підвищення надійності необхідне виконання умов, що забезпечують найменшу ерозію і корозію контактів. Надійність збільшується на порядок при використанні подвійних контактів, розташованих на одній і тій же контактній пружині, тому що імовірність одночасного відмовлення двох контактів менше, ніж імовірність відмовлення одного контакту.

По виконуваних функціях контакти реле поділяються на наступні основні групи:

- а) замикаючі;
- б) що розмикають;
- в) перемикаючі.

Замикаючі контакти є нормально розімкнутими і замикаються при спрацьовуванні реле, що розмикають нормально замкнутими і розмикаються при спрацьовуванні реле; перемикаючі контакти являють собою систему з двох нерухомих і одного рухомого контактів; останній при спрацьовуванні реле замикає один і тим часом розмикає інший контакт. Перемикаючі контакти встановлюють таким чином, щоб при спрацьовуванні реле спочатку розмикались нормально замкнуті контакти, а потім замикались нормально розімкнуті контакти. З зазначених контактних груп створюються контактні системи різних реле.

Електричні контактні реле

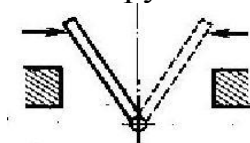
Електричні контактні реле являють собою пристрій, у яких вхідна електрична величина (струм, напруга, частота) перетворюється в механічні переміщення рухливої частини, зв'язаної з контактною системою (тоді ці реле часто називають електромеханічними). При подачі на вхід сигнал визначеної величини механічне переміщення рухливої частини реле забезпечує замикання або розмикання контактів, включених у керований ланцюг.

Електричні контактні реле розділяються на:

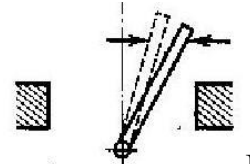
- електромагнітні,
- магнітоелектричні,
- електродинамічні,
- індукційні,
- резонансні,
- магнітострикційні,
- п'єзоелектричні,
- електростатичні й ін.

Якір може закріплюватися на осях або пружині.

Двопозиційні : реле при знятті напруги якір залишається у контакту в якому був до зняття напруги.

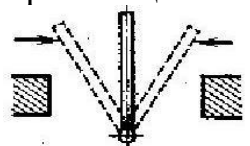


Двопозиційне з перевагою.



Контакти розташовуються на одну сторону нейтралі і серцевина реле відбувається при одному певному напрямку струму.

Трипозиційні



В залежності від напрямку струму якір буде в лівому або правому положенні. При знятті напруги якір нейтральне положення.

**САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ № 58**  
**ТЕМА: ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПОЛЯРИЗОВАНІ РЕЛЕ**  
**МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми**

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1. Електромагнітні поляризовані реле

**Література:**

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Главное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

Питання для самоконтролю.

1. Електромагнітні поляризовані реле

На відміну від розглянутих раніше нейтральних електромагнітних реле, у поляризованого реле напрямок електромагнітного зусилля залежить від полярності сигналу постійного струму в обмотці. Поляризація цих реле здійснюється за допомогою постійного магніту.

Існує багато конструктивних різновидів поляризованих реле, які класифікуються по ряду ознак. За конструктивною схемою магнітного ланцюга розрізняють реле з послідовної, паралельної (диференціальної) і бруківці магнітними ланцюгами, по числу обмоток керування - одно й багатообмоткові, по способу настроювання контактів (числу стійких положень якоря) - дво- і трипозиційні.

Поляризовані реле можуть бути використані також у якості віброперетворювачів, але найбільше поширення вони одержали в малопотужній автоматичній, особливо в системах, що стежать, при керуванні реверсивними двигунами.

До переваг поляризованих реле ставляться: висока чутливість, яка характеризується малою потужністю спрацьовування й становить 10-5 Вт; великий коефіцієнт керування; малий час спрацьовування (мс).

Недоліки в порівнянні з нейтральними електромагнітними реле наступні: трохи складніше конструкція; більші габаритні розміри, вага й вартість.

У поляризовані реле використовують диференціальні й мостові схеми магнітних ланцюгів, які мають багато різновидів (назва ланцюгів визначається типом електричної схеми заміщення електромагнітної системи). На рис.8.18 зображене поляризоване реле з диференціальною схемою магнітного ланцюга.

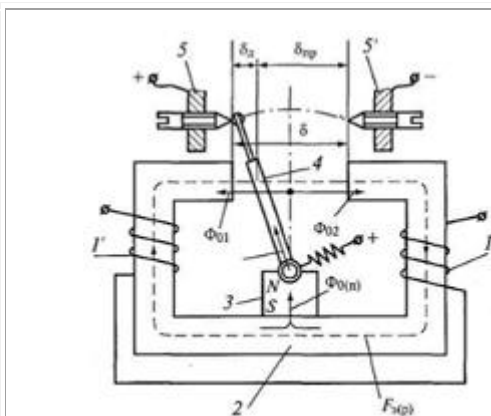


Рис. 8.17.

Поляризоване реле з диференційною схемою магнітного кола: 1, 1' – котушки намагнічення; 2 – ярмо; 3 – постійний магніт; 4 – ярмір; 5, 5' – контакти.

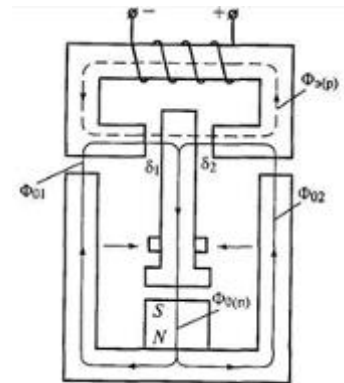


Рис.

8.18. Поляризоване реле з мостовою схемою магнітного кола.

На ярмір реле діє два незалежні друг від друга потоки: потік  $\Phi_0(p)$ , створюваний постійним магнітом 3 і не залежний від робочого стану схеми, у яку включено реле, і робітник (керуючий) потік  $\Phi_3(p)$ , створюваний котушками, що намагнічують, 1 і 1' і залежний від струму, що протікає по їхніх обмотках.

Електромагнітне зусилля, що діє на ярмір 4, залежить, таким чином, від сумарної дії потоків  $\Phi_3(p)$  і  $\Phi_0(p)$ . Зміна напрямку електромагнітного зусилля при зміні полярності струму в робочій обмотці відбувається внаслідок того, що змінюється напрямок робочого потоку відносно потоку поляризації.

Потік поляризації  $\Phi_0(p)$  проходить по ярмору й розгалужується на дві частини -  $\Phi_{01}$  і  $\Phi_{02}$  відповідно до провідностей повітряних зазорів ліворуч  $\delta_l$  і праворуч  $\delta_{pr}$  від ярмору. Залежно від полярності керуючого сигналу робочий потік  $\Phi_3(p)$  віднімається з потоку  $\Phi_{01}$  у зазорі ліворуч від ярмору й додається до потоку  $\Phi_{02}$  праворуч від ярмору (як показано на рис.8.17), або навпаки. У випадку, показаному на малюнку, ярмір перекинеться з лівого положення в праве. При вимиканні сигналу ярмір буде перебувати в тому положенні, яке він займав до вимикання сигналу. Таким чином, результуюче електромагнітне підсилення, котре діє на ярмір, буде спрямовано до того зазору, де магнітні потоки підсумуються.

У поляризованому реле з мостовою схемою магнітного ланцюга (рис. 8.18) сили притягання ярмору, включеного в одну з діагоналей цієї схеми, діють так само, як і в диференціальній схемі, тобто в повітряному зазорі з однієї сторони ярмору робочий потік  $\Phi_3(p)$  спрямований згідно з потоком поляризації  $\Phi_0(p)$ , а з іншого - зустрічно. Мостові схеми поляризованих реле мають більш високу стабільність параметрів і стійкість до зовнішніх механічних впливів.

Поляризовані реле випускаються трьох видів налаштування. Реле, зображене на рис.8.17, є двопозиційним. Якщо нерухливі контакти 5 і 5' симетрично розташовані щодо нейтральної лінії (ярмір відрегульований симетрично), то при вимиканні керуючого сигналу ярмір реле залишається в тому ж положенні, яке він займав при

наявності керуючого сигналу. Повторне включення керуючого сигналу колишньої полярності не викличе зміни положення якоря. Якщо змінити полярність керуючого сигналу, то якір перекинетися в інше положення й залишиться в ньому після зняття сигналу. Таке налаштування називається нейтральної або двопозиційної.

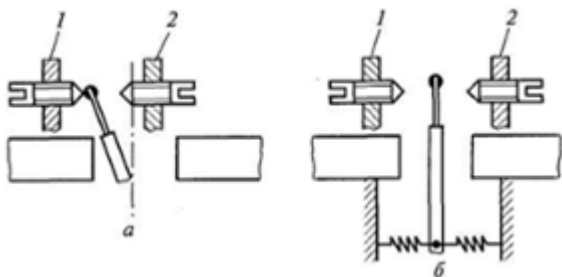


Рис. 8.19. Способи регулювання контактів поляризованого реле: а – двопозиційне з притисненням до одного з контактів; б – трипозиційне; 1, 2 – контакти.

Якщо (рис. 8.19, а) один з контактів 1 або 2 висунуть за нейтральну лінію, то реле є двопозиційним з перевагою до одному з контактів. У цьому випадку при виключеному реле якір завжди притиснуто до лівого контакту 1 ( до правого контакту 2, якщо за нейтральну лінію висунуть лівий контакт) і перекидається вправо лише на час протікання в керуючій обмотці струму відповідної до полярності.

Трипозиційне реле має симетрично розташовані від нейтральної лінії нерухливі контакти (рис. 8.19, б). Якір при відсутності керуючого сигналу втримується в середньому положенні за допомогою спеціальних пружин, розташованих із двох сторін, або закріплюється на плоскій пружині, пружність якої створює стійке положення рівноваги в середньому положенні. При подачі сигналу в керуючу обмотку контакт на якорі замикається з лівим або правим контактом ( залежно від полярності сигналу) і вертається в нейтральне положення після зняття сигналу.

Поляризовані реле знаходять широке застосування в схемах автоматики завдяки своїм характерним рисам. Наявність декількох обмоток дозволяє використовувати їх як логічні елементи, невелика потужність спрацьовування - у якості елементів контролю невеликих електричних сигналів, малий час спрацьовування й чутливість до полярності вхідних сигналів - у якості амплітудних модуляторів і демодуляторів. Завдяки високій чутливості поляризовані реле часто використовують у малопотужних ланцюгах змінного струму із включенням через випрямляч.

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №59

### ТЕМА: ГЕРКОНИ ТА КРОКОВІ ШУКАЧІ

### МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми

#### Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Будова принцип дії геркону.
- 2 Будова принцип дії крокового шукача.
- 3 Області застосування.

## Література:

- 1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.
- 2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990
- 3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г
- 4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.
- 5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.
- 6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

## Питання для самоконтролю.

- 1 Будова принцип дії геркону.
- 2 Будова принцип дії крокового шукача.
- 3 Області застосування.

1Крокові шукачі (розподільники) часто застосовуються в телемеханіці й автоматичі. Шукачі називаються кроковими тому, що їхньої щітки переходять із контакту на контакт по черзі, крок за кроком. Принцип дії. Він складається з контактної поля, щіток і привода. Контактне поле збирається з окремих ізольованих друг від друга пластин (іноді їх називають ламелями), розташованих паралельними рядами. Щітки складаються із двох паралельних пружин, (кінці яких охоплюють пластини поля шукача.

Привод складається з електромагніта постійного струму й рушійного механізму. Якщо кнопкою До включити електромагніт ЕМ, то він притягне якір Я, що за допомогою собачки З поверне храпове колесо Х на один зуб і, отже, перемістить щітку Щ с тієї пластини, де вона перебувала, на наступну. Щоб щітка зробила ще один крок, необхідно відпустити кнопку й знову нажати. При відключенні ЕМ якір відтягнеться пружиною, собачка перескочить на наступний зуб і пригорнеться до храповика пружиною П2.

При включенні ЕМ храповик повернеться ще на один зуб. Таким чином, при включеннях - відключеннях електромагніта щітка шукача переходить із пластини на пластину. У схемах із кроковими шукачами замість кнопки використовується яке-небудь джерело імпульсів, наприклад пульс пари. У шукачів зі зворотним приводом пересування щітки відбувається не при включенні електромагніта, а при його відключенні, під дією сильної пружини П1 яка при включенні електромагніта тільки натягається.

Контактні пластини крокових шукачів розташовуються або по дузі в  $120^\circ$ , або по дузі в  $180^\circ$ . У першому випадку застосовують три променеві щітки, у другому й третьому - двох променеві або однопроменеві. У вихідному положенні щітки перебувають на

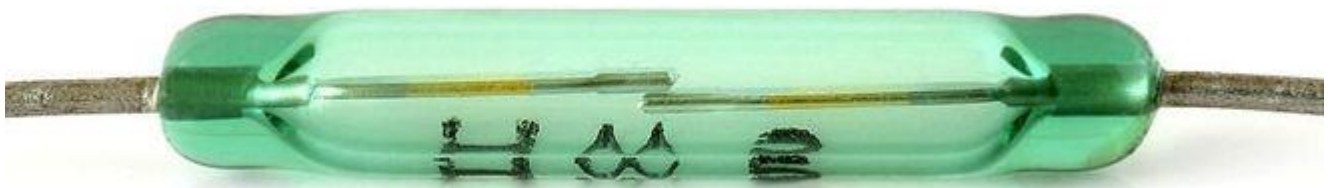
першій і останньої контактних пластинах. В. час руху трьох променевих і двох променевих щіток один промінь рухається по пластинах, а іншої (інші) виходять із поля. У шукачів з однопроменевими щітками дві щітки, спрямовані в різні сторони, з'єднані перемичкою. Спочатку працює одна щітка, потім - інша.

2 Геркон – це герметизовані контакти (герметизований вимикач іншими словами), який управляється магнітним полем.

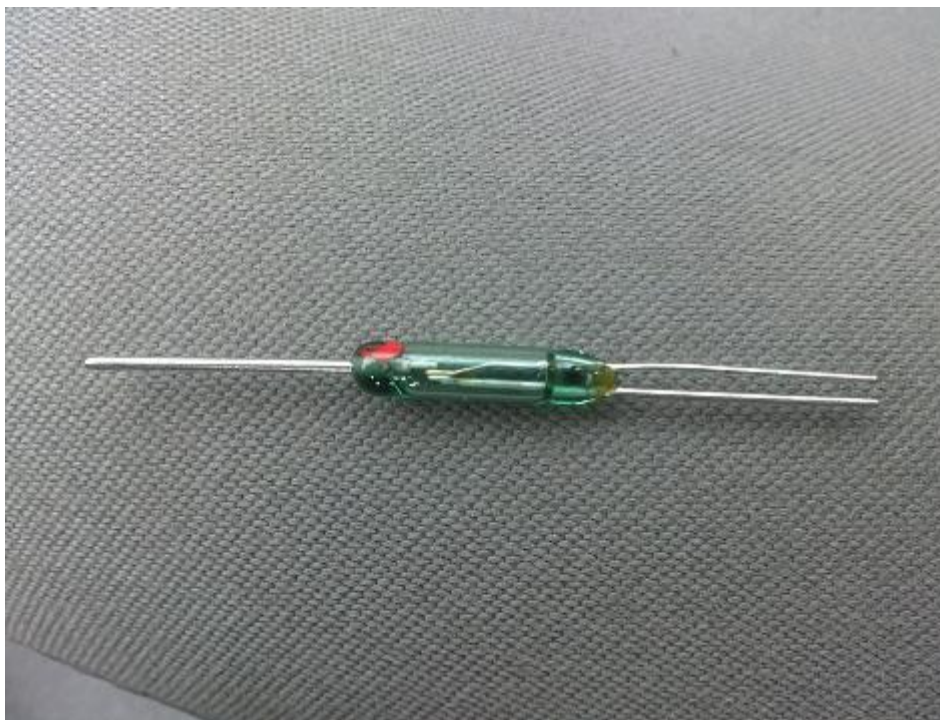
Є кілька різновидів герконів – з нормально замкнутими контактами,



з нормально роз'єднаними,



перемикаючі.





Застосовують геркони в дуже багатьох випадках – в системах автоматики, сигналізації, датчики, комутація сигналів і т. П. Словом скрізь, де треба замикати / розмикати електричний ланцюг.

Працює геркон наступним чином. За відсутності магнітного поля контакти геркона розімкнуті (беремо для прикладу геркон з нормально роз'єднаними контактами). При виникненні навколо нього магнітного поля певної напруженості контакти притягуються один до одного і замикають електричний ланцюг. Створити магнітне поле можна наближенням постійного магніту, його переміщенням щодо геркона, електричної котушкою.

Широко поширені герконові реле в апаратурі зв'язку.



Приблизно на таких реле була побудована перша в СРСР квазіелектронні автоматична телефонна станція "КВАНТ".

Переваги герконів:

- великий час служби
- слабке обгорання контактної групи при замиканнях
- іскрозащитне виконання (що в деяких випадках має важливе значення)
- вище швидкодія, порівняно зі звичайними контактами.

Недоліки:

- сприйнятливність до зовнішнього магнітного поля
- наявність брязкоту контактів (для придушення одного є геркони з крапелькою ртуті всередині скляного корпусу)
- крихкість.

## **САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ № 60**

### **ТЕМА: ІНДУКТИВНІ РЕЛЕ**

#### **МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми**

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 індуктивні реле

#### **Література:**

1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.

2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

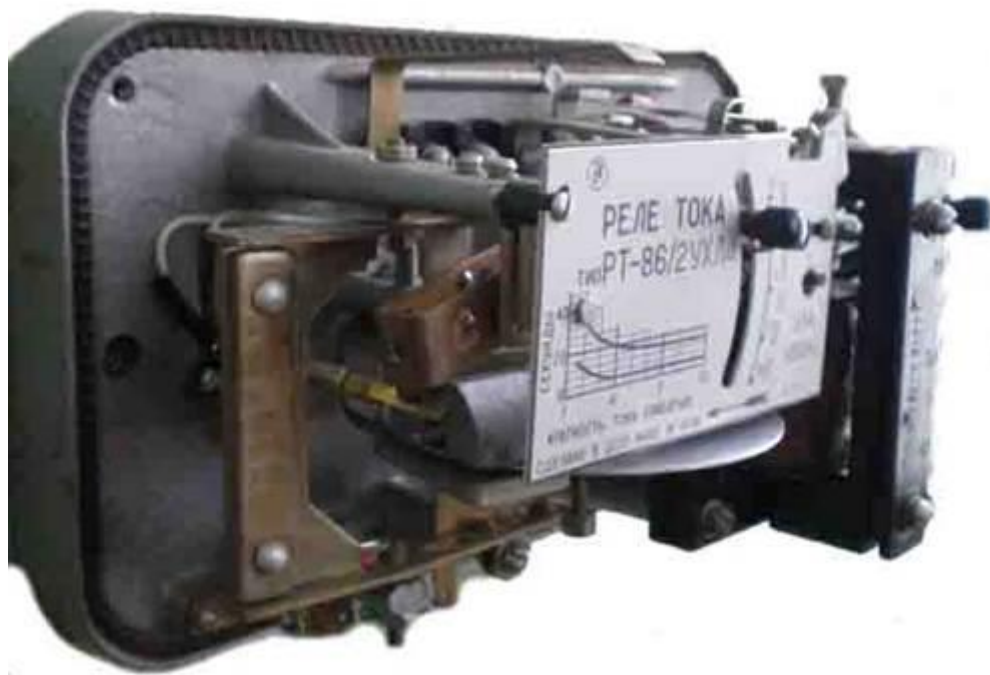
5 Основы электроники и микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

6 Бабииков М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

Питання для самоконтролю.

1. індуктивні реле.

## 1 Індукційні вимірювальні реле. Реле струму РТ – 80, РТ - 90



Ці реле є комбінованими. Індукційний елемент з диском створює обмежено залежну витримку часу, а електромагнітний елемент миттєвої дії спрацьовує при великій кратності струму в обмотці реле. Вони використовуються для захисту від перевантажень і КЗ. Чим більший струм, тим менша витримка часу. Обмежено залежна характеристика витримки часу означає, що при збільшенні струму більше ніж на  $7 I_{с.р}$  для РТ-80 і  $4 I_{с.р}$  для РТ-90, витримка часу не залежить від кратності струму, що проходить через обмотку. Реле РТ-85, РТ-86, РТ-95 мають підсиленні перемикаючі контакти, завдяки яким можна дешунтувати електромагніт вимкнення. За допомогою гвинта встановлюється кратність струму спрацювання відсічки до струму спрацювання МСЗ, а не величина струму. При спрацюванні електромагнітного елемента реле діє без витримки часу.

Переваги реле: можливість виконання захисту на одному реле, швидкодіючий від КЗ, а від перевантажень з витримкою часу, яка пропорційна струму перевантажень. Недоліки: складність, значна споживана потужність при спрацюванні.

**САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ № 61**  
**ТЕМА: МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНІ РЕЛЕ**  
**МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми**

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1. магнітоелектричні реле.

**Література:**

1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред.. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.

2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

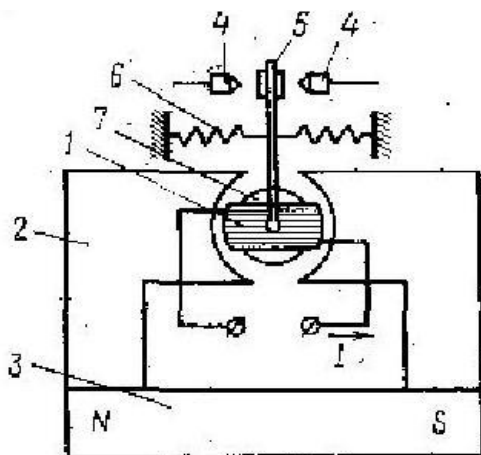
5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

Питання для самоконтролю.

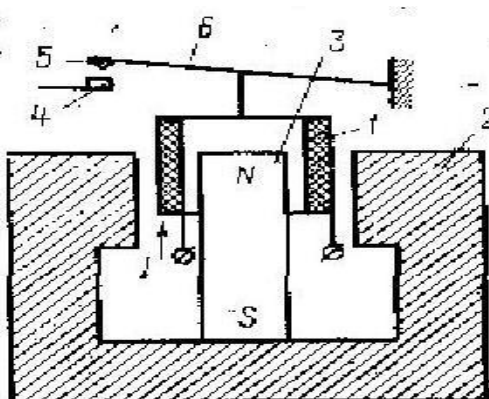
1. магнітоелектричні реле.

2 Принцип дії оснований на взаємодії між потоком, який створює постійний магніт і струмом в провіднику, розміщено в магнітному колі.



- 1.Рамка з обмоток.
2. Магнітопровід.
- 4.Нерухоми контакт
- 3.Постійний магніт.
- 5.Рухоми контакт.
6. Пружина.
7. Кругле осердя.

В результаті взаємодії струму в рухомій рамці 1 з потоком магніту 3 створюється обертальний момент, який повертає рамку і зв'язаний з ним рухом контакт. Напрямок руху обертання визначається напрямком походження струму.



Пружина виготовляють із олівянистоцинкової або фосфоритної бронзи і твердо контактного скребла. Вони служать також для підводу струму до обмотки. Контактні зусилля невеликі (10 Н), тому контакти виконуються з платини або платино-іридія.

Потужність керування 10 ват -10 струм спрямування 10 А, комутуюча потужність 0,1-1 вит. Швидкість спрацювання 0,1-2 с і використовуються в пристроях де необхідна фіксація малих струмів, наприклад в схемах фотоелементах і термопарах, а також в високочутливих схемах.

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ № 62

### ТЕМА: ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНІ РЕЛЕ

#### МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

#### 1. Електродинамічні реле

#### Література:

1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.

2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Главное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

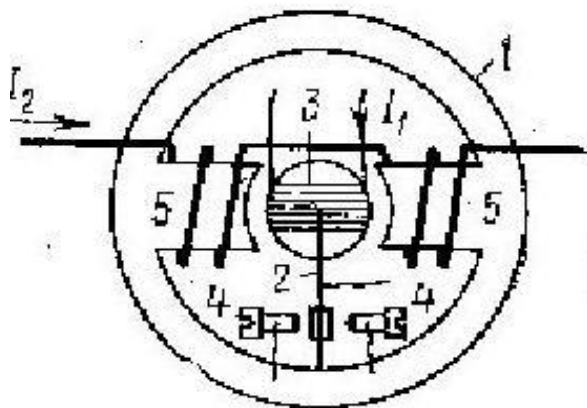
6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

Питання для самоконтролю.

#### 1. Електродинамічні реле

### 3 Електродинамічне реле

Принцип дій оснований на взаємодії двох провідників з струмами або струму в одному провіднику з магнітним потоком іншого провідника.



Реле виконується в виді двох котушок з обмотками - нерухомого і рухомого. Магнітне коло аналогічно магнітоелектричному.

Для створення значного обертаючого моменту в магнітне коло

### САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ № 63

#### ТЕМА: ОСНОВНІ ВИДИ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ

**МЕТА:** оволодіти знаннями про електричні схеми

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 Основні види та класифікація автоматичних систем

#### Література:

1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.

2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

Питання для самоконтролю.

1 Основні види та класифікація автоматичних систем

## КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

Класифікація систем автоматичного керування може здійснюватись за ознаками, що відбивають певні особливості системи (табл.1.1). Запропонована класифікація систем автоматичного керування не є вичерпною і єдиною можливою. Як будь-яка класифікація, вона представляє певні уподобання автора, хоча і ґрунтується на найбільш часто застосованих термінах і поняттях.

Таблиця 1.1.

Системи автоматичного керування	За складністю системи керування			
	одномірні	багатомірні		складні
		зв'язні	не зв'язні	
	За метою керування			
	стабілізації	програмного керування	стеження	екстремальні
	За властивостями			
	лінійні	не лінійні	стаціонарні	не стаціонарні
	За характером протікання інформаційних процесів			
	неперервні	дискретні		
		релейні	імпульсні	цифрові
За характером причинно-наслідкових зв'язків				
замкнуті		розімкнуті		

**ОДНОМІРНІ СИСТЕМИ** — це системи, стан яких визначається одним вихідним параметром і однією вхідною дією(рис. 1.7).



Рисунок 1.7 - Одномірна система

У більшості випадків застосовують одновимірні автоматичні установки - САР, у яких регулюється тільки один параметр - напруга, довжина дуги, струм, швидкість, рівень рідкого металу, та інші. Відповідно використовується тільки одна керуюча дія - напруга керування фазоімпульсним блоком, струм підмагнічування обмотки збудження генератора або магнітного підсилювача, напруга живлення якоря двигуна і т. ін.

**БАГАТОВИМІРНІ СИСТЕМИ** — це системи, стан яких визначається багатьма вихідними параметрами і (або) багатьма вхідними діями (рис.1.8).

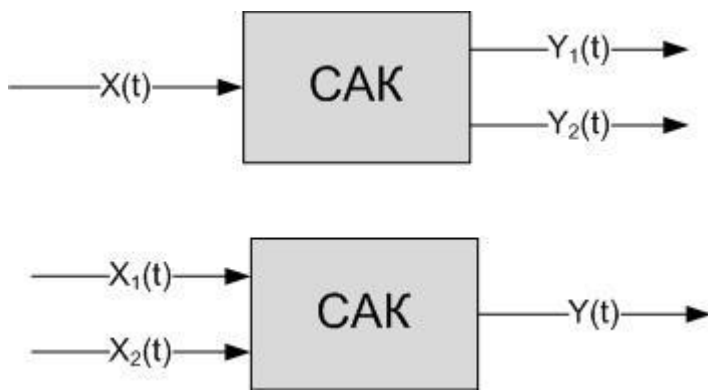


Рисунок 1.8 - Багатовимірні системи керування

Реальні зварювальні процеси і установки є багатовимірними, оскільки технологічний режим визначається значною кількістю взаємопов'язаних параметрів. При одному контрольованому параметрі такі системи можуть мати декілька регулюючих елементів, кожний з яких діє на один і той же об'єкт. Так, для керування режимом дугового зварювання необхідно регулювати швидкість подавання електродного дроту, довжину дуги і швидкість зварювання. У випадку зварювання швів складної конфігурації, кількість регульованих величин може досягати шести та більше. Електронно-променева установка вимагає регулювання понад десяти параметрів. Складність керування зростає пропорційно квадрату кількості регульованих параметрів. При цьому необхідно враховувати взаємозалежність та взаємопов'язаність регульованих параметрів.

**НЕ ЗВ'ЯЗНА СИСТЕМА** — це система, яка містить кілька самостійних керуючих пристроїв (локальних регуляторів), кожний з яких керує однією, незалежною від інших регульованих параметрів, величиною (рис. 1.9). Тобто мають два і більше замкнених контурів передачі дії. Такі системи використовують, наприклад, в САК ЕПЗ. Однак реальної незалежності роботи регуляторів досягнути важко тому, якщо всі вони виявляються пов'язаними через об'єкт. Дія кожного регулятора на об'єкт призводить до зміни всіх його параметрів і якість регулювання в цілому виходить низькою.

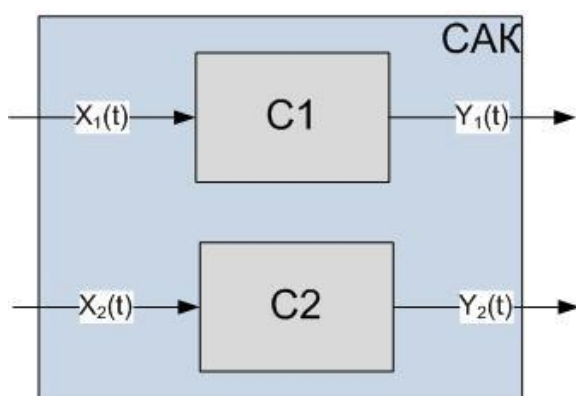


Рисунок 1.9 - Не зв'язна система

**ЗВ'ЯЗНА СИСТЕМА** — це система, яка містить внутрішні зв'язки між регульованими величинами (). Прикладом такого об'єкту керування є звичайні установки дугового зварювання плавким електродом. У них вимагається керувати

двома параметрами: середнім струмом  $I_d$  і середньою довжиною дуги  $L_d$ . Керуючими діями є напруга джерела живлення  $U_{дж}$  і напруга двигуна подавання електрода  $U_{под}$ .

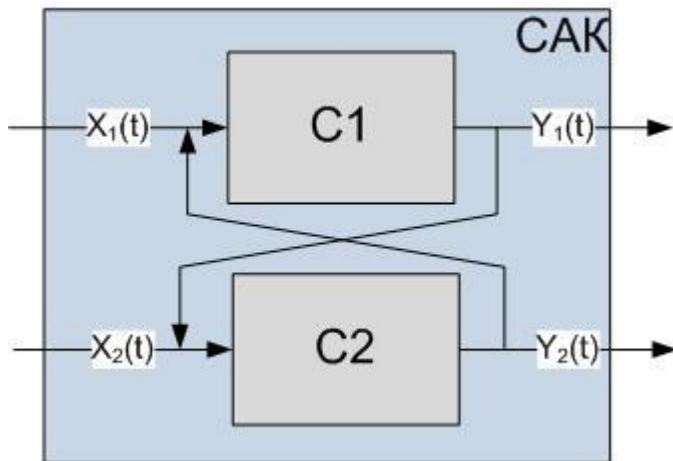


Рисунок 1.10 - Зв'язна система

**СКЛАДНІ СИСТЕМИ** — це узагальнююча назва систем:

- які неможливо описати коректно математично
- які містять велику кількість елементів, пов'язаних між собою невідомим чином
- в яких невідома природа явищ, що відбуваються.

Прикладами таких систем є людський мозок, велике промислове підприємство.

**СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ**— це системи, які призначені для автоматичного підтримання з заданою точністю постійного значення регульованої величини  $X_p$ .

В системі стабілізації задавальна дія  $X_3(t)$  є постійною величиною. Такі САК є найпростішими і набули найбільшого поширення в зварюванні, перш за все, для стабілізації напруги, струму або потужності зварювальних джерел живлення, швидкостей подавання присаджувального дроту, пересування зварювального пальника або виробу, режимів термообробки, положення зварювального пальника відносно зварюваного стику, провару при дуговому та електронно-променевому зварюванні. Стабілізація параметрів зварювального режиму та перерізу зварного шва в багатьох випадках дозволяє задовільно забезпечити потрібні експлуатаційні характеристики зварних з'єднань. Системи стабілізації можуть бути побудовані на принципі регулювання за відхиленням, за збуренням або на основі комбінації цих принципів.

**СИСТЕМИ ПРОГРАМНОГО КЕРУВАННЯ(СПК)** — це системи, які призначені для автоматичної зміни з заданою точністю регульованого параметру  $Y(t)$  за наперед заданим законом в функції часу або координат. В таких системах можна виділити дві основні частини: програмний пристрій ПП, що формує сигнал, та систему відтворення СВ, основним призначенням якої є забезпечення за допомогою керуючого пристрою КП заданої в ПП зміни вихідної координати об'єкту керування ОК (рис.1.11). В окремих випадках можлива корекція програми залежно від поточного стану керованої величини.



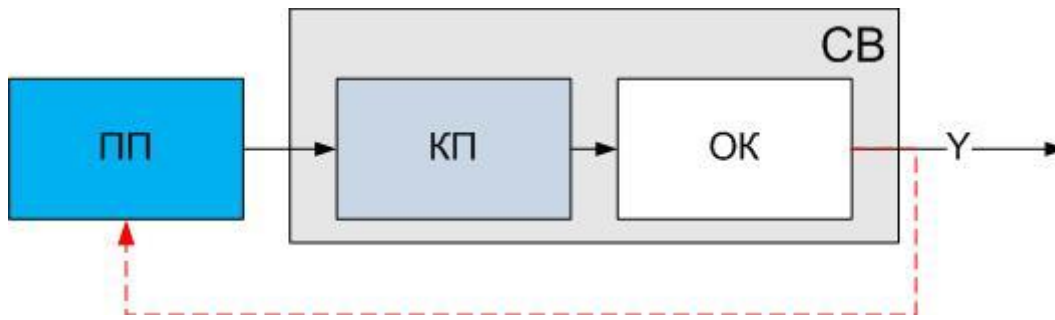


Рисунок 1.11 - Система програмного керування

Прикладом завдання програми в явній формі може бути зварювання неповоротних стиків труб. Такі з'єднання потребують програмування струму зварювання в залежності від просторового положення пальника таким чином, щоб глибина провару і ширина шву залишались незмінними. Параметричне завдання програми в зварюванні використовується значно частіше. Так при програмуванні режиму електронно-променевого зварювання задається синхронна і синфазна зміна більш ніж 10 параметрів для різних автономних і зв'язаних систем відтворення. СПК широко застосовуються в зварювальній техніці, перш за все, зважаючи на специфіку зварювального виробництва - необхідність використання універсального обладнання при виготовленні великої номенклатури різноманітних виробів. СПК, забезпечуючи можливість швидкого переналаджування зварювального процесу при переході від одного типорозміру до іншого шляхом простої заміни програми, найбільш повно відповідають вимогам індивідуального та дрібносерійного виробництва, в умовах яких виготовляється більшість загального обсягу зварних конструкцій.

Об'єктами програмного керування в зварюванні можуть бути: послідовність в функції часу основних операцій зварювального циклу при різних способах зварювання, подавання присаджувального матеріалу при зварюванні плавленням, переміщення джерела нагрівання, зміна зварювального струму при контактному зварюванні, переміщення заготівок, що зварюються.

Операції збудження дуги та заварки кратера програмуються шляхом узгоджених змін швидкості подавання електроду і моментів вмикання та вимикання джерела живлення. Рациональним застосуванням СПК є також переміщення наплавляючого інструменту за трьома просторовими координатами і його поворот навкруги кожної вісі згідно профілю поверхні, що наплавляється. В деяких випадках необхідність програмування зварювального режиму викликається особливостями прийнятої технології зварювання. Наприклад, при зварюванні кільцевого неповоротного стику — нестационарністю температурного поля у виробі та розгалуженням теплового потоку дуги на основний, який рухається разом з дугою, та додатковий, що переміщується назустріч дузі. В цьому випадку корегування теплового режиму досягається шляхом програмного керування швидкості подавання присаджувального дроту і зварювального струму в залежності від положення ділянки стику, що зварюється. Останнє технічне рішення також є прикладом параметричного завдання програми.

**СЛІДКУЮЧІ СИСТЕМИ** — це системи, які призначені для автоматичної зміни з заданою точністю  $Y(t)$  у відповідності з наперед невідомою функцією часу, що визначається задавальною дією  $X(t)$ .

За характером дії слідкуючи системи подібні до СПК, але відрізняються від них, перш за все відсутністю програматора, оскільки закон зміни  $X(t)$  наперед не відомий, формується в процесі роботи системи і визначається умовами, які існують за межами системи. Слідкуючи системи в зварюванні застосовують, перш за все, для автоматичного ведення електрода по стику зварюваних кромки при дуговому зварюванні.

**ЕКСТРЕМАЛЬНІ СИСТЕМИ** — це системи, в яких за допомогою безпосереднього виміру деякого показника якості роботи об'єкту і вироблення відповідної керуючої дії автоматично визначається і підтримується режим роботи, що характеризується максимально (мінімально) можливим значенням показника якості.

**ЛІНІЙНІ СИСТЕМИ** — це системи, властивості яких не залежать від величини вхідних дій.

Для лінійних систем справедливий принцип суперпозиції. Тобто якщо керована величина системи автоматичного керування  $Y_1=F(X_1)$  є функцією задавальної дії  $X_1$ , а керована величина системи автоматичного керування  $Y_2=F(X_2)$  є функцією задавальної дії  $X_2$ , то для задавальної дії  $X_1+X_2$  керована величина  $Y=F(X_1+X_2)$  набере значення  $Y_1+Y_2$ . Це означає, що властивості системи керування не залежать від зовнішніх дій на систему. В обмеженому діапазоні змін вхідної величини існує велика кількість елементів, для яких зазначенні умови виконуються (рис. 1.12).

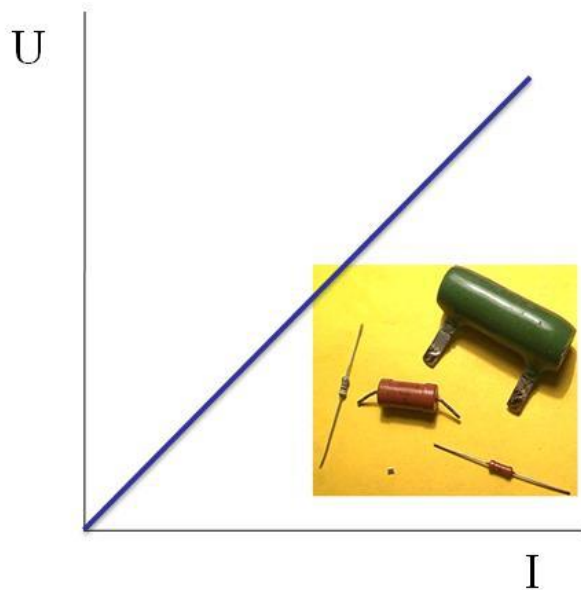


Рисунок 1.12 - Резистор як приклад лінійного елемента САК

**НЕЛІНІЙНІ СИСТЕМИ** — це системи, властивості яких змінюються залежно від зовнішніх дій і для них не виконується принцип суперпозиції. Для більшості процесів зварювання застосовувати лінійні моделі навіть у малому інтервалі змін вхідних сигналів треба з обережністю (рис.1.13).

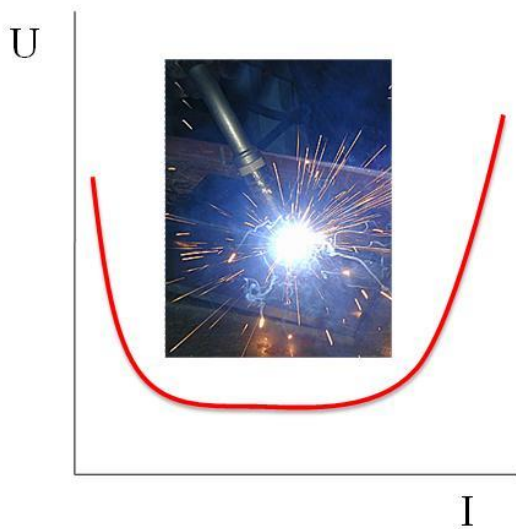


Рисунок 1.13 - Вольт-амперна характеристика дуги, як приклад нелінійного опору.

**СТАЦІОНАРНІ СИСТЕМИ** — це системи які не змінюють свої властивості з часом.

**НЕСТАЦІОНАРНІ СИСТЕМИ** (інша назва — зі змінними коефіцієнтами) — це системи, що змінюють свої властивості з плином часу.

Прикладом такої системи з галузі зварювання може служити електрошлакове зварювання. Вигорання і перехід у гарнісаж деяких елементів флюсу під час зварювання призводить до суттєвих змін властивостей шлакової ванни, яка є джерелом нагріву при ЕШЗ. Для нестационарних лінійних об'єктів принцип суперпозиції є справедливим. Однак з інженерної точки зору нестационарність призводить до значних відмінностей, оскільки стає непридатним широко вживаний математичний апарат — перетворення Лапласа. В зварюванні нестационарні лінійні системи відповідають неквазістационарним процесам.

**НЕПЕРЕРВНІ СИСТЕМИ** — це системи, в яких сигнал передається неперервним в часі і є неперервним за рівнем. Часто такі системи називають також аналоговими

**ДИСКРЕТНІ СИСТЕМИ** — це системи, в яких передається та перетворюється сигнал, квантований за рівнем або/і за часом. Такі системи мають елемент, який при безперервній зміні сигналу на вході передає його далі переривчасто - дискретно.

**РЕЛЕЙНІ СИСТЕМИ** — це системи, до складу яких входить релейний елемент, завдяки якому регулююча дія  $Y(t)$  на виході регулятора в залежності від вхідного сигналу може приймати два (двохпозиційні системи) або три (трипозиційні системи) постійних значення:

$$Y_{\max} - Y_{\min}$$

або

$$Y_{\max} - 0 - Y_{\min}$$

Релейні системи конструктивно прості, мають максимальну швидкодію, дозволяють легко отримувати великі коефіцієнти підсилення. Але вони мають знижену точність регулювання і схильні до автоколиваний.

**ІМПУЛЬСНІ СИСТЕМИ**— це системи, в яких сигнал квантується за часом (сигнал дискретний за часом) і керуюча дія видається у визначені моменти часу і відсутня в проміжках між ними.

В системах тільки один з параметрів імпульсу — амплітуда  $A$ , шпаруватість  $\sigma$  (відношення періоду  $T$  до тривалості імпульсу  $t_i$ ) або частота  $f$  (період  $T$ ) їх повторення — є функцією вхідного сигналу, а інші два - залишаються постійними. Відповідно розрізняють амплітудно-імпульсний ( $A=\text{var}$ ,  $f=\text{const}$ ,  $\sigma=\text{const}$ ), широтно-імпульсний ( $A=\text{const}$ ,  $f=\text{const}$ ,  $\sigma=\text{var}$ ) і частотно-імпульсний ( $A=\text{const}$ ,  $f=\text{var}$ ,  $\sigma=\text{const}$ ) методи регулювання (рис.1.14).

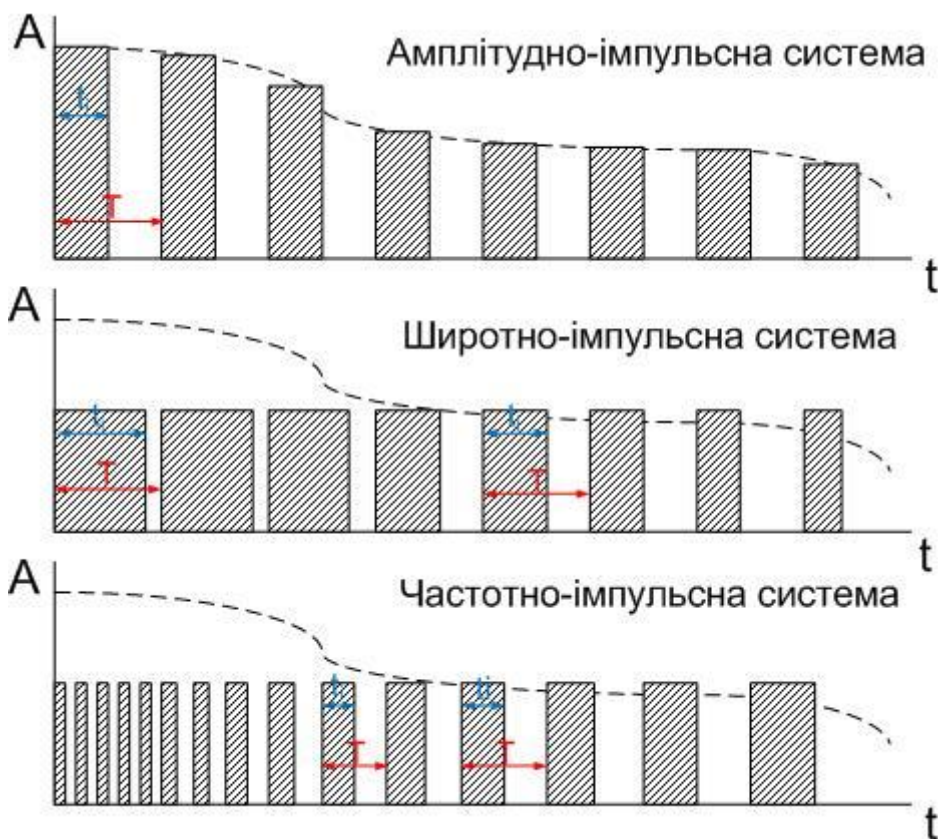


Рисунок 1.14 - Різновиди імпульсних систем

**ЦИФРОВІ СИСТЕМИ** — це системи, в яких керуюча дія - сигнал, квантований за часом і за амплітудою, відображається у вигляді коду.

Цифрові системи використовують, перш за все, для програмного керування зварювальними циклами, положенням та переміщеннями робочих органів зварювальних установок, зміни електричних параметрів режимів, тощо. Системи із складною програмою реалізації математичних та логічних операцій будуються на базі використання обчислювальних пристроїв та ЕОМ. В багатьох випадках дискретне керування застосовують спеціально для підвищення перешкодозахищеності систем. Для переходу від неперервних систем до дискретних та навпаки застосовують аналого-цифрові (АЦП) та цифро-аналогові (ЦАП) перетворювачі (рис.1.15).

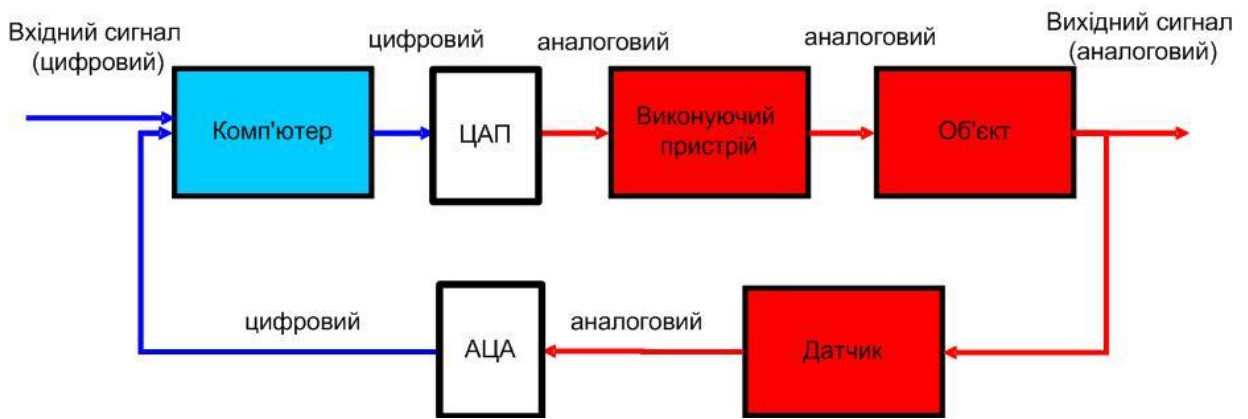


Рисунок 1.15 - Функціональна схема цифрової САК

**РОЗІМКНУТІ СИСТЕМИ** — системи, в яких потрібний закон зміни керованої величини забезпечується шляхом безпосереднього перетворення завдання в керуючу дію без урахування значення, яке досягається в результаті керування.

В таких системах завдання  $X(t)$  не співставляються з керованою величиною  $Y(t)$  і відхилення дійсного режиму роботи об'єкту від заданого не впливають на керуючу дію і самою системою не усуваються. До розімкнених систем відносяться найпростіші системи автоматичного захисту обладнання від аварій при виникненні нештатних ситуацій, системи блокування — для захисту обладнання від помилкових дій обслуговуючого персоналу, включаючи відсутність належних умов (охолоджуючої води, електродного дроту, тощо) для роботи обладнання, а також для включення резервних пристроїв при виході з ладу основних. Розімкненими є також системи автоматичного контролю, які виконують виміри, сигналізацію та реєстрацію вихідних параметрів об'єкту (напруги і струму дуги, зусилля стискання електродів машин контактного зварювання та ін. ). Часто проектуються як розімкнуті системи програмного керування (СПК). Основним недоліком розімкнених СПК є низька точність при дії на об'єкт різного роду збурень, оскільки жорстке програмування виключає можливість урахування впливу збурень на  $Y$ . Якість керування в розімкнених системах суттєво поліпшується при доповненні їх компенсуючими зв'язками по основним збуренням - у відповідності з принципом регулювання за збуренням.

**ЗАМКНУТІ СИСТЕМИ** — це системи автоматичного керування, в яких керуюча дія виробляється з урахуванням значення регульованої величини, яке досягається в результаті керування.

Таким чином, замкнуті системи використовують принцип керування за відхиленням. Інформація про фактичне значення регульованої величини перетворюється пристроєм зворотного зв'язку в сигнал головного зворотного зв'язку, який надходить на вхід системи, де порівнюється в елементі порівняння (суматорі) з завданням. При відхиленні з'являється сигнал розузгодження, який використовується для вироблення регулюючої дії, що спрямована на зменшення розузгодження.

## САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ № 64

### ТЕМА: СПОСОБИ ТА МЕТОДИ КОДУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ

МЕТА: оволодіти знаннями про електричні схеми

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

#### 1. Способи та методи кодування інформації

##### Література:

1 Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.

2 Жеребцов И.П. Основы электроники 5е изд. перераб. й доп., - Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990

3 Мартыненко И.И. Поддубный А.П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – К.; "Высшая школа" Головное издательство, 1988г

4 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец, вузов. -2-е изд., перераб. и доп. - М: Высш.шк. 1991.

5 Основы электроники й микроэлектроники (Б.С.Гершунский) - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.

6 Бабилов М.А. Косинський А.В. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие для студентов вузов М.; "Высшая школа", 1975г

Питання для самоконтролю.

#### 1. Способи та методи кодування інформації

##### 1. Кодування. Основні поняття та визначення

Розглянемо основні поняття, пов'язані з кодуванням інформації. Для передачі в канал зв'язку повідомлення перетворюються на сигнали. Символи, за допомогою яких створюються повідомлення, утворюють первинний алфавіт, при цьому кожен символ характеризується ймовірністю його появи в повідомленні. Кожному повідомленню однозначно відповідає сигнал, який представляє певну послідовність елементарних дискретних символів, званих кодовими комбінаціями. **Кодування** - це перетворення повідомлень в сигнал, тобто перетворення повідомлень в кодові комбінації. **Код** - система відповідності між елементами повідомлень і кодовими комбінаціями. **Кодер** - пристрій, що здійснює кодування. **Декодер** - пристрій, що здійснює зворотну операцію, тобто перетворення кодової комбінації в повідомлення. **Алфавіт** - безліч можливих елементів коду, тобто елементарних символів (кодових символів)  $X = \{x_{ij}, \text{де } i = 1, 2, \dots, m\}$ . Кількість елементів коду -  $m$  називається його **основою**. Для двійкового коду  $x_i = \{0, 1\}$  і  $m = 2$ . Кінцева послідовність символів даного алфавіту називається **ковою комбінацією** (ковим словом). Число елементів в кодової комбінації -  $n$  називається **значности** (довжиною комбінації). Число різних кодових комбінацій ( $N = m^n$ ) називається **об'ємом** або **потужністю** коду. Якщо  $N_0$  - число повідомлень джерела, то  $N \geq N_0$ . Безліч станів коду повинна покривати безліч станів об'єкта. Повний рівномірний  $n$  - значний код з основою  $m$  містить  $N = m^n$  кодових комбінацій. Такий код називається **примітивним**.

## 2. Класифікація кодів

Коди можна класифікувати за різними ознаками:

1. По підставі (кількості символів в алфавіті): **бінарні** (виконавчі  $m = 2$ ) і **не бінарні** ( $m > 2$ ).

2. По довжині кодових комбінацій (слів): **рівномірні** - якщо всі кодові комбінації мають однакову довжину; **нерівномірні** - якщо довжина кодової комбінації не постійна.

3. За способом передачі: **послідовні** і **паралельні**; **блокові** - дані спочатку вкладаються у буфер, а потім передаються в канал і бінарні **безперервні**.

4. За завадостійкості: **прості** (примітивні, повні) - для передачі інформації використовують всі можливі кодові комбінації (без надмірності); **коригувальні** (перешкодозахисних) - для передачі повідомлень використовують не всі, а тільки частина (дозволених) кодових комбінацій.

5. У залежності від призначення і застосування умовно можна виділити наступні типи кодів: **Внутрішні коди** - це коди, що використовуються усередині пристроїв. Це машинні коди, а також коди, що базуються на використанні позиційних систем числення (двійковий, десятковий, двійково-десятковий, вісімковий, шістнадцятковий та ін.) Найбільш поширеним кодом в ЕОМ є двійковий код, який дозволяє просто реалізувати апаратно пристрої для зберігання, обробки і передачі даних в двійковому коді. Він забезпечує високу надійність пристроїв і простоту виконання операцій над даними в двійковому коді. Двійкові дані, об'єднані в групи по 4, утворюють шістнадцятковий код, який добре узгоджується з архітектурою ЕОМ, що працює з даними кратною байту (8 біт).

**Коди для обміну даними та їх передачі по каналах зв'язку.** Широке поширення в ПК отримав код ASCII (American Standard Code for Information Interchange). ASCII - це 7-бітний код буквено-цифрових та інших символів. Оскільки ЕОМ працюють з байтами, то 8-й розряд використовується для синхронізації або перевірки на парність, або розширення коду. У ЕОМ фірми IBM використовується розширений двійково-десятковий код для обміну інформацією EBCDIC (Extended Binary Coded Decimal Interchange Code). У каналах зв'язку широко використовується телетайпний код МККТТ (міжнародний консультативний комітет з телефонії та телеграфії) і його модифікації (МТК та ін.) При кодуванні інформації для передачі по каналах зв'язку, в тому числі всередині апаратним трактам, використовуються коди, що забезпечують максимальну швидкість передачі інформації, за рахунок її стиснення та усунення надмірності (наприклад: коди Хаффмана і Шеннона-Фано), і коди забезпечують вірогідність передачі даних, за рахунок введення надмірності в передані повідомлення (наприклад: групові коди, Хеммінга, циклічні та їх різновиди).

**Коди для спеціальних застосувань** - це коди, призначені для вирішення спеціальних завдань передачі і обробки даних. Прикладами таких кодів є циклічний код Грея, який широко використовується в АЦП кутових і лінійних переміщень. Коди Фібоначчі використовуються для побудови швидкодіючих і завадостійких АЦП. Основна увага в курсі приділено кодами для обміну даними та їх передачі по каналах зв'язку. **ЦІЛІ КОДУВАННЯ:** 1) Підвищення ефективності передачі даних, за рахунок





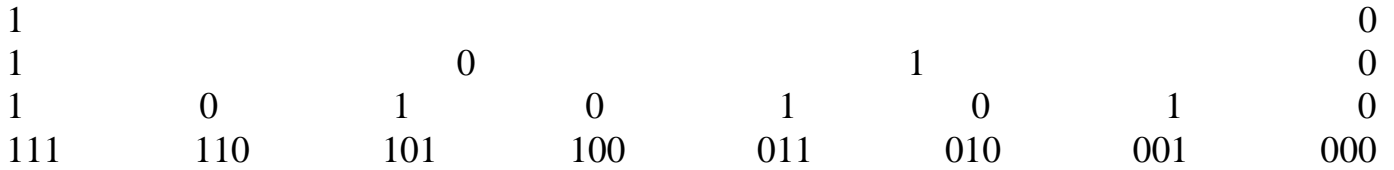


Рис.1. Дерево для повного двійкового коду при  $n = 3$ .  
 Дерево завадостійкого коду будується на основі дерева повного коду шляхом викреслювання заборонених кодових комбінацій. Для дерева нерівномірного коду використовується зважений граф, при цьому на ребрах дерева вказуються ймовірність переходів. Представлення коду у вигляді кодового дерева використовується, наприклад, в кодах Хаффмена.

### 3.3 Представлення кодів у вигляді многочленів

Представлення кодів у вигляді поліномів ґрунтується на подібі (ізоморфізмі) простору двійкових  $n$  - послідовностей і простору поліномів ступеня не вище  $n - 1$ . Код для будь-якої системи числення з основою  $X$  може бути представлений у вигляді:

$$G(x) = a_{n-1}x^{n-1} + a_{n-2}x^{n-2} + \dots + a_1x + a_0 = \sum_{i=0}^{i=n-1} a_i x^i,$$

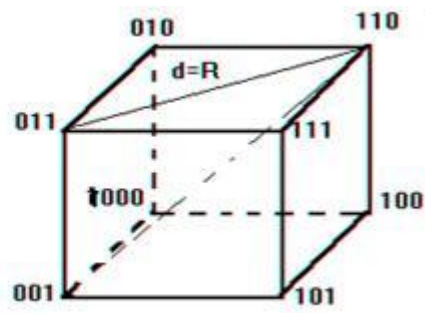
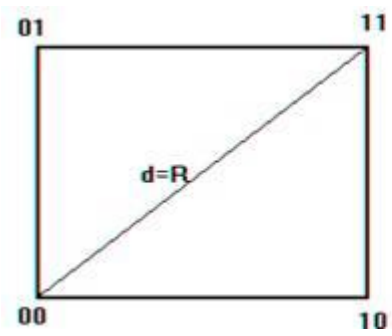
де  $a_i$  - цифри даної системи числення (у двійковій 0 і 1);  $x$  - символічна (фіктивна) змінна, показник ступеня якої відповідає номерам розрядів двійкового числа.

Наприклад: Кодова комбінація 1010110 може бути представлена у вигляді:  
 $G(x) = 1 \times x^6 + 0 \times x^5 + 1 \times x^4 + 0 \times x^3 + 1 \times x^2 + 1 \times x^1 + 0 \times x^0 = x^6 + x^4 + x^2 + x = 10101$

При цьому операції над кодами еквівалентні операцій над многочленами. Представлення кодів у вигляді поліномів використовується наприклад, у циклічних кодах.

### 3.4 Геометричне уявлення кодів

Будь-яка комбінація  $n$  - розрядного двійкового коду може бути представлена як вершина  $n$  - мірного одиничного куба, тобто куба з довжиною ребра рівною 1. Для двоелементною коду ( $n = 2$ ) кодові комбінації розташовуються у вершинах квадрата. Для Трьохелементний коду ( $N = 3$ ) - у вершинах одиничного куба (рис.2). У загальному випадку  $n$  мірний куб має  $2^n$  вершин, що відповідає набору кодових комбінацій  $2^n$ .



$n$  = 2                       $n$  = 3

Рис.2. Геометрична модель двійкового коду

**Геометрична інтерпретація кодового відстані.** Кодова відстань - мінімальна кількість ребер, яке необхідно пройти, щоб потрапити з однієї кодової комбінації в іншу. Кодова відстань характеризує завадостійкість коду.