

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Заступник директора з НР
_____ С.В.Бондаренко
_____ 20__ р.

**Методичні вказівки і завдання щодо виконання
лабораторних робіт з дисципліни
«Електричні машини»
для студентів 3 курсу
спеціальності 5.05070104 «Монтаж і експлуатація
електроустаткування
підприємств і цивільних споруд»**

Уклав

Ю. В. Алійник

Розглянуто на засіданні
циклової комісії
спеціальних електротехнічних дисциплін
Протокол №__ від _____ 20__ року

Голова циклової комісії

В. В.Олійник

Інструкція для виконання лабораторної роботи №1

Тема: Дослідження силового трансформатора методом неробочого ходу та короткого замикання

1 Мета:

- 1.1 Вивчити будову та призначення однофазного трансформатора.
- 1.2 Дослідити однофазний трансформатор, навантажений активним опором.
- 1.3 Визначити параметри схеми заміщення за допомогою дослідів холостого ходу і короткого замикання.
- 1.4 Зняти навантажувальну і робочу характеристики трансформатора.

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

- 2.1 Аркуші паперу формату А4.
- 2.2 Набір креслярських приладів.
- 2.3 Стенд для виконання лабораторної роботи №1.
- 2.3 Методичні вказівки для виконання лабораторної роботи №1.

3 Теоретичні відомості

Трансформатором називають статичний електромагнітний пристрій, що має дві (або більше) індуктивно зв'язані обмотки й призначений для перетворення, за допомогою явища електромагнітної індукції, однієї (первинної) системи змінного струму в іншу (вторинну) систему змінного струму.

Найпростіший силовий трансформатор складається з магнітопроводу (сердечника), виконаного з феромагнітного матеріалу (зазвичай листова електротехнічна сталь), і двох обмоток, розташованих на стрижнях магнітопроводу (рис. 1.1, а)- Одна з обмоток, яку називають *первинною*, приєднана до джерела перемінного струму G (генератора) на напругу U_1 . До іншої обмотки, – вторинної, підключений споживач $Z_{\text{нв}}$.

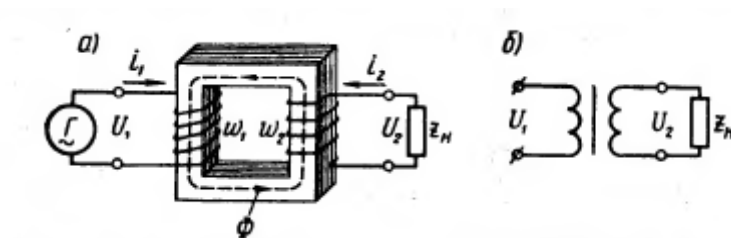


Рис. 1.1. Електромагнітна (а) і принципова (б) схеми трансформатора

Первинна й вторинна обмотки трансформатора не мають електричного зв'язку одна з одною, і потужність із однієї обмотки в іншу

передається електромагнітним шляхом. Магнітопровід, на якому розташовані ці обмотки, слугує для посилення індуктивного зв'язку між обмотками.

Дія трансформатора заснована на явищі електромагнітної індукції. При підключенні первинної обмотки до джерела змінного струму у витках цієї обмотки протікає змінний струм i_1 , що створює в магнітопроводі змінний магнітний потік Φ . Замикаючись у магнітопроводі, цей потік зчіплюється з обома обмотками (первинною і вторинною) і індукує у них ЕРС:

у первинній обмотці ЕРС *самоіндукції*

$$e_1 = -\omega_1(d\Phi/dt), \quad (1.1)$$

у вторинній обмотці ЕРС *взаємоіндукції*

$$e_2 = -\omega_2(d\Phi/dt), \quad (1.2)$$

де ω_1 , і ω_2 – число витків у первинній і вторинній обмотках трансформатора.

Кожен трансформатор повинен задовольняти всім вимогам експлуатації, тобто він повинен володіти рядом характеристик, які визначаються Дст або спеціальними технічними умовами

До числа таких характеристик ставляться:

а) коефіцієнт трансформації, струм і втрати холостого ходу, обумовлені досвідом холостого ходу;

б) напруга й втрати короткого замикання, обумовлені досвідом короткого замикання;

в) коефіцієнт корисної дії й зміна вторинної напруги при зміні навантаження трансформатора, які можуть бути отримані на підставі досвідів холостого ходу й короткого замикання або безпосередньо з досвіду випробування трансформатора під навантаженням.

Характеристики холостого ходу й короткого замикання дозволяють судити про якість трансформатора і його роботі при різних режимах. Струм холостого ходу визначає реактивну потужність, необхідну для намагнічування трансформатора. Напруга короткого замикання визначає зміна вторинної напруги трансформатора при зміні навантаження, а також величину струму в обмотках трансформатора при аварійному режимі. Втрати холостого ходу й короткого замикання дозволяють визначити коефіцієнт корисної дії трансформатора.

Метою даної роботи є проведення досвідів холостого ходу й короткого замикання досліджуваного трансформатора, побудова характеристик холостого ходу й короткого замикання й розрахунок деяких

характеристик для режиму роботи під навантаженням за даними досвідів холостого ходу й короткого замикання трансформатора.

4 Хід роботи

1. Визначити омичні опори обмоток трансформатора.
2. Визначити коефіцієнт трансформації.
3. Провести досвід холостого ходу, за даними який:
 - а) побудувати характеристики холостого ходу;
 - б) визначити абсолютні значення струму I_0 , втрат P_0 й коефіцієнта потужності $\cos \varphi_{\text{про}}$ холостий хід при номінальній напрузі й частоті;
 - в) визначити активні й реактивну складові токи холостого ходу й співвідношення між ними;
 - г) визначити параметри холостого ходу.
4. Провести досвід короткого замикання, за даними який:
 - а) побудувати характеристики короткого замикання;
 - б) визначити втрати короткого замикання P_k ;
 - в) визначити напруга короткого замикання u_k і його складові u_{ka} й i_{kp} ;
 - г) визначити величину сталих й ударного струмів короткого замикання й постійну часу загасання вільного струму короткого замикання;
 - д) визначити параметри короткого замикання;
 - е) визначити процентна зміна напруги $\Delta U\%$ і побудувати залежність $\Delta U\% = f(a)$ при $\cos \varphi_2 = 1$ й $0,8$.
5. За даними досвідів холостого ходу й короткого замикання визначити коефіцієнт корисної дії трансформатора для різних кратностей навантаження a при $\cos \varphi_2 = 1$ й $0,8$, а також побудувати графіки залежностей $\eta = f(a)$ при вище зазначених значеннях $\cos \varphi_2$.

ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Перед проведенням досвідів необхідно ретельно вивчити пристрій і дані заводського щитка (паспортні дані) випробуваного трансформатора. Це необхідно для того, щоб правильно вибрати вимірювальні прилади для проведення того або іншого досвіду.

1. Визначення омичного опору обмоток трансформатора

Омичні опори обмоток трансформатора (опору обмоток постійному струму) визначають за допомогою вимірювального моста або по методу вольтметра-амперметра.

Визначення омичного опору обмотки трансформатора по методу вольтметра-амперметра роблять за схемою, представленої на мал. 24.1.

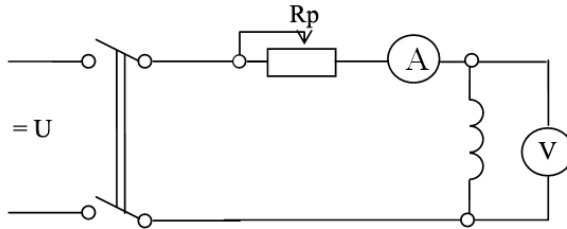


Рис. 5.1. Схема виміру омичного опору обмоток і трансформатора

Обмірюваний опір обмотки трансформатора

$$r = \frac{U}{I - \frac{U}{r_v}}$$

де U й I напруга й струм, обмірювані вольтметром й амперметром;

r_v – опір вольтметра.

Вимірювати опір обмоток трансформатора необхідно ретельно, користуючись приладами високого класу точності. Щоб виключити погрішності, обумовлені можливим нагріванням обмоток, струм при вимірах не повинен перевищувати 20-25% номінального струму обмоток.

Виміру необхідно робити при сталому показанні амперметра. Вольтметр включають тільки на час виміру. Це необхідно для того, щоб захистити вольтметр від перенапруг при різких змінах струму. Для точності результатів, опору обмоток трансформатора вимірюють при декількох різних значеннях струму (не менш трьох вимірів).

Визначення середнєарифметических значень опорів обмоток і приведення їх до стандартної робочої температури 75°C роблять по формулах, які наведені для аналогічних розрахунків опору обмотки збудження генератора постійного струму (робота 1, §1).

Результати вимірів й обчислень заносять у табл. 1.

Таблиця 1 - Результати вимірів й обчислень

№ п/п	U (В)	I (А)	r (Ом)	U (В)	I (А)	r (Ом)	U (В)	I (А)	r (Ом)	U (В)	I (А)	r (Ом)	U (В)	I (А)	r (Ом)	U (В)	I (А)	r (Ом)
	Первинна обмотка									Вторинна обмотка								
1 2 3	1 фаза			2 фаза			3 фаза			1 фаза			2 фаза			3 фаза		
	r _{ср} = Ом			r _{ср} = Ом			r _{ср} = Ом			r _{ср} = Ом			r _{ср} = Ом			r _{ср} = Ом		
	Середнє значення опору первинної обмотки, наведене до температури 75 ^{оc} : r _{ср[75^{про}]}									Середнє значення опору вторинної обмотки, наведене до температури 75 ^{оc} : r _{ср[75^{про}]}								

2 Визначення коефіцієнта трансформації

Коефіцієнтом трансформації k називають відношення напруга обмотки ВН (вищої напруги) U_1 до напруги обмотки НН (нижчої напруги) U_2 при холостому ході, тобто $k = \frac{U_1}{U_2}$

У трифазному трансформатора розрізняють фазний і лінійний коефіцієнти трансформації.

Тому що при холостому ході значення фазних напруг обмоток практично дорівнюють значенням відповідних фазних е.д. с. $U_{1\phi} = E_{1\phi}$ й $U_{2\phi} = E_{2\phi}$ те при визначенні фазного коефіцієнта трансформації відношення напруг можна дорівняти відношенню витків відповідних обмоток w_1 й w_2

$$k_{\phi} = \frac{U_{1\phi}}{U_{2\phi}} = \frac{E_{1\phi}}{E_{2\phi}} = \frac{4,44 f \omega_1 \Phi}{4,44 f \omega_2 \Phi} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

При визначенні лінійного коефіцієнта трансформації відношення лінійних напруг не для всіх сполучень сполуки обмоток дорівнює відношенню витків, а отже, і фазному коефіцієнту трансформації.

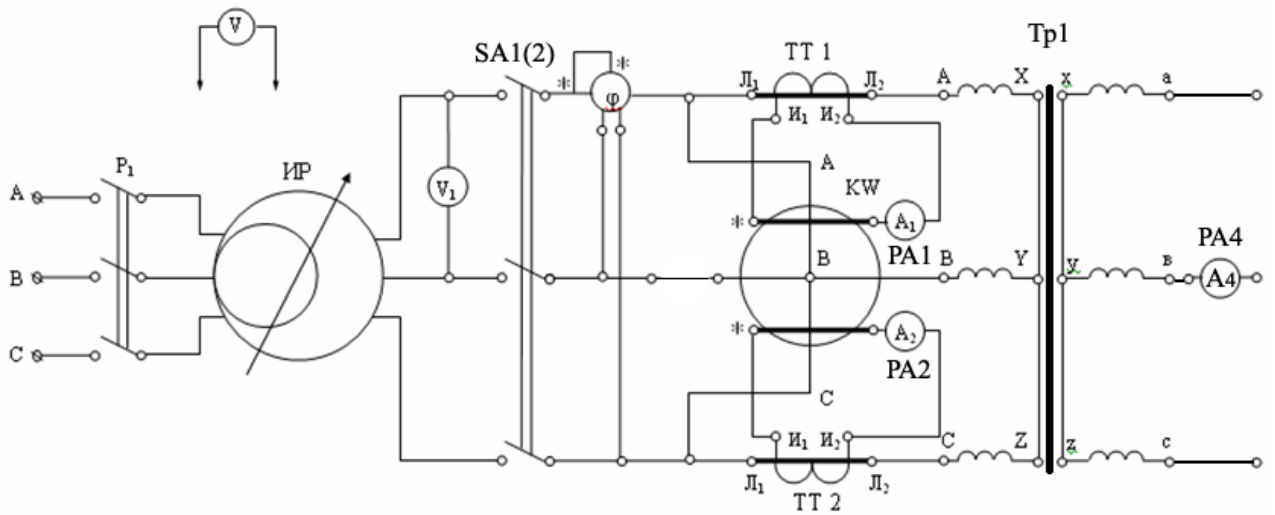


Рис. 5.2 - Схема сполуки обмоток трансформатора зірка-зірка (Y/Y)

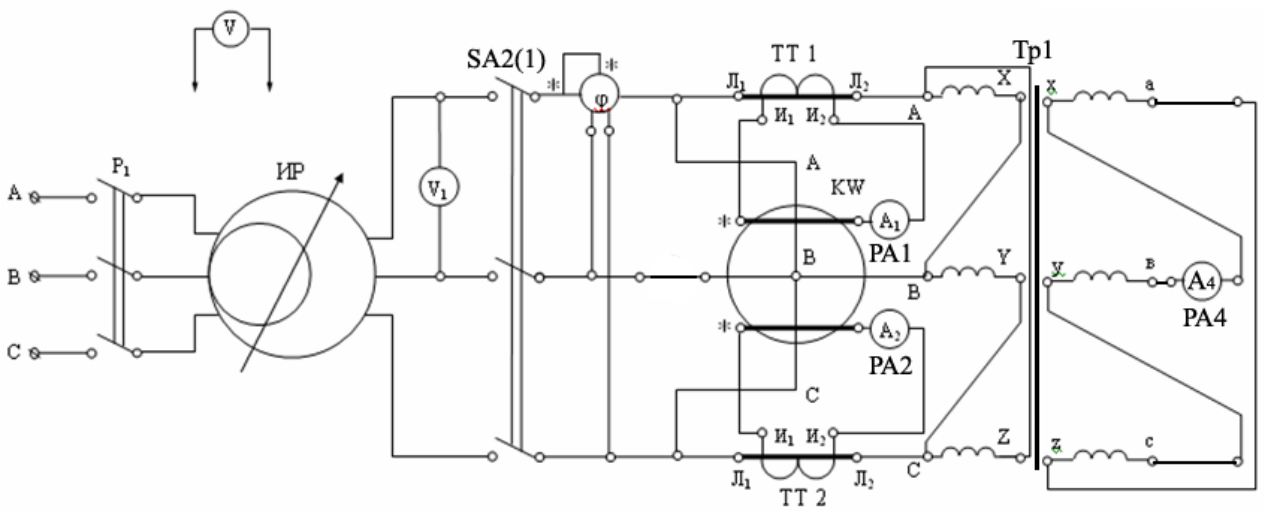


Рис. 5.3 - Схема сполуки обмоток трансформатора трикутник-трикутник (??)

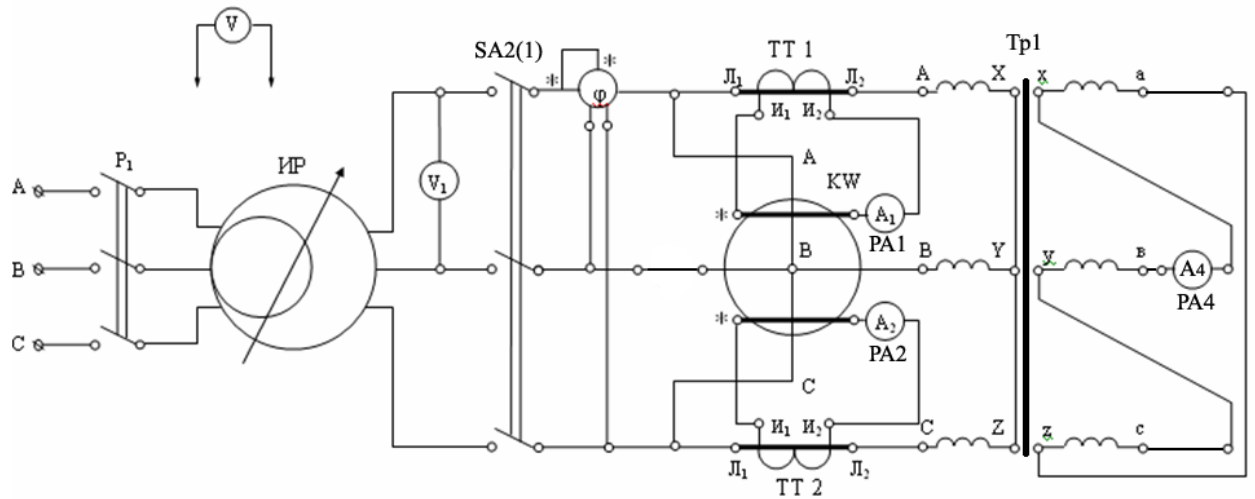


Рис. 5.4 - Схема сполуки обмоток трансформатора зірка-трикутник (Y/?)

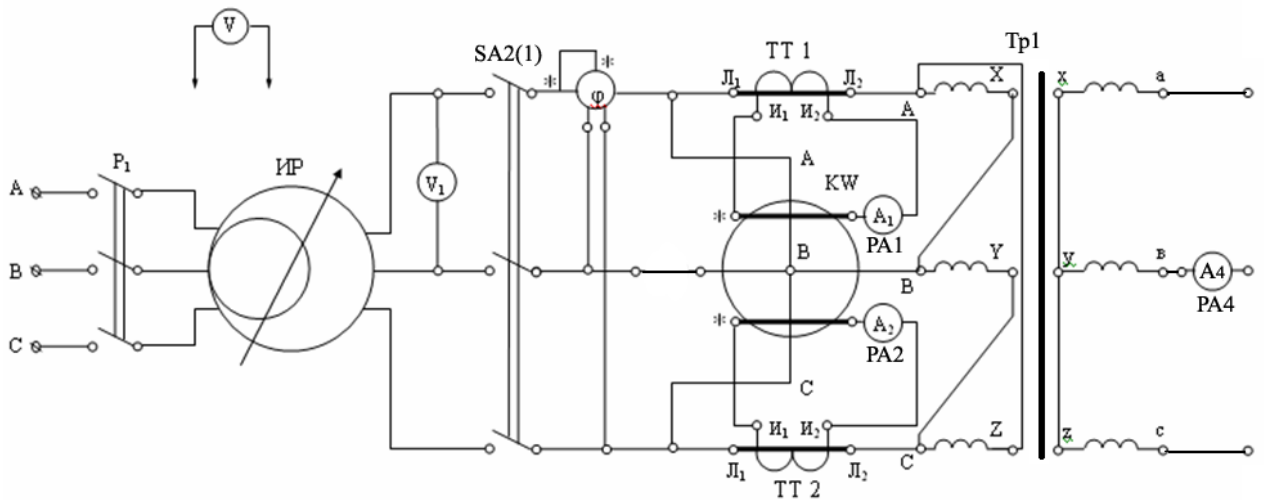


Рис. 5.5 - Схема сполуки обмоток трансформатора трикутник-зірка (?/Y)

Для сполук обмоток трансформатора:

$$Y/Y \quad k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{\sqrt{3}U_{1\phi}}{\sqrt{3}U_{2\phi}} = \frac{w_1}{w_2} = k_\phi$$

$$\Delta/\Delta \quad k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_{1\phi}}{U_{2\phi}} = \frac{w_1}{w_2} = k_\phi;$$

$$Y/\Delta \quad k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{\sqrt{3}U_{1\phi}}{U_{2\phi}} = \sqrt{3} \frac{w_1}{w_2} = \sqrt{3}k_\phi;$$

$$\Delta/Y \quad k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{3}U_{2\phi}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{w_1}{w_2} = \frac{1}{\sqrt{3}}k_\phi$$

Вимірюють коефіцієнти трансформації трансформатора для різних сполучень сполуки обмоток по схемах мал. 5.2-5.5 у такий спосіб. До первинної обмотки при розімкнутій вторинній підводять напруга від мережі через регульовальний пристрій (автотрансформатор або індукційний регулятор). Значення цієї напруги повинне бути в межах 20-40% від номінального. При такій напрузі виключається вплив помилки внаслідок втрати напруги в обмотках від струму холостого ходу.

Вимірявши лінійні й фазні напруги на первинній і вторинній обмотках, визначають значення лінійних і фазних коефіцієнтів трансформації.

Результати вимірів й обчислень заносять у табл. 2.

Таблиця 2 - Результати вимірів й обчислень

Сполуки обмоток	$\frac{U_{AB}}{U_{ab}}$	$\frac{U_{AX}}{U_{ax}}$	k	k _φ	$\frac{U_{BC}}{U_{bc}}$	$\frac{U_{BY}}{U_{by}}$	k	k _φ	$\frac{U_{AC}}{U_{ac}}$	$\frac{U_{CZ}}{U_{cz}}$	k	k _φ	k _{ср}	k _{фср}
	(В)	(В)			(В)	(В)			(В)	(В)				
Y/Y														
Δ /Δ														
Y/Δ														
Δ/Y														

3 Дослід холостого ходу

Холостим ходом трансформатора називають такий режим роботи, при якому його вторинна обмотка розімкнута й, отже, вторинний струм дорівнює нулю. При цьому по первинній обмотці протікає струм (струм холостого ходу) I_о, що являє собою геометричну суму активної I_{оа} й реактивної I_{ор} складові токи холостого ходу, тобто

$$I_o = \sqrt{I_{oa}^2 + I_{op}^2}$$

Реактивна складова струму холостого ходу, що називають також, що намагнічує струмом, іде на створення основного магнітного потоку.

Активна складова струму холостого ходу визначається втратами холостого ходу й подводимим напругою

$$I_{oa} = \frac{P_o}{3U_\phi}$$

Активна складова струму холостого ходу в порівнянні зі струмом, що намагнічує, настільки незначна (звичайно $I_{oa} < 10\%$ від I_o), що нею можна зневажити. Уважають, що струм, обмірюваний при досвіді холостого ходу, є що намагнічує, тобто

$$I_o \approx I_{op}$$

Струм холостого ходу силових трансформаторів при номінальному подводимому напрузі U_n і номінальній частоті f_1 становить 2 – 10% від номінального струму. Нижня межа відповідає трансформаторам великої потужності, верхній - трансформаторам малої потужності.

Активна потужність P_o , споживана трансформатором при холостому ході, витрачається на покриття втрат у трансформаторі.

Ці втрати складаються з:

а) втрат у сталі магнітопровода (втрати від гістерезису й вихрових струмів) P_c ;

б) втрат в обмотці, до якої підводить напруга при досвіді (втрати на нагрівання обмотки холостого ходу)

$$P_m = 3I_o^2 r_\phi$$

Втрати потужності в обмотці трансформатора, внаслідок малих величин струму холостого ходу й активного опору самої обмотки, практично незначні й ними звичайно зневажають. Уважають, що вся потужність, споживана трансформатором при холостому ході, витрачається на покриття втрат у сталі, тобто

$$P_o = P_c$$

Досвід холостого ходу трансформатора роблять із метою визначення величин струму холостого ходу I_o й потужності холостого ходу P_o при номінальному подводимому напрузі (U_n і номінальній частоті f_n), а також з метою зняття характеристик холостого ходу).

Характеристики холостого ходу трансформатора являють собою залежності струму I_o , споживаної потужності P_o й коефіцієнта потужності

$\cos\varphi_{\text{про}}$ від подвдимого напруги до первинної обмотки U_0 при розімкнутій вторинній, тобто

I_0 , P_0 й $\cos\varphi_{\text{про}} = f(U_0)$ при $f_n = \text{const}$ й $I_2 = 0$. Схема для проведення досвіду холостого ходу представлена на мал. 5.2.

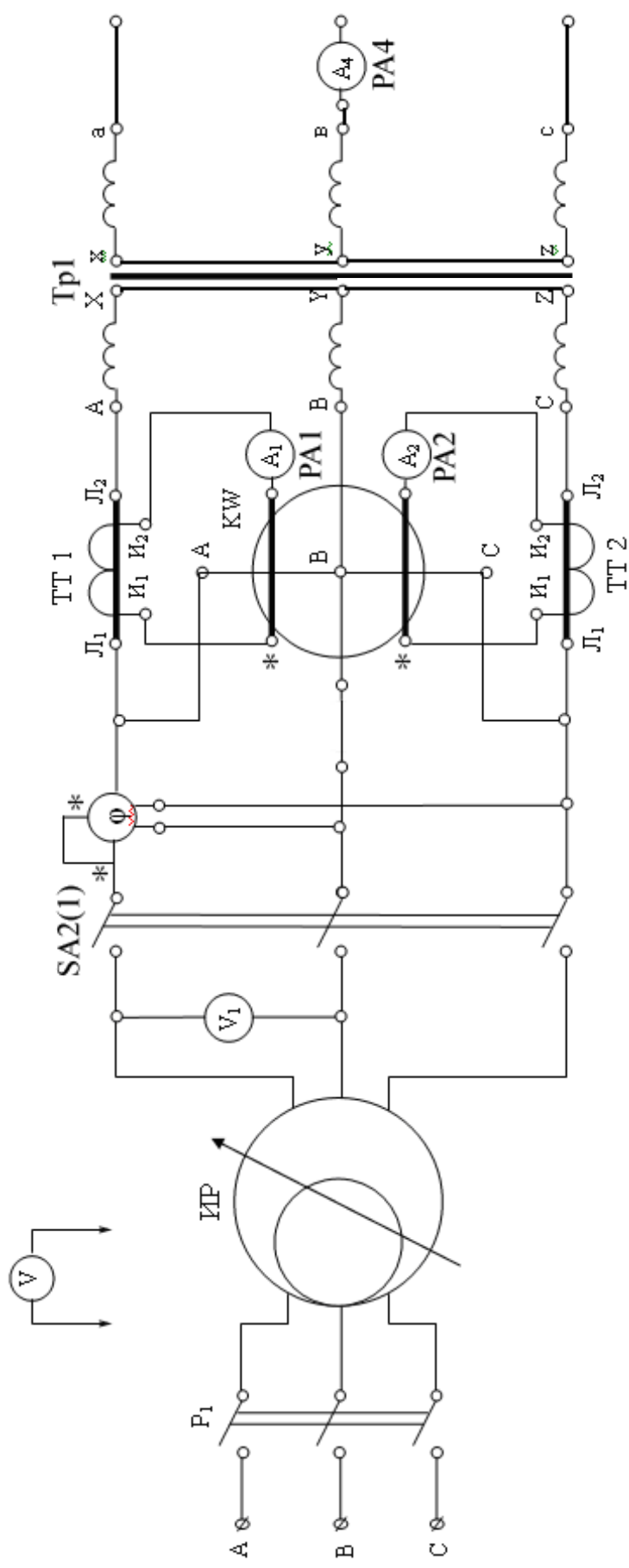


Рис. 5.2. Схема холостого хода трансформатора.

Необхідні обчислення роблять по формулах:

$$U_o = \frac{1}{3}(U_{AB} + U_{BC} + U_{AC}); \quad I_o = \frac{1}{3}(I_A + I_B + I_C);$$

$$\cos \varphi_o = \frac{P_o}{\sqrt{3}U_o I_o}$$

На підставі даних досвіду будують характеристики холостого ходу, зразковий вид яких представлений на мал. 5.6.

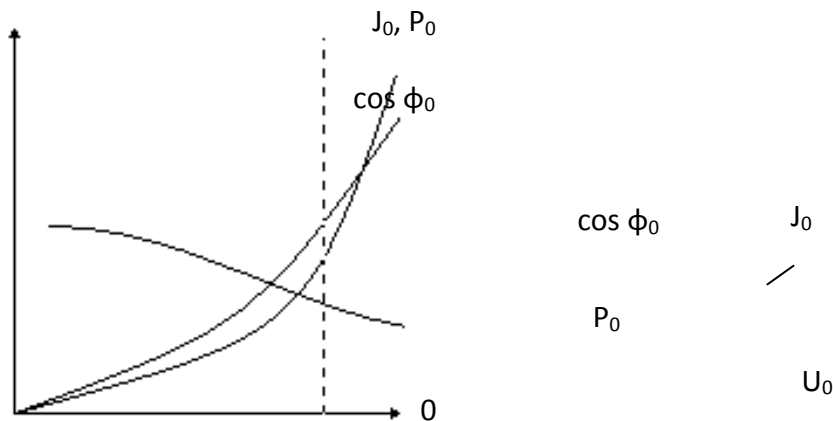


Рис. 5.6 - Характеристики холостого ходу трансформатора

Характер залежності струму холостого ходу I_o від подведеного напруги U_o визначається його реактивним складовою, зміна якого обумовлено насиченням магнітного ланцюга трансформатора. Якщо подвоєне напруга значно менше номінального, то магнітний ланцюг не насичений і залежність $I_o = f(U_o)$ прямолінійна. У міру насичення реактивна складова струму холостого ходу росте швидше подведеного напруги й крива $I_o = f(U_o)$ відгинається догори. При насиченому стані магнітного ланцюга трансформатора незначне збільшення подведеного напруги приводить до різкого збільшення струму холостого ходу. Втрати холостого ходу P_o , як указувалося вище, витрачаються в основному на покриття втрат у сталі, пропорційних квадрату індукції й частоті в ступені (1.2 – 1.3). За умовою досвіду частота залишається незмінною, індукція ж практично пропорційна подвоєному напрузі $B \sim U_o$. Отже, втрати холостого ходу P_o практично пропорційні квадрату подвоєного напруги. Залежність $P_o = f(U_o)$ на графіку буде мати вигляд параболи.

Характер кривій $\cos \varphi_o = f(U_o)$ порозумівається зміною реактивної складової струму холостого ходу. У міру насичення магнітного ланцюга трансформатора реактивна складова струму холостого ходу різко зростає. Кут зрушення між струмом холостого ходу й подводимим напругою збільшується, а коефіцієнт потужності $\cos \varphi_{\text{про}}$ зменшується. На підставі даних досвіду або по характеристиках холостого ходу визначають значення струму I_o , потужності P_o й коефіцієнта потужності $\cos \varphi_{\text{про}}$, які відповідають номінальній напрузі, подводимому до первинної обмотки трансформатора.

Струм холостого ходу у відсотках від номінального визначають по формулі:

$$I_{o\%} = \frac{I_o}{I_n} \cdot 100\%$$

Активну й реактивну складові його обчислюють по формулах:

$$I_{oa} = I_o \cos \varphi_o; \quad I_{op} = I_o \sin \varphi_o;$$

Крім того, за даними досвіду визначають параметри холостого ходу трансформатора:

а) повний фазний опір обмотки $z_o = \frac{U_{o\phi}}{I_{o\phi}};$

б) активну складову повного фазного опору

$$r_o = z_o \cos \varphi_o \text{ або } r_o = \frac{P_o}{3I_{o\phi}^2};$$

в) реактивну складову повного фазного опору обмотки

$$x_o = \sqrt{z_o^2 - r_o^2}$$

Параметри холостого ходу трансформатора залежать від насичення магнітного ланцюга й змінюються зі зміною подводимого до трансформатора напруги. Практичний інтерес ці величини представляють для номінального подводимого до трансформатора напруги, при якому звичайно їх і визначають.

4 Дослід короткого замикання

Коротке замикання є одним з аварійних режимів при експлуатації трансформатора. Термічна й ударна дія різко зрослих струмів в обмотках ($10\text{--}20 I_n$) за певних умов може вивести трансформатор з ладу.

Досвід короткого замикання проводять при зниженому підводимому напрузі ($2\text{--}10\% U_n$), що викликає в обмотках трансформатора безпечні величини струмів короткого замикання.

Метою цього досвіду є визначення напруги й втрат короткого замикання, а також зняття характеристик короткого замикання трансформатора.

Напругою короткого замикання двухобмоточного трансформатора називають така знижена напруга при номінальній частоті, що, будучи підведеним до висновків однієї обмотки при накоротко замкнутої іншої, створює в обох обмотках номінальні струми.

При досвіді короткого замикання втрати потужності в трансформаторі складаються із втрат у сталі сердечника. Втрати в сталі сердечника трансформатора, внаслідок зниженого підводимого напруги, а отже, і малої індукції в сердечнику, незначні й ними можна зневажити. З достатньою точністю можна прийняти, що потужність, споживана трансформатором при короткому замиканні, успадковується на покриття електричних втрат в обмотках і ними можна зневажити. З достатньою точністю можна прийняти, що потужність, споживана трансформатором при короткому замиканні, успадковується на покриття втрат в обмотках трансформатора:

$$P_k = P_{m_1} + P_{m_2} = 3I_{1\phi}^2 r_{1\phi} + 3I_{2\phi}^2 r_{2\phi} = 3I_{1\phi}^2 (r_1 + r_2) = 3I_{1\phi}^2 r_k$$

Характеристики короткого замикання являють собою залежності підводимого напруги U_k , споживаної потужності P_k і коефіцієнта потужності $\cos\varphi_{до}$ від струму в первинній обмотці трансформатора $I_{1до}$ при накоротко замкнутої вторинної, тобто

$$U_k, P_k, \cos\varphi_{до} = f(I_{1к}) \text{ при } f_n = \text{const} \text{ й } U_2 = 0$$

Схема для проведення досвіду короткого замикання трансформатора представлена на мал. 5.7.

Для зміни підводимого напруги при проведенні досвіду в схемі використовують індукційний регулятор. До включення трансформатора на напругу переконуються в том, що на вихідних затисках індукційного регулятора можна встановити напругу, близьке до нуля або не більше $1\text{--}2\%$ від номінального.

Вимірвальні прилади в схемі досвіду підбирають по номінальному струмі обмотки, до якої підводять напруга, і по напрузі короткого замикання.

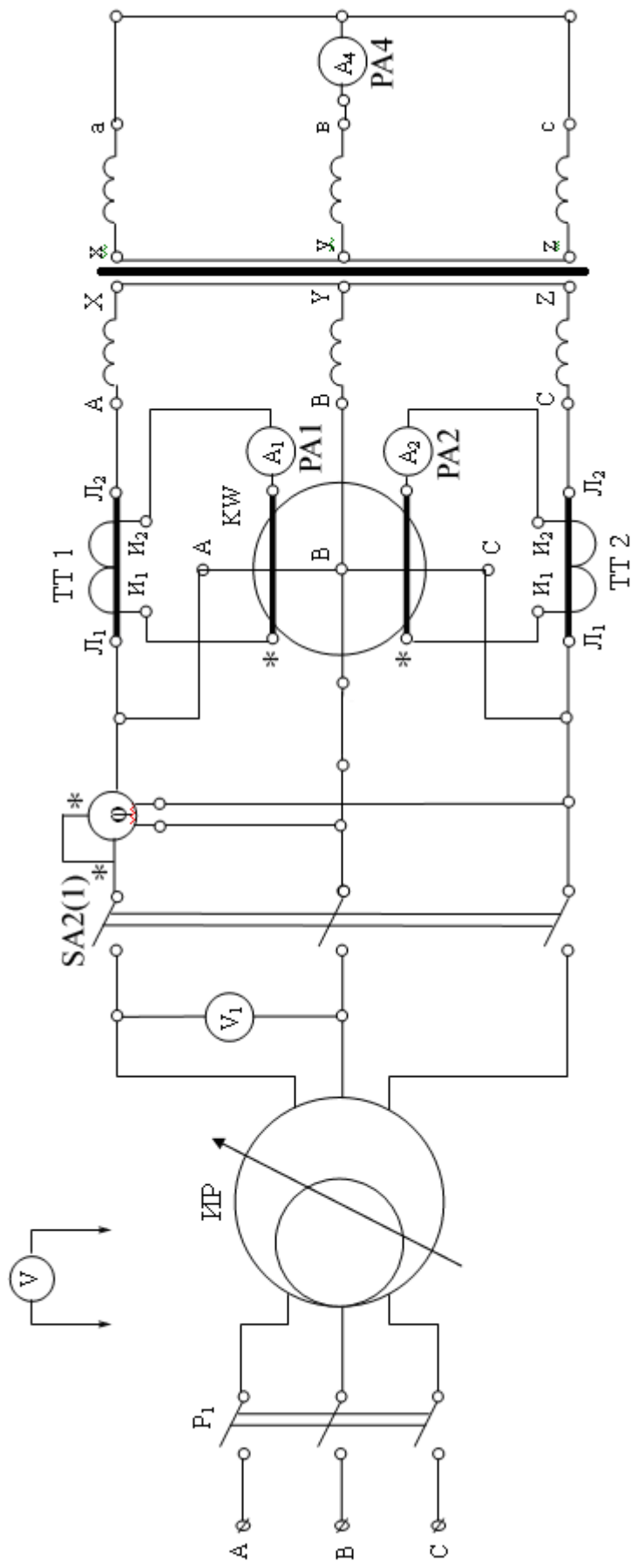


Рис. 5.7. Схема опыта короткого замыкания трансформатора

Результати вимірів й обчислень заносять у табл. 4. Необхідні обчислення роблять по формулах:

$$U_{\kappa} = \frac{1}{3}(U_{AB} + U_{BC} + U_{AC}); \quad I_{1_{\kappa}} = \frac{1}{3}(I_A + I_B + I_C);$$

$$\cos \varphi_{\kappa} = \frac{P_{\kappa}}{\sqrt{3}U_{\kappa}I_{1_{\kappa}}}; \quad Z_{\kappa} = \frac{U_{\kappa}}{\sqrt{3}I_{1_{\kappa}}}; \quad r_{\kappa} = \frac{P_{\kappa}}{3I_{1_{\kappa}}^2}; \quad x_{\kappa} = \sqrt{Z_{\kappa}^2 - r_{\kappa}^2}$$

На підставі даних досвіду будують характеристики короткого замикання, зразковий вид яких представлений на мал. 24.8.

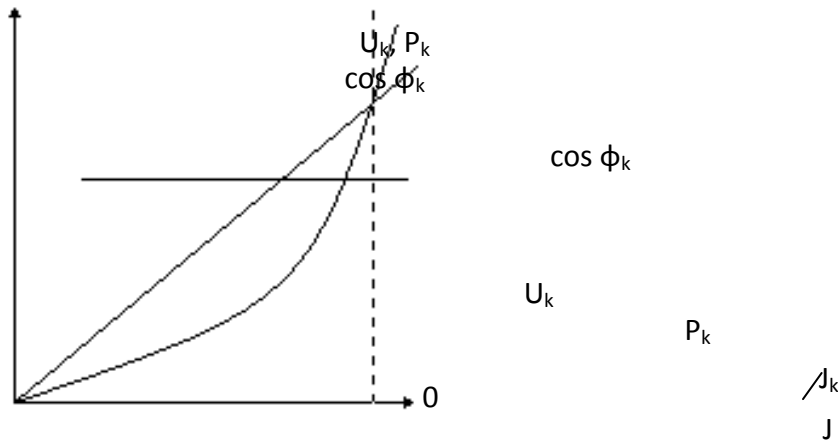


Рис. 5.8 Характеристики короткого замикання трансформатора

Залежність $U_{\kappa} = f(I_{1_{\kappa}})$ внаслідок слабкого насичення магнітного ланцюга трансформатора при досвіді короткого замикання має вигляд прямої. При цьому $\cos \varphi_{\text{до}} = \text{const}$, а залежність $\cos \varphi_{\text{до}} = f(I_{1_{\kappa}})$ на графіку зображується прямій, паралельній осі абсцис.

Втрати короткого замикання (втрати на нагрівання обмоток) пропорційні квадрату струму $I_{1_{\kappa}}$. Отже, залежність $P_{\kappa} = f(I_{\kappa})$ має вигляд параболи. Напряга короткого замикання звичайно виражають у відсотках від номінальної напруги тієї обмотки, до якої при проведенні досвіду підводили напругу:

$$u_{\kappa\%} = \frac{U_{\kappa\phi}}{U_{\text{нф}}} \cdot 100 = \frac{I_{\text{нф}}}{U_{\text{нф}}} \cdot 100\%$$

Значення напруги короткого замикання перебуває в межах 3-8% у трансформаторів малої й середньої потужності, а 8-15% у високовольтних і потужних трансформаторів.

Активні й реактивну складові напруги короткого замикання визначають по формулах:

$$u_{\kappa a} = \frac{I_{нф} \cdot r_{\kappa}}{U_{нф}} \cdot 100\%, \text{ або } u_{\kappa a} = u_{\kappa} \cdot \cos \varphi_{\kappa},$$

$$u_{\kappa p} = \frac{I_{нф} \cdot x_{\kappa}}{U_{нф}} \cdot 100\% \text{ або } u_{\kappa p} = u_{\kappa} \cdot \sin \varphi_{\kappa}$$

Знаючи напругу короткого замикання і його складові, можна визначити величини сталих й ударного струмів короткого замикання, які можуть виникнути в умовах експлуатації.

Сталий струм короткого замикання визначають по формулі:

$$I_y = \frac{U_{нф}}{z_{\kappa}} = \frac{I_{нф}}{u_{\kappa} \%} \cdot 100\%$$

Ударний струм короткого замикання визначають по формулі:

$$i_{y0} = 100 \cdot \sqrt{2} \frac{I_{нф}}{u_{\kappa} \%} \left(1 + e^{-\frac{u_{\kappa a} \pi}{u_{\kappa p}}} \right)$$

Знаючи складові напруги короткого замикання, можна визначити зміна напруги трансформатора, тобто ту арифметичну різницю між напругами на затисках вторинної обмотки трансформатора при холостому ході й номінальному струмі навантаження, номінальній частоті й номінальній напрузі, подводимом до первинної обмотки.

Згідно Дст 401-41 зміна напруги обчислюють по формулі:

$$\Delta U \% = \alpha (u_{\kappa a} \cos \varphi_2 + u_{\kappa p} \sin \varphi_2) + \alpha^2 \frac{(u_{\kappa p} \cos \varphi_2 - u_{\kappa a} \sin \varphi_2)^2}{200}$$

де $u_{\kappa a}$ й $u_{\kappa p}$ - складові напруги короткого замикання, виражені у відсотках;

$\alpha = \frac{S_2}{S_{2н}} = \frac{I_2}{I_{2н}}$ - коефіцієнт навантаження трансформатора;

$\cos\varphi_2$ - коефіцієнт потужності вторинного ланцюга.

Коли для визначення $\Delta U\%$ не потрібно особливої точності, другим членом суми зневажають і з достатнім ступенем точності вважають, що

$$\Delta U\% = \alpha(u_{k_a} \cos \varphi_k + u_{k_p} \sin \varphi_k).$$

Задаючись значеннями α - 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25 при певнім значенні $\cos\varphi_2$, по вищенаведених формулах обчислюють значення $\Delta U\%$.

Результати розрахунків зводять у табл. 5

Таблиця 5 - Результати розрахунків зміни напруги

α	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25
$\Delta U\%$					

На підставі даних розрахунків будують залежності $\Delta U\% = f(\alpha)$, зразковий вид яких представлений на мал. 24.9.

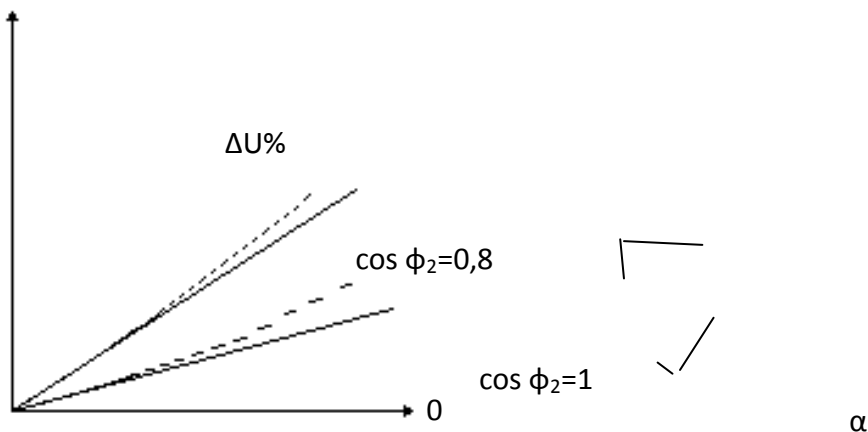


Рис. 5.9 - Залежність зміни напруги трансформатора від кратності навантаження

На цьому малюнку пунктирною лінією зображена залежність $\Delta U\% = f(\alpha)$, коли $\Delta U\%$ обчислюють по формулі з обліком другого члена суми, а контурної - без обліку його.

Маючи залежність $\Delta U\% = f(\alpha)$, можна побудувати зовнішню характеристику трансформатора $U_2 = f(\alpha)$. Для цього визначають ряд

значень вторинної напруги трансформатора при різних коефіцієнтах навантаження по формулі:

$$U_2 = U_{2\text{про}} - \Delta U,$$

де $U_{2\text{об}}$ – напругу вторинної обмотки трансформатора при холостому ході;

ΔU - зміна напруги.

Необхідність одержання зовнішньої характеристики вищевказаним способом буває при випробуванні потужних трансформаторів, досвід безпосереднього навантаження яких практично неможливий.

5 Визначення коефіцієнта корисної дії трансформатора за даними досвідів холостого ходу й короткого замикання

Визначення коефіцієнта корисної дії за даними виміру що віддає й споживаної потужностей при випробуванні трансформатора під навантаженням найчастіше не може дати досить точних результатів (при випробуванні трансформаторів малої й середньої потужності), є дуже громіздким (при випробуванні трансформаторів середньої потужності), а в багатьох випадках є практично нездійсненним (при випробуванні трансформаторів великої потужності).

$$\eta = 1 - \frac{\sum P}{P_2 + \sum P} = 1 - \frac{P_o + a^2 P_k}{aS_n \cos\varphi_2 + P_o + a^2 P_k},$$

де S_n – номінальна потужність трансформатора;

α - коефіцієнт навантаження трансформатора;

P_o - втрати в сталі, узяті з досвіду холостого ходу при номінальному подводимом напрузі;

P_k - втрати в обмотках трансформатора, узяті з досвіду короткого замикання при номінальних струмах в обмотках і перелічені на температуру 75°C по формулі:

$$P_k = P_{k[t^\circ]} \left[1 + 0,004(75^\circ - t^\circ) \right] \text{ або } P_k = P_{k[t^\circ]} \frac{310}{235 + t^\circ},$$

$\cos\varphi_2$ – коефіцієнт потужності вторинного ланцюга.

Задаючись значеннями $\alpha = 0,1; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25$ і \cos порівн₂ = 1 й 0,8, роблять аналітичний розрахунок коефіцієнта корисної дії й будують залежність

$$\eta = f(\alpha)$$

Результати розрахунків зводять у табл. 6.

Таблиця 6 - Результати розрахунків

№ п/п	α	$P_2 = a S_H \cos \varphi_2$		P_o	P_k	aP_k	η	
		$\cos\varphi_2=1$	$\cos\varphi_2=0,8$				$\cos\varphi_2=1$	$\cos\varphi_2=0,8$

Значення коефіцієнта корисної дії трансформатора буде невеликим при такому навантаженні, при якій втрати в обмотках дорівнюють втратам у сталі, тобто $P_o = a^2 P_k$. Звідси кратність завантаження трансформатора, при якій коефіцієнт корисної дії буде найбільшим, дорівнює

$$a_{opt} = \sqrt{\frac{P_o}{P_k}}$$

Це навантаження становить (0,5?0,7) номінальної потужності трансформатора.

5 Висновки:

6 Контрольні питання:

1. Як визначити омичний опір обмоток трансформатора?
2. Що таке коефіцієнт трансформації трансформатора і як його визначають?
3. Які характерні величини трансформатора визначають досвідом холостого ходу?
4. Чому при холостому ході трансформатора можна зневажити втратами в обмотках і вважати, що вся споживана трансформатором потужність витрачається на покриття втрат у сталі?
5. Що називають характеристиками холостого ходу трансформатора?
6. Як роблять досвід по зняттю характеристик холостого ходу?
7. Чому залежність $I_o = f(U_o)$ не прямолінійна?
8. Чим обумовлюється зменшення коефіцієнта потужності холостого ходу при збільшенні подведеного до трансформатора напруги?
9. Чому залежність $P_o = I(U_o)$ представлена на графіку у вигляді параболи?
10. Які характерні величини трансформатора визначають досвідом короткого замикання?
11. Чому при короткому замиканні трансформатора можна зневажити втратами в сталі й уважати, що вся споживана трансформатором потужність витрачається на покриття втрат в обмотках?

12. Що називають характеристиками короткого замикання трансформатора?
13. Як знімають характеристики короткого замикання?
14. Що називають напругою короткого замикання трансформатора і як його визначають?
15. Чому при досвіді короткого замикання трансформатора струм у первинній обмотці змінюється прямо пропорційно зміні подведеного до неї напруги, а коефіцієнт потужності при цьому залишається постійним?
16. Чому залежність $P_k = f(I_k)$ має вигляд параболи?
17. Як визначають величини сталих й ударного струмів короткого замикання, які можуть виникнути при короткому замиканні в умовах експлуатації трансформатора?
18. Що така зміна напруги трансформатора і як його визначають за даними досвіду короткого замикання?
19. Як визначають коефіцієнт корисної дії трансформатора за даними досвідів холостого ходу й короткого замикання?
20. Які переваги непрямого методу визначення к.п.буд. трансформатора перед прямим або безпосереднім методом?

Література:

Электрические машины: учебник для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования/ М. М. Кацман. – 6-е изд., испр. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 496 с.

Інструкція для виконання лабораторної роботи №2

Тема: Дослідження асинхронного трифазного двигуна з фазним ротором

1 Мета:

- 1.1 Вивчити будову трифазного АД з фазним ротором.
- 1.2 Дослідити трифазну асинхронної машини з фазним ротором.
- 1.3 Зняти механічні характеристики машини в руховому режимі.

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

- 2.1 Аркуші паперу формату А4.
- 2.2 Набір креслярських приладів.
- 2.3 Стенд для виконання лабораторної роботи №2.
- 2.4 Методичні вказівки для виконання лабораторної роботи №2.

3 Теоретичні відомості

Асинхронні двигуни – найбільш поширені із електричних двигунів. Із загальної кількості електродвигунів, що експлуатуються у народному господарстві, асинхронні складають близько 90%. Це обумовлено простотою їх конструкції та значною експлуатаційною надійністю.

Пристрій асинхронного двигуна у спрощеному вигляді показано на рисунку 1.1.

Асинхронний двигун складається із двох основних частин: нерухомої – статору і рухомої – ротору.

Статор – являє собою корпус 1 із запресованим у ньому циліндричним осердям 2, на внутрішній поверхні якого у спеціальних пазах укладена трьохфазна обмотка 3.

Для зменшення втрат потужності в сталі, осердя статору набирається із ізольованих одне від одного листів електротехнічної сталі. Обмотка статору виконується таким чином, щоб після її підключення до мережі трьохфазного змінного струму, створювалось обертове магнітне поле.

На валу двигуна закріплене циліндричне осердя ротора 4. У пазах якого розміщується обмотка 5. Осердя ротору також набирається із листової електротехнічної сталі. В залежності від конструкції обмотки ротора розрізняють двигуни із фазним і короткозамкненим ротором. У двигунів із фазним ротором обмотки ротора і статора аналогічні. Затискачі обмотки ротора підключаються до контактних кілець і через щітки з'єднуються із зовнішнім колом. Обмотка ротора двигуна із короткозамкненим ротором виконується у вигляді металевих стержнів, які на торцях з'єднуються один з одним (замикаються накоротко) металевими кільцями. Короткозамкнена обмотка не може бути ввімкнена у зовнішнє коло.

При підключенні двигуна до мережі трьохфазного змінного струму, обмоткою статора створюється постійне за величиною, але обертове у просторі із частотою n_1 магнітне поле.

Частота обертання поля залежить від частоти трьохфазного струму f_1 , що живить обмотку, і числа пар полюсів цієї обмотки p :

$$n_1 = \frac{60}{p} \cdot f_1. \quad (1.1)$$

Обертове магнітне поле перетинає обмотки статора і ротору. Завдяки цьому у обмотці статора наводиться ЕРС E_1 , а у обмотці ротору – E_2 ;

$$E_1 = 4.44 \cdot K_{o61} \cdot W_1 \cdot \Phi \cdot f_1, \quad (1.2)$$

$$E_2 = 4.44 \cdot K_{o62} \cdot W_2 \cdot \Phi \cdot f_2. \quad (1.3)$$

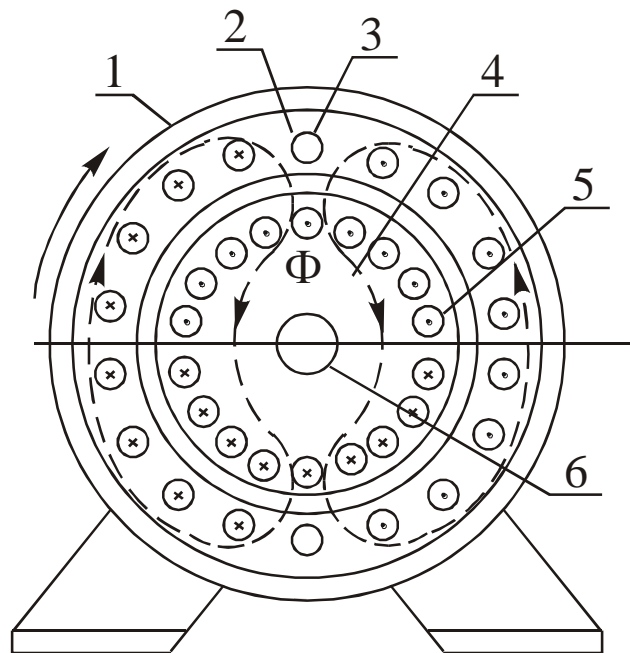


Рисунок 1.1 – Пристрій асинхронного двигуна

ЕРС E_2 викликає струм ротору I_2 , за рахунок взаємодії якого із обертовим магнітним полем, виникає обертовий момент, під дією якого ротор почне обертатись у напрямку обертання поля із частотою n . Для зміни напрямку обертання поля, відповідно, і ротора, необхідно змінити порядок зміни фаз при підключенні обмотки статора до джерела трьохфазної напруги. Частота обертання поля n_1 , завжди більше частоти обертання ротора n .

Співвідношення між частотами обертового поля і ротору оцінюється величиною, яка називається ковзанням S :

$$S = \frac{n_1 - n}{n}. \quad (1.4)$$

У сучасних асинхронних двигунах ковзання при номінальному навантаженні складає 0.015 – 0.05.

Електрична рівновага кожної фази статора характеризується рівнянням:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + r_1 \cdot \dot{I}_1 + j \cdot x_1 \cdot \dot{I}_1 = -\dot{E}_1 + z_1 \cdot \dot{I}_1. \quad (1.5)$$

Опір фазних обмоток статора z_1 звичайно невеликий, тому падіння напруги $z_1 \cdot \dot{I}_1$ не перевищує 0.05 U_1 при номінальному навантаженні двигуна.

ЕРС E_2 , що індуктована в обмотці ротору, врівноважена падінням напруги у активному r_2 і індуктивному x_2 опорі розсіювання цієї обмотки, тому рівняння електричної рівноваги кола ротора записується як

$$\dot{E}_2 = r_2 \cdot \dot{I}_2 + j \cdot x_2 \cdot \dot{I}_2 = z_2 \cdot \dot{I}_2. \quad (1.6)$$

Із рівняння (1.6) виходить, що струм ротору

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2}{r_2 + j \cdot x_2}$$

бо

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_{2H}}{\frac{r_2}{S} + j \cdot x_{2H}}, \quad (1.7)$$

де $E_{2H} = \frac{E_2}{S}$ – е.р.с, наведена в обмотці ротора, коли він не рухомий;

$x_{2H} = \frac{x_2}{S}$ – індуктивний опір розсіювання фази обмотки не рухомого ротора.

При пуску двигуна $S = 1$ і, як впливає з виразу (1.7), струм ротора I_2 , а значить і струм статора I_1 будуть максимальними. При прямому ввімкненні асинхронного двигуна пусковий струм перевищує номінальний в 5-7 раз. Для обмеження пускового струму двигунів з фазним ротором на час пуску в коло ротора вмикають додатковий активний опір. Збільшення активного опору

кола ротора обумовлює збільшення пускового моменту двигуна (рисунок 1.2).

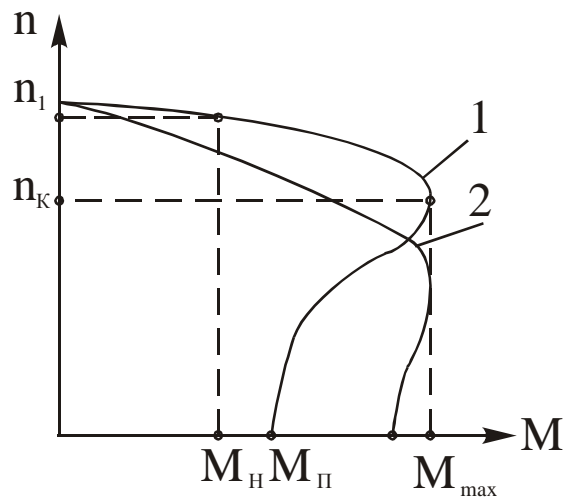


Рисунок 1.2 – Механічні характеристики асинхронного двигуна:

1 – природна ($r_{2d} = 0$);

2 – штучна ($r_{2d} \neq 0$).

Обертовий магнітний потік створюється сумісною дією намагнічуючих сил статора і ротора, які залежать від кількості фаз статора m_1 , ротора m_2 , а також від обмоточних коефіцієнтів $K_{об1}$ і $K_{об2}$.

$$m_1 \cdot \dot{I}_0 \cdot W_1 \cdot K_{об1} = m_1 \cdot \dot{I}_1 \cdot W_1 \cdot K_{об1} + m_2 \cdot \dot{I}_2 \cdot W_2 \cdot K_{об2}. \quad (1.8)$$

Це рівняння називають рівнянням магніторушійних сил асинхронного двигуна. На підставі (1.8) струм статора можемо представити в вигляді намагнічуючої і компенсуючої размагнічуваної дії струму ротора (приведений струм ротора):

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \frac{m_2 \cdot W_2 \cdot K_{об2}}{m_1 \cdot W_1 \cdot K_{об1}} \cdot \dot{I}_2 = \dot{I}_0 - \dot{I}'_2. \quad (1.9)$$

За рахунок намагнічуваної складової I_0 асинхронний двигун споживає порівнянно великий струм холостого ходу $I_{xx} = (0.2 \dots 0.6) \cdot I_{1H}$.

Важливе значення при оцінці механічних властивостей двигуна має залежність $n = f(M)$, що називається механічною характеристикою. Механічну характеристику можна побудувати на підставі залежностей:

$$n = n_1 \cdot (1 - S). \quad (1.10)$$

$$M = \frac{p \cdot m_1 \cdot U_{\phi 1}^2 \cdot r_2' / S}{2f_1 \cdot \pi \cdot \left[\left(r_1 + r_2' / S \right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right]}. \quad (1.11)$$

Характерними точками на механічній характеристиці (рисунок 1.2) є:

а) пусковий момент M_{Π} тобто момент, що виникає в першу мить після підключення двигуна, коли $p = 0$; щоб двигун можна було запустити, його пусковий момент повинен бути більше моменту навантаження;

б) максимальний (критичний) момент M_{\max} , який здатен розвинути двигун; від величини максимального моменту залежить перенавантажувальна здатність двигуна, тобто здатність короткочасно витримувати навантаження, більше за номінальне;

в) номінальний момент M_n , якому відповідає довгостроково припустиме навантаження двигуна, тобто навантаження на забезпечення якого він розрахований.

Ступінь залежності частоти обертання асинхронного двигуна від навантаження можна змінити за рахунок зміни активного опору кола ротора. Якщо в коло ротора ввести додатковий опір $r_{2д}$, це призведе до більшої зміни швидкості при зміні навантаження на валу двигуна (рисунок 1.2, крива 2). Збільшення активного опору кола ротора забезпечує збільшення пускового моменту.

Стійка робота асинхронного двигуна при зміні навантаження на його валу має місце на ділянці механічної характеристики, яка відповідає зміні частоти n_1 від n до n_k .

Крім механічної характеристики, експлуатаційні властивості асинхронного двигуна характеризуються його коефіцієнтом потужності $\cos\phi$, ККД η , моментом на валу M_2 , струмом статора I_1 , і частотою обертання n . Залежність цих величин від потужності на валу двигуна P_2 називають робочими характеристиками асинхронного двигуна. Ці характеристики показані на рисунку 1.3.

Асинхронний двигун витрачає електричну енергію не тільки на корисну механічну роботу і нагрівання статора і ротора, а також періодично частково запасує її в магнітному полі машини. Тому енергетичні процеси двигуна характеризуються активною потужністю P_1 й реактивною потужністю Q_1 . Співвідношення між ними оцінюється коефіцієнтом потужності

$$\cos\phi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}}. \quad (1.12)$$

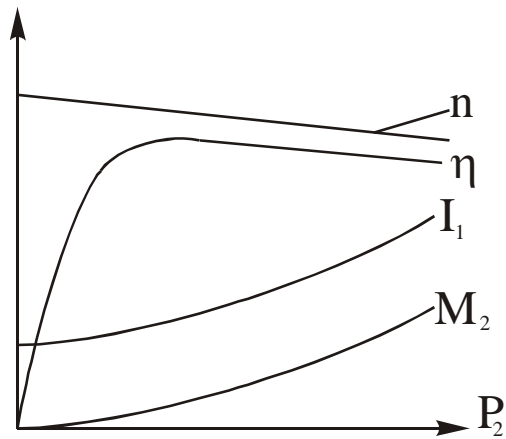


Рисунок 1.3 – Робочі характеристики асинхронного двигуна

При холостому ході двигуна, коли енергія витрачається на покриття невеликих втрат у статорі і роторі, а також незначних механічних втрат, активна потужність P_1 мала, а реактивна потужність Q_1 , що витрачається на збудження обертового магнітного поля – велика. Тому $\cos\varphi_1$ буде низьким, звичайно він дорівнює 0,08-0,2.

При збільшенні навантаження на валу двигуна активна потужність збільшується, а реактивна залишається практично незмінною, тому $\cos\varphi_1$ зростає і досягає свого максимуму (0,75-0,9) при навантаженнях, близьких до номінального. При навантаженнях, більших за номінальне, $\cos\varphi_1$ знижується, що пояснюється посиленням полів розсіювання, отже, більш швидким ростом реактивної потужності в порівнянні з активною.

Коефіцієнт корисної дії асинхронного двигуна визначається відношенням його корисної механічної потужності P_2 до потужності P_1 , споживаної з мережі:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1}, \quad (1.13)$$

де ΔP – сумарні втрати в двигуні.

ККД асинхронного двигуна залежить від навантаження на його валу і досягає максимуму, коли постійні втрати дорівнюють змінним. До постійних втрат відносяться; втрати в сталі ΔP_c , механічні $\Delta P_{\text{МЕХ}}$ і додаткові ΔP_d . Втрати в обмотці статора $\Delta P_{\text{Н1}} = m_1 \cdot r_1 \cdot I_1^2$, і втрати в обмотці ротора $\Delta P_{\text{Н2}} = m_2 \cdot r_2 \cdot I_2^2$ являються змінними. Момент на валу двигуна M_2 зв'язаний з корисною потужністю P_2 наступним відношенням:

$$M_2 = \frac{P_2}{2\pi \cdot n_2}. \quad (1.14)$$

У реальній роботі в якості навантаження асинхронного двигуна використовують генератор постійного струму, що працює на навантажувальний опір. По вимірюванням струму генератора $I_{\text{ген}}$ і напрузі на його затискачах $U_{\text{ген}}$, а також по відомому його ККД $\eta_{\text{ген}}$ (заданий у вигляді залежності $\eta_{\text{ген}} = f(P_{\text{ген}})$) визначають потужність P_2 на валу двигуна:

$$P_2 = \frac{U_{\text{ген}} \cdot I_{\text{ген}}}{\eta_{\text{ген}}}, \quad (1.15)$$

яка потім використовується при розрахунку і побудові робочих характеристик.

1.3 Опис лабораторної установки

Лабораторна установка (рисунок 1.4) складається з випробовуваного асинхронного двигуна АДФ₅, генератора постійного струму МПТ₅ і лабораторного стенда, на якому розташована пускорегулююча і вимірювальна апаратура.

Струми двигуна I_A і I_C виміряються амперметрами A_1 та A_2 , а потужність – кіловатметром, що включаються через трансформатори струму ТТ₁ і ТТ₂, тому межі виміру і ціна поділки цих приладів залежать від встановленого коефіцієнта трансформації трансформаторів струму.

Ціна поділу приладів з врахуванням $K_{\text{ТТ}}$ визначається наступним чином:

$$C = K_{\text{ТТ}} \cdot C_n, \quad (1.16)$$

де $K_{\text{ТТ}}$ – коефіцієнт трансформації трансформатора струму;

C_n – ціна поділу вимірювального приладу.

Швидкість обертання двигуна контролюється тахогенератором ТГ.

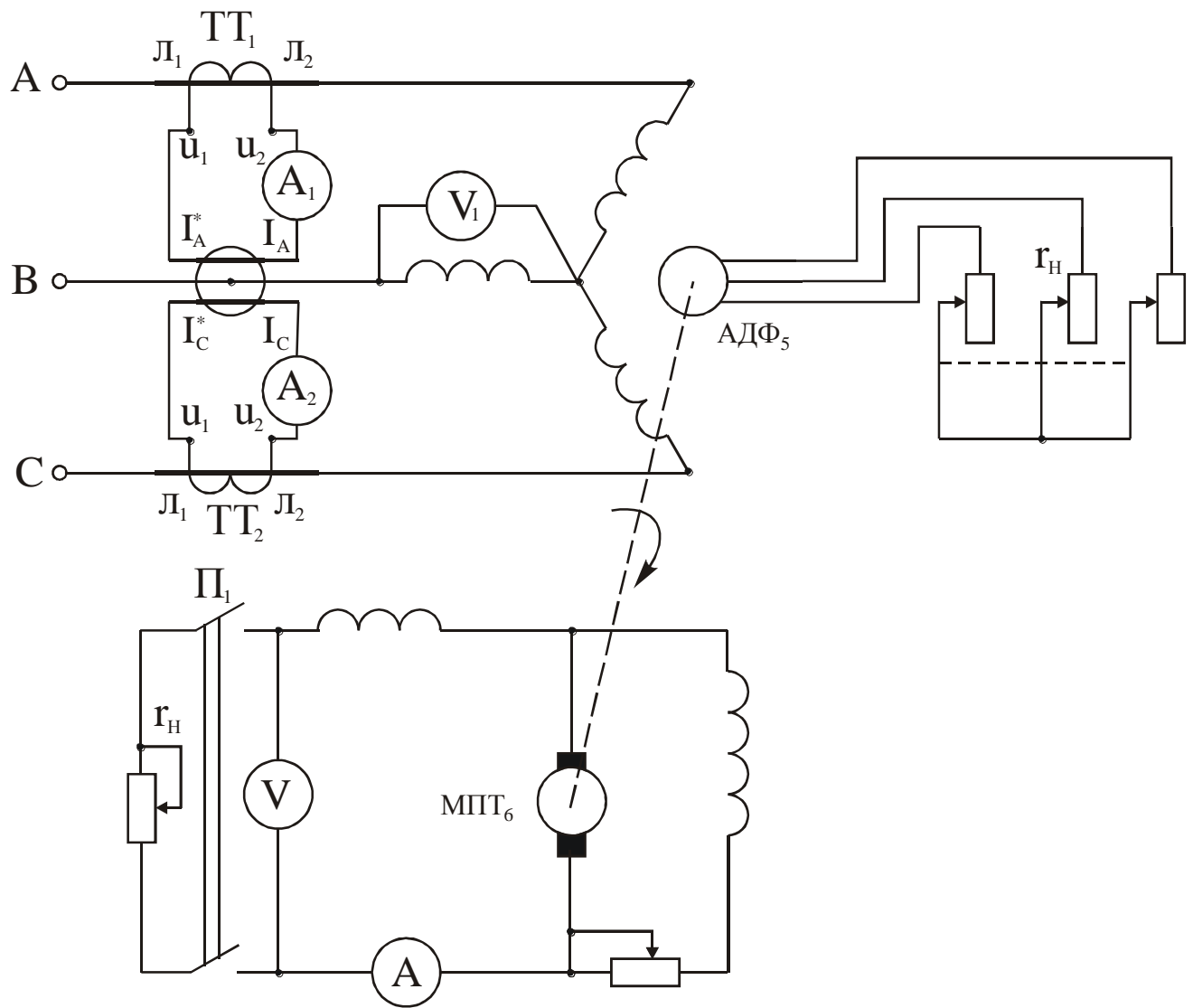


Рисунок 1.4 – Схема дослідження трифазного асинхронного двигуна з фазним ротором.

4 Хід роботи

1. Ознайомитися з будовою асинхронного двигуна з фазним ротором.
2. Записати паспортні дані двигуна.
3. Підготувати лабораторний стенд до роботи, виконавши наступні операції:
 - а) зібрати схему (рисунок 1.4);
 - б) поставити пусковий реостат у пускове положення (значення r_H повинне бути максимальним);
 - в) встановити коефіцієнти трансформації трансформаторів струму $ТТ_1$ і $ТТ_2$, обрані з врахуванням паспортних даних двигуна.
4. Зробити пуск і реверсування двигуна.
5. Досліджувати вплив навантаження на роботу двигуна, змінюючи

значення від нуля до номінального. Навантаження змінюється за рахунок зміни опору r_n навантажувального генератора МПТ₆. Експериментальні і розрахункові дані досліджень асинхронного двигуна з фазним ротором записати в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Дослідження асинхронного двигуна

№	Результати вимірювання							Результати розрахунків						
	I_A	I_C	U_Φ	P_1	n	U_r	I_r	P_r	η_r	ω	M_2	$\cos \varphi_1$	η	P_2
	А	А	В	кВ Т	Об/х В	В	А	Вт	%	Рад/ с	Н·м	Д/од	%	Вт
1	3,6	3,6	230	0,5	1480	170	0	0	0	155	0	0,201	0	0
2	3,8	3,8	230	1	1470	160	2,5	400	60	153,9	4,33	0,381	66,7	666,7
3	4,2	4,2	230	1,5	1450	150	5	750	75	151,8	6,59	0,518	66,7	1000
4	4,4	4,4	230	1,9	1440	145	7,5	1090	78,5	150,8	9,21	0,626	73,1	1388,5
5	4,8	4,8	230	2,1	1420	135	10	1350	78,5	148,7	11,56	0,634	81,9	1719,7
6	5,2	5,2	230	2,3	1410	120	12,5	1500	78,5	147,7	12,94	0,641	83,1	1910,8
7	5,4	5,4	230	2,6	1400	90	17,5	1575	79	146,6	13,6	0,698	76,7	1993,7

1.5 Обробка результатів експерименту

1 Використовуючи дані досліджень, записані в таблиці 1.1, розрахували: коефіцієнт потужності $\cos \varphi_1$, корисну потужність P_2 , корисний момент M_2 , кутову швидкість ω і коефіцієнт корисної дії η двигуна. Результати розрахунків внесли у відповідні графи таблиці 1.1.

Розрахуємо P_r за формулою:

$$P_r = U_r \cdot I_r, \quad (1.17)$$

$$P_{r(1)} = 170 \cdot 0 = 0; \quad P_{r(2)} = 160 \cdot 2,5 = 400 \text{ (Вт)}; \quad P_{r(3)} = 150 \cdot 5 = 750 \text{ (Вт)};$$

$$P_{r(4)} = 145 \cdot 7,5 = 1090 \text{ (Вт)}; \quad P_{r(5)} = 135 \cdot 10 = 1350 \text{ (Вт)}; \quad P_{r(6)} = 120 \cdot 12,5 = 1500 \text{ (Вт)};$$

$$P_{r(7)} = 90 \cdot 17,5 = 1575 \text{ (Вт)}.$$

За паспортними даними знаходимо η_r (%).

З формули (1.15) обчислимо P_2 (Вт):

$$P_{2(1)} = 0; \quad P_{2(2)} = 400/0,6 = 666,7; \quad P_{2(3)} = 750/0,75 = 1000; \quad P_{2(4)} = 1090/0,785 = 1388,5; \quad P_{2(5)} = 1350/0,785 = 1719,7; \quad P_{2(6)} = 1500/0,785 = 1910,8; \quad P_{2(7)} = 1575/0,79 = 1993,7.$$

З формули (1.14) знаходимо, що кутова швидкість ω розраховується (рад/с):

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n; \quad (1.18)$$

$$\omega_{(1)} = 2 \cdot \pi \cdot 1480/60 = 155; \quad \omega_{(2)} = 2 \cdot \pi \cdot 1470/60 = 153,9; \quad \omega_{(3)} = 2 \cdot \pi \cdot 1450/60 = 151,8; \quad \omega_{(4)} = 2 \cdot \pi \cdot 1440/60 = 150,8; \quad \omega_{(5)} = 2 \cdot \pi \cdot 1420/60 = 148,7; \quad \omega_{(6)} = 2 \cdot \pi \cdot 1410/60 = 147,7; \quad \omega_{(7)} = 2 \cdot \pi \cdot 1400/60 = 146,6.$$

За формулою (1.14) обчислимо M_2 (Н·м):

$$M_{2(1)} = 0/155 = 0; \quad M_{2(2)} = 666,7/153,9 = 4,33; \\ M_{2(3)} = 1000/151,8 = 6,59; \quad M_{2(4)} = 1388,5/150,8 = 9,21; \\ M_{2(5)} = 1719,7/148,7 = 11,56; \quad M_{2(6)} = 1910,8/147,7 = 12,94; \\ M_{2(7)} = 1993,7/146,6 = 13,6.$$

Розрахуємо $\cos\varphi_1$ за наступною формулою:

$$\cos\varphi_1 = P_1 / (3 \cdot U \cdot I), \quad (1.19)$$

$$\cos\varphi_{1(1)} = 500 / (3 \cdot 3,6 \cdot 230) = 0,201; \quad \cos\varphi_{1(2)} = 1000 / (3 \cdot 3,8 \cdot 230) = 0,381; \\ \cos\varphi_{1(3)} = 1500 / (3 \cdot 4,2 \cdot 230) = 0,518; \quad \cos\varphi_{1(4)} = 1900 / (3 \cdot 4,4 \cdot 230) = 0,626; \\ \cos\varphi_{1(5)} = 2100 / (3 \cdot 4,8 \cdot 230) = 0,634; \quad \cos\varphi_{1(6)} = 2300 / (3 \cdot 5,2 \cdot 230) = 0,641; \\ \cos\varphi_{1(7)} = 2600 / (3 \cdot 5,4 \cdot 230) = 0,698.$$

Вчислимо КПД η за формулою (%):

$$\eta = (P_2 / P_1) \cdot 100\%, \quad (1.20)$$

$$\eta_{(1)} = (0 / 500) \cdot 100\% = 0; \quad \eta_{(2)} = (666,7 / 1000) \cdot 100\% = 66,7; \\ \eta_{(3)} = (1000 / 1500) \cdot 100\% = 66,7; \quad \eta_{(4)} = (1388,5 / 1900) \cdot 100\% = 73,1; \\ \eta_{(5)} = (1719,7 / 2100) \cdot 100\% = 81,9; \quad \eta_{(6)} = (1910,8 / 2300) \cdot 100\% = 83,1; \\ \eta_{(7)} = (1993,7 / 2600) \cdot 100\% = 76,7.$$

2 На підставі даних таблиці 1.1 побудували на одному малюнку залежності: $n = f(P_2)$, $M_2 = f(P_2)$, $I_\Phi = f(P_2)$, $\eta = f(P_2)$, $\text{Cos}\varphi_1 = f(P_2)$.

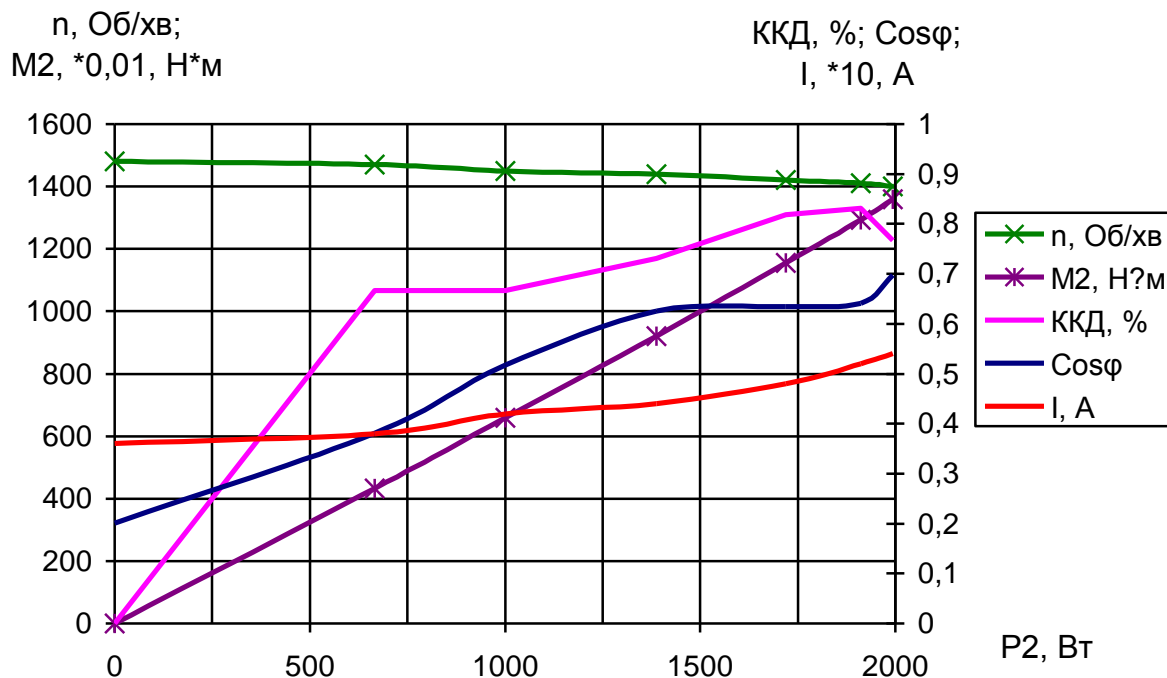


Рисунок 1.5 – Графіки залежностей: $n = f(P_2)$, $M_2 = f(P_2)$, $I_\Phi = f(P_2)$, $\eta = f(P_2)$, $\text{Cos}\varphi_1 = f(P_2)$.

3 Проаналізували експериментальні і розрахункові дані іспитів двигуна, а також побудовані робочі характеристики і зробили висновки по роботі.

5 Висновки:

6 Контрольні питання:

- 6.1 У чому полягає розрахунок магнітного кола електричної машини?
- 6.2 Як визначається магнітна напруга для будь-якої ділянки магнітного кола?
- 6.3 Як змінюється ККД при зміні повітряного зазору?
- 6.4 Яка будова АД?
- 6.5 Яка мета побудови механічних характеристик АД?

Література:

Электрические машины: учебник для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования/ М. М. Кацман. – 6-е изд., испр. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 496 с.

Інструкція для виконання лабораторної роботи №3

Тема: Дослідження роботи трифазного АД з короткозамкненим ротором.

1 Мета:

- 1.1 Зняття механічної характеристики машини в руховому і генераторному режимах.
- 1.2 Зняття робочих характеристик машини в руховому режимі.

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

- 2.1 Аркуші паперу формату А4.
- 2.2 Набір креслярських приладів.
- 2.3 Стенд для виконання лабораторної роботи №3.
- 2.4 Методичні вказівки для виконання лабораторної роботи №3.

3 Теоретичні відомості

Асинхронний двигун з короткозамкненою обмоткою ротора складається з нерухомої частини – статора і рухомої – ротора. Конструкція статора двигуна з короткозамкненим ротором аналогічна конструкції статора двигуна з фазним ротором, розглянутого в лабораторній роботі № 2.

Ротор двигуна виконується у вигляді циліндра, набраного з ізольованих одна від одної пластин електротехнічної сталі, і напресованого на вал. У поверхні ротора, в пазах, розташовується обмотка. Вона являє собою ряд стержнів, з'єднаних між собою по торцях кільцями. Найчастіше стержні і кільця виконуються з алюмінію. У найпростішому випадку стержні, замкнуті між собою кільцями, нагадують "білячу клітку".

Принцип дії асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором такий же, як і двигуна з фазним ротором.

Поряд з перевагами – простотою конструкції і високою експлуатаційною надійністю, асинхронні двигуни мають ряд істотних недоліків. Основні з них – великий пусковий струм і складність плавного регулювання частоти обертання.

Великий пусковий струм негативно впливає як на двигун, так і на його електричну мережу живлення. Двигун перегрівается, а великий струм у мережі приводить до збільшення втрат електроенергії в ній, а також до зниження напруги на інших приймачах, що живляться від цієї мережі, що може порушити їхню нормальну роботу. Тому пряме включення в мережу асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором нормального виконання допускається лише в тому випадку, якщо його потужність не перевищує 25% потужності мережі живлення.

Зменшення пускового струму в асинхронних двигунах з короткозамкненим ротором можна отримати двома шляхами: за рахунок

зниження напруги, що подається на обмотку статора під час його включення і за рахунок спеціальної конструкції обмотки ротора.

Використання пуску при зниженій напрузі обмежене тим, що в цьому випадку, як це впливає з формули (3.1), знижується пусковий момент:

$$M_{\Pi} = \frac{p \cdot m_1 \cdot U_1^2 \cdot r_2'}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot [(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_{2H}')^2]} \cdot \quad (3.1)$$

Цей спосіб пуску можна використовувати лише в тому випадку, коли не потрібно великого пускового моменту.

Двигуни зі спеціальною конструкцією обмотки ротора, що часто називають двигунами з витисненням струму в роторі, – глибокопазні і двоклітинні. Обмотка ротора в цих двигунах виконана таким чином, що струм під час пуску проходить не по всьому її поперечному перерізі, що рівнозначне автоматичному збільшенню активного опору ланцюга ротора r_2 . Збільшення опору r_2 зменшує пусковий струм ротора:

$$I_{2H} = \frac{\dot{E}_{2H}}{r_2 + jx_{2H}} \quad (3.2)$$

отже, і струм статора. В той же час збільшення r_2 приводить до збільшення пускового моменту (3.1). Істотний недолік двигунів з витисненням струму в роторі – більш низький КПД і $\cos\phi$ порівняно з двигунами нормального виконання.

Коефіцієнт потужності асинхронного двигуна

$$\cos\phi = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}} \quad (3.3)$$

завжди менше одиниці, оскільки він не може працювати, не споживаючи реактивної потужності Q , необхідної для створення обертового магнітного поля і полів розсіювання обмоток статора і ротора. Наявність реактивної потужності приводить до додаткового завантаження електричних мереж

реактивним струмом, що викликає додаткові втрати електричної енергії в них. Тому підвищення коефіцієнта потужності – важлива економічна проблема.

Коефіцієнт потужності асинхронного двигуна залежить від його завантаження. Отже, природнім шляхом отримання можливо більшого $\cos\varphi$ є експлуатація двигуна при навантаженнях, близьких до номінального. Додатково збільшити $\cos\varphi$, тобто знизити реактивну, індуктивну потужність можна за рахунок паралельного підключення до двигуна ємності (штучне збільшення $\cos\varphi$). Величина ємності, що компенсує індуктивність обмоток статора двигуна, визначається в такий спосіб:

$$C = \frac{P_{\Phi}}{\omega \cdot U_{\Phi}^2} \cdot (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2), \quad (3.4)$$

де P_{Φ} – активна потужність, споживана одною фазою двигуна;

ω – кутова частота зміни напруги мережі;

U_{Φ} – фазна напруга;

φ_1 – кут зсуву фаз між струмом і напругою до компенсації;

φ_2 – необхідний кут зсуву фаз після компенсації.

При використанні асинхронних двигунів в автоматизованому електроприводі буває необхідним їхнє керування у функції часу, шляху, кута повороту або інших параметрів. Здійснити таке керування неможливо без застосування електричного гальмування двигунів.

Розрізняють наступні види електричного гальмування: динамічне, противключенням і генераторне.

Режим динамічного гальмування асинхронного двигуна здійснюється підключенням обмотки статора до джерела постійного струму зниженої напруги після відключення її від мережі змінного струму. При цьому в обмотці статора виникає постійний струм, що створює нерухоме магнітне поле. Ротор що продовжує обертатися по інерції перетинає нерухоме магнітне поле, і в його обмотці буде індукватися ЕРС. Тому що ланцюг ротора замкнутий, у ній виникає струм, що, взаємодіючи з нерухомим магнітним полем, створює гальмуючий момент. Значення гальмуючого моменту залежить від значення постійного струму в обмотці статора і значення опору ланцюга ротора. В міру зменшення частоти обертання двигуна гальмуючий момент зменшується.

Гальмування противовключенням роблять зміною порядку підключення фаз обмотки статора до мережі. Це викликає зміну напрямку обертання магнітного поля статора і, як наслідок, зміну знака моменту, що розвивається двигуном, тобто момент стає гальмуючим. Перевага режиму противовключення – висока інтенсивність і надійність гальмування при будь-якій частоті, чого немає в інших способах гальмування. Недоліки цього режиму гальмування: великий струм, що у момент переключення досягає подвійного значення пускового струму, і можливість несанкціонованого реверсу. Щоб уникнути цього необхідно при швидкості, близької до нуля, відключити двигун від мережі.

При динамічному гальмуванні і гальмуванні противовключенням енергія, накопичена обертовими масами двигуна і робочого механізму, в основному витрачається на нагрівання двигуна.

Генераторне гальмування відбувається за умови, що частота обертання ротора перевищує частоту обертання поля статора. При цьому асинхронна машина переходить у генераторний режим роботи. Механічна енергія, накопичена в обертових масах, перетворюється в електричну і повертається в мережу. Цей вид гальмування – найбільше економічно вигідний. Частіше усього він використовується в підіймно-транспортних пристроях.

Опис лабораторної установки

До складу лабораторної установки (рисунок 3.1) входять: випробовуваний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором АДК₄, навантажувальний генератор МПТ₃ і універсальний лабораторний стенд, на якому розташована пускорегулююче і вимірювальне обладнання.

Контроль струму I_d , і потужності P_1 асинхронного двигуна виконується амперметром A_2 и ваттметром W , що вмикаються з використанням трансформаторів струму $ТТ_1$ і $ТТ_2$, а загальний струм I і струм I_C , що споживається батареєю конденсаторів, – амперметрами A_1 і A_3 .

4 Хід роботи

Ознайомитися з конструкцією асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

Записати паспортні дані двигуна, підготувати лабораторну установку до роботи, виконати наступні операції:

1. Зібрати схему (рисунок 3.1).
2. Встановити коефіцієнти трансформації трансформаторів струму $ТТ_1$ і $ТТ_2$, вибрані з урахуванням паспортних даних двигуна.

3. Зробити пуск двигуна і вимірити пусковий струм.
4. Досліджувати вплив навантаження на коефіцієнт потужності двигуна. Зміна навантаження здійснюється зміною опору r_H навантажувального генератора МПТ₃. Результати вимірів записати в таблицю 3.1.

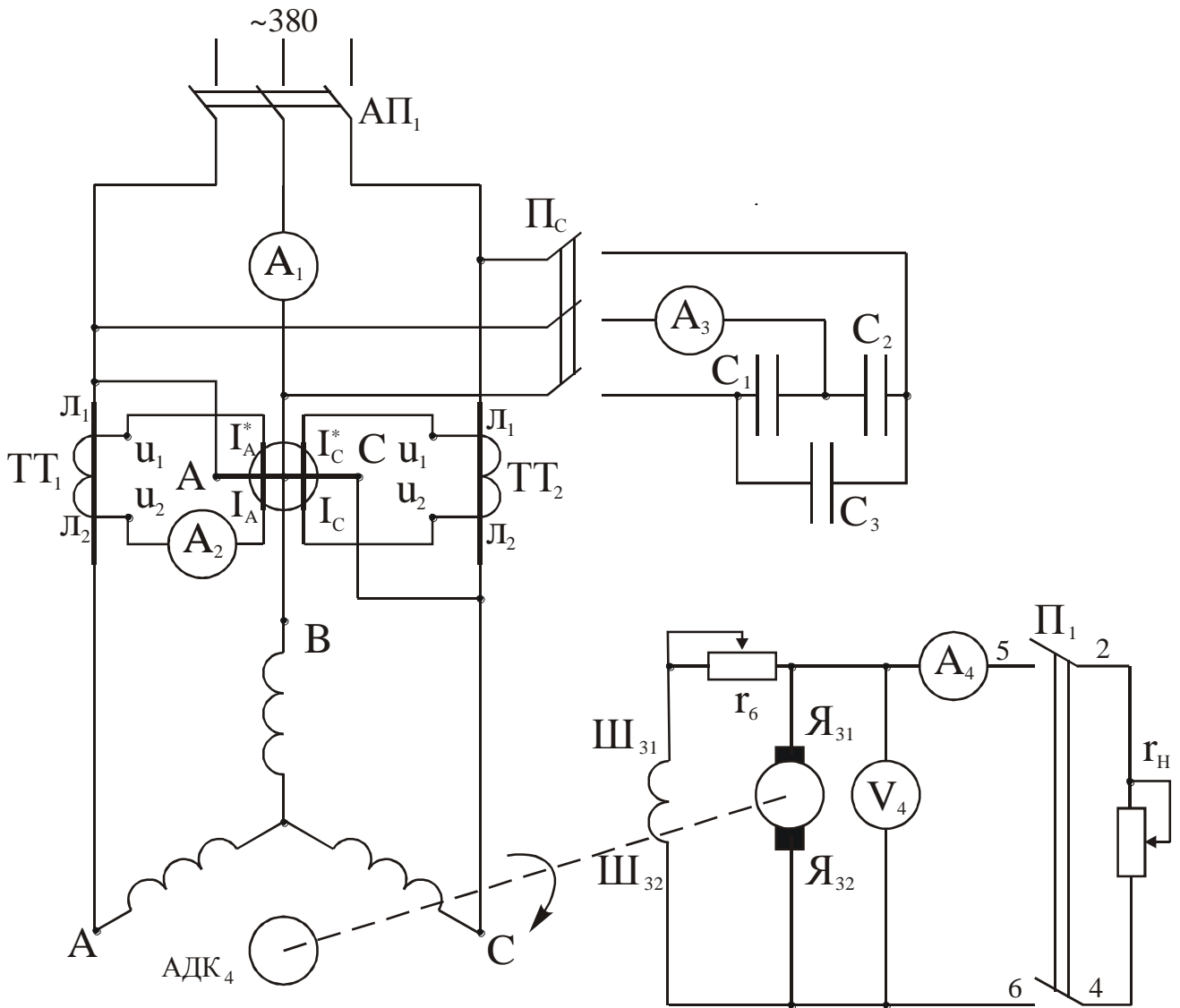


Рисунок 3.1 – Схема дослідження трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором

Розрахувати ємність, необхідну для заданого викладачем коефіцієнта потужності при 100% завантаженні двигуна.

Встановивши розраховану ємність, повторити виміри при 100% завантаження двигуна. Результати виміру записати в таблицю 3.1.

Обробка результатів експерименту

1. Обчислити величини, приведені в таблиці 2.1.
2. За даними таблиці 2.1 побудувати для однієї фази в масштабі спрощені векторні діаграми напруги і струмів при $C = 0$, $C = C_p$, де C_p – розрахункове значення ємності, що забезпечує задане значення $\cos\varphi$.
3. Визначити кратність пускового струму.
4. Дати короткі висновки по роботі.

Паспортні дані асинхронного двигуна:

$$P_n = 1 \text{ кВт};$$

$$U_\phi = 220 / 380 \text{ В};$$

$$I = 4,2 / 2,4 \text{ А};$$

$$n = 930 \text{ об/хв};$$

$$\cos\varphi = 0,71.$$

Таблиця 3.1 – Результати вимірів та розрахунків

Режим роботи двигуна	Дані вимірів та розрахунків							
	U_ϕ , В	I_1 , А	I_2 , А	I_3 , А	P , Вт	P_ϕ , Вт	$\cos\varphi$	φ , °
холостий хід	235	2,2	2,2	0	300	100	0,193	78,9
$P=50\%$ $P_n; C=0$	235	2,2	2,2	0	500	166,7	0,322	71,2
$P=100\%$ $P_n; C=0$	235	2,5	2,5	0	1000	333,3	0,567	55,5
$P=100\%$ $P_n; C=C_p$	235	1,6	2,5	1,35	1000	333,3	0,886	27,6
$P=100\%$ $P_n; C=C'_p$	235	1,5	2,5	2,15	1000	333,3	0,946	18,9

Фазну потужність розрахуємо:

$$P_{\phi} = P/3. \quad (2.5)$$

Вичислимо $\cos\varphi$ за формулою:

$$\cos\varphi = P/(3 \cdot U_{\phi} \cdot I_1). \quad (2.6)$$

Завдання: розрахувати величину ємності, що компенсує індуктивність обмоток статора двигуна до $\cos\varphi_2 = 0,94$. Скористаємося формулою (2.4), де

$$\varphi_1 = 55,5^{\circ}; \quad \text{tg } \varphi_1 = 1,453;$$

$$\varphi_2 = \arccos \varphi_2 = \arccos (0,94) = 19,95^{\circ}; \quad \text{tg } \varphi_2 = 0,363;$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 314 \text{ (1/c)};$$

$$U_L = U_{\phi} \cdot \sqrt{3};$$

$$C = 333,3 / (314 \cdot (235 \cdot \sqrt{3})^2) \cdot (1,453 - 0,363) = 7 \text{ (мкФ)}.$$

Лабораторний стенд дозволяє отримати наступні значення ємностей:

$$C_p = 6 \text{ мкФ};$$

$$C'_p = 10 \text{ мкФ}.$$

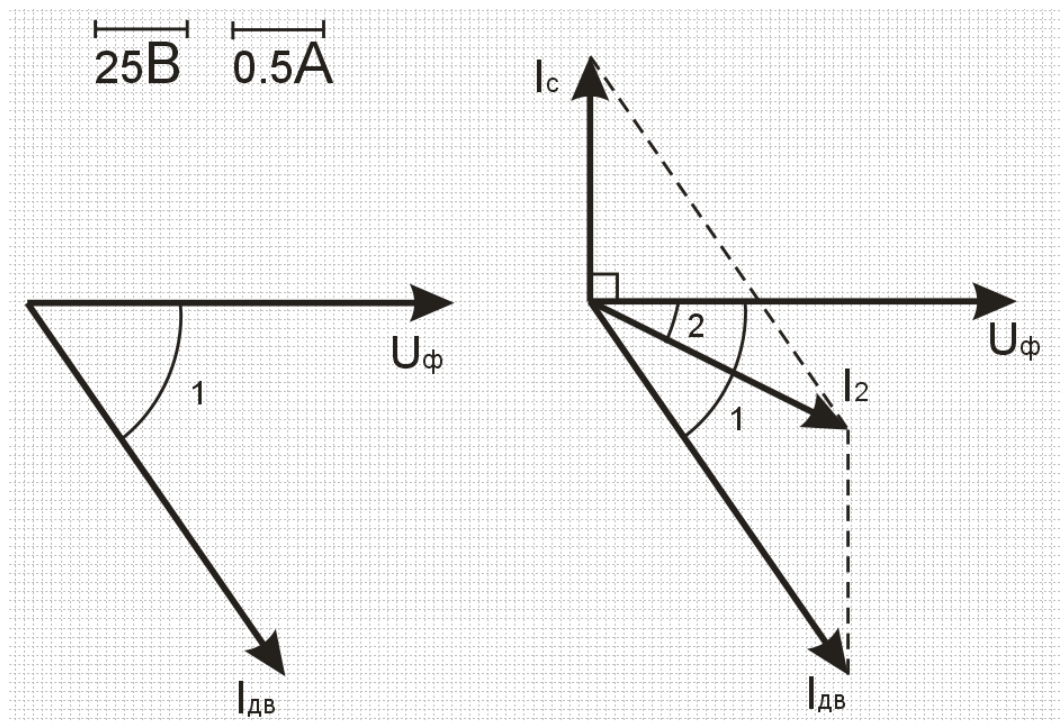


Рисунок 3.2 - Спрощені векторні діаграми напруги і струмів при $C = 0$, $C = C_p$,

де кут 1 дорівнює $55,5^{\circ}$, а кут 2 – 27° .

5 Висновки:

6 Контрольні питання:

- 6.1 У чому полягає розрахунок магнітного кола електричної машини?
- 6.2 Як визначається магнітна напруга для будь-якої ділянки магнітного кола?
- 6.3 Як змінюється ККД при зміні повітряного зазору?
- 6.4 Яка особливість будови фазного ротора?
- 6.5 Яка будова АД?
- 6.6 Яка мета побудови механічних та робочих характеристик АД?

Література:

Электрические машины: учебник для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования/ М. М. Кацман. – 6-е изд., испр. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 496 с.

Інструкція для виконання лабораторної роботи №4

Тема: Дослідження генератора постійного струму паралельного збудження.

1 Мета:

- 1.1. Зняття механічної і розрахунок робочих характеристик машини в руховому режимі роботи.
- 1.2. Зняття механічної і розрахунок робочих характеристик машини в генераторному режимі роботи.
- 1.3. Зняття механічних характеристик при різній напрузі живлення в ланцюзі якоря.
- 1.4. Зняття механічних характеристик при різних опорах в ланцюзі якоря.
- 1.5. Зняття механічних характеристик при різних потоках збудження.
- 1.6. Зняття регулювальних характеристик при зміні напруги якоря.

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

- 2.1 Аркуші паперу формату А4.
- 2.2 набір креслярських приладів.
- 2.3 Стенд для виконання лабораторної роботи №4.
- 2.4 Методичні вказівки для виконання лабораторної роботи №4.

3 Теоретичні відомості

Машина постійного струму оборотна, тобто може працювати як у режимі генератора, так і у режимі двигуна (рисунок 4.1).

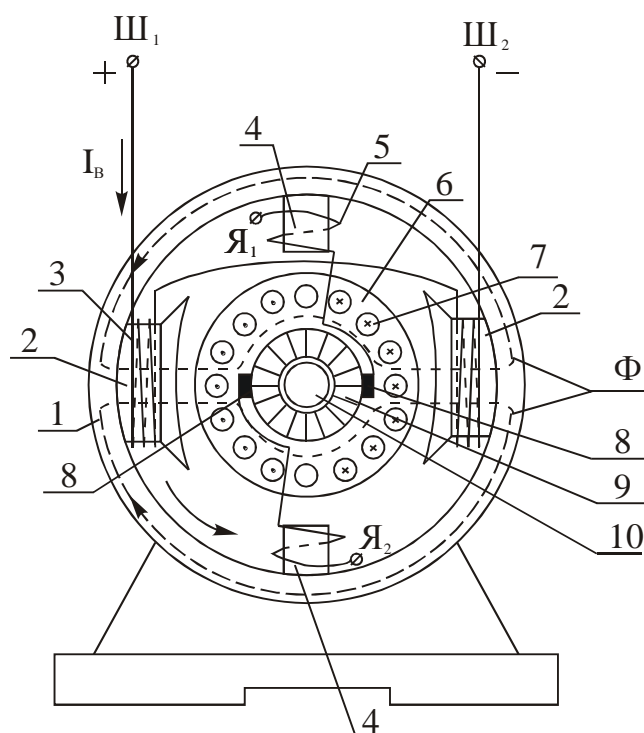


Рисунок 4.1 – Конструкція машини постійного струму

На внутрішній поверхні сталевго корпуса – станини 1 машини закріплені головні 2 і додаткові 4 полюси. На головних полюсах розташована обмотка збудження 3, призначена для створення основного магнітного потоку машини Φ . Обмотка додаткових полюсів 5 служить для поліпшення комутації і включається послідовно в ланцюг якоря.

Обертова частина машини – якір складається з циліндричного сердечника 6, у пазах якого розташована обмотка якоря 7. Затискачі обмотки якоря приєднуються до колектора 9, до якого пружинами притискаються нерухомі щітки 8. Колектор складається з ряду ізольованих одна від одної і вала мідних пластин. Колектор призначений для випрямлення змінної по значенню і напрямку ЕРС, наведеної в обмотці якоря, при його обертанні в магнітному полі машини. За допомогою щіток обертова обмотка якоря з'єднується з зовнішнім електричним колом.

ЕРС якоря

$$E_{\text{я}} = C_{\text{Е}} \cdot n \cdot \Phi, \quad (4.1)$$

де $C_{\text{Е}}$ – постійний коефіцієнт, що залежить від конструкції машини;

n – швидкість обертання якоря;

Φ – магнітний потік, створений однією парою полюсів.

Якщо врахувати, що обмотка якоря має опір $r_{\text{я}}$, то напруга на зажимах навантаженого генератора U менше $E_{\text{я}}$:

$$U = E_{\text{я}} - r_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}. \quad (4.2)$$

Цю рівність називають рівнянням електричної рівноваги кола якоря генератора постійного струму.

Струм обмотки якоря $I_{\text{я}}$ навантаженого генератора викликає магнітний потік, що взаємодіє з магнітним потоком, створеним струмом збудження I_3 . В результаті цієї взаємодії, що зветься реакцією якоря, у машині створюється результуючий магнітний потік. За рахунок реакції якоря результуючий магнітний потік спотворюється за формою і зменшується. Таким чином, за рахунок впливу реакції якоря змінюються усі величини, що зв'язані з магнітним потоком і характеризують роботу генератора.

Експлуатаційні властивості генератора постійного струму залежать від способу включення обмотки збудження і звичайно задаються у виді характеристик, основні з яких характеристика холостого ходу, зовнішня і регулювальна.

По способі включення обмоток збудження машини постійного струму, у тому числі і генератори, поділяють на машини з незалежним, паралельним, послідовним і змішаним збудженням.

Характеристика холостого ходу – це залежність ЕРС на затискачах генератора E_0 від струму збудження I_3 при відсутності навантаження $I_я = 0$ і незмінній частоті обертання якоря n . На підставі (4.2) і (4.1)

$$U = E_я \text{ або } E_я = C_E \cdot n \cdot \Phi. \quad (4.3)$$

Використовуючи характеристику холостого ходу, можемо визначити значення номінального струму збудження, значення втрат на перемагнічування сталі машини і ступінь її використання, а також критичний опір збудження $r_{3к}$.

Про вплив навантаження на напругу генератора U судять по зовнішній характеристиці, що представляє собою залежність $U = f(I_я)$ при $r_3 = \text{const}$ і $n = \text{const}$. Як виходить із залежності:

$$U = C_E \cdot n \cdot \Phi - r_я \cdot I_я \quad (4.4)$$

зі збільшенням навантаження генератора напруга на його затискачах буде зменшуватися за рахунок росту падіння напруги в якорі $r_я I_я$ і дії реакції якоря, що приводить до зменшення потоку Φ .

У генератора з паралельним збудженням обмотка збудження підключена паралельно якорю. Тому струм збудження буде також зменшуватися, що викликає додаткове зменшення потоку Φ отже, напруги U генератора:

$$I_3 = \frac{U}{r_3}. \quad (4.5)$$

Регульовальна характеристика – це залежність $I_3 = f(I_я)$ при постійній напрузі на затискачах генератора і незмінній частоті його обертання. Ця характеристика показує, що необхідно робити для підтримки незмінної напруги генератора при змінному навантаженні.

При роботі генератора з паралельним збудженням необхідно забезпечити умови його самозбудження, тобто виникнення необхідної напруги на затискачах якоря.

Якщо в машині є потік Φ_3 , обумовлений залишковим намагнічуванням стали полюсів, то при обертанні якоря на щітках виникає невелика напруга $U_0 = C_E \cdot n \cdot \Phi_3$. Оскільки обмотка збудження підключена паралельно якорю, у ній з'явиться струм збудження $I_{31} = \frac{U}{r_3}$, що утворює потік Φ_3 . За умови, що Φ_3 і Φ_1 спрямовані узгоджено, результуючий потік генератора зростає, що приведе до збільшення $E_я = C_E \cdot n \cdot (\Phi_1 + \Phi_0)$, та до подальшого збільшення струму збудження I_3 і т.д.. Процес самозбудження закінчується при досягненні напруги, заданої значенням параметрів кола збудження.

З викладеного випливає, що процес самозбудження генератора можливий при дотриманні трьох умов: наявність потоку залишкового намагнічування Φ_3 ; потік, створений обмоткою збудження Φ_1 , спрямований узгоджено із залишковим потоком Φ_3 ; опір кола збудження менше критичного ($r_3 < r_{3к}$).

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка, схема якої показана на рисунку 4.2, складається з досліджуваного генератора постійного струму з паралельним збудженням МПТ₃, що приводиться в обертання асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором АДК₄ і лабораторного стенда, на якому розташовані пускорегулююче і вимірювальне обладнання.

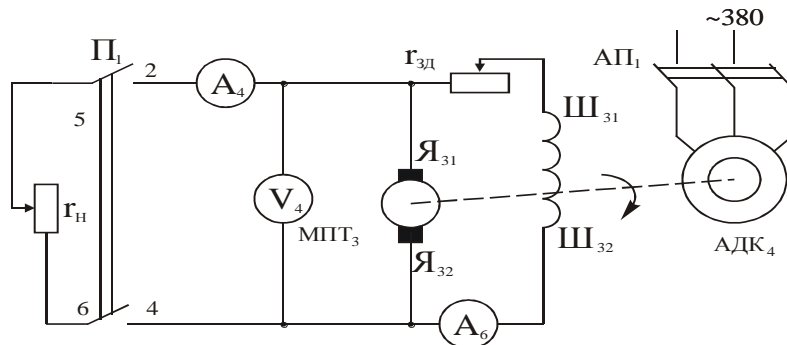


Рисунок – 4.2. Схема дослідження генератора постійного струму з паралельним збудженням

Струм збудження генератора регулюється двома реостатами r_3 і r_4 , ввімкненими послідовно. Навантаженням генератора є реостат r_H , що підключається за допомогою перемикача Π_1 .

4 Хід роботи

1. Ознайомитися з конструкцією генератора постійного струму, використовуючи для цього макет машини постійного струму.
2. Записати паспортні дані випробовуваного генератора.
3. Зібрати коло (рисунок 4.2).
4. Пустити в хід двигун АДК₄, після чого перевірити, чи збуджується генератор. Якщо генератор не збуджується, необхідно з'ясувати причину і усунути її.
5. Зняти характеристику холостого ходу генератора $E = f(I_3)$ при $n = \text{const}$ і струмі навантаження $I = 0$ (перемикач Π_1 розімкнуть).
 - а. Перший вимір зробити при $I_3 = 0$. Подальша зміна I_3 (за рахунок зміни r_{3-4}) виконувати так, щоб ЕРС підвищувалася плавно до значення $1.2 \cdot U_H$.

б. З метою запобігання впливу гистерезиса повзунок реостата r_{3-4} варто переміщати плавно і тільки в одному напрямку. Аналогічно виконувати при зниженні ЕРС. Результати вимірів записати в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1. – Характеристика холостого ходу

I_3, A							
$E \uparrow, B$							
$E \downarrow, B$							

6. Зняти зовнішню характеристику генератора $U = f(I)$ при струмах навантаження $I = 0..I_H$. Для цього встановити за вказівкою викладача напругу при $I = 0$ і потім, не змінюючи опору кола збудження r_{3-4} , збільшувати навантаження за рахунок зміни опору r_H . Результати вимірів записати в таблицю 4.2.

7.

Таблиця 4.2. – Зовнішня характеристика

U, B							
I, A							

8. Зняти регулювальну характеристику генератора $I_3 = f(I)$ при $U = \text{const}$ і $n = \text{const}$. Струм якоря змінювати за допомогою опору r_H від $I=0$ до $I=I_H$. Сталість напруги забезпечити зміною опору r_{3-4} . Результати вимірів записати в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Регулювальна характеристика

I, A							
I_3, A							

Обробка результатів експерименту

1. Використовуючи дані таблиць 4.1 – 4.3, побудувати в масштабі характеристики холостого ходу; зовнішню і регулювальну.

2. Використовуючи характеристику холостого ходу, визначити критичний опір кола збудження $r_{3к}$.

3. За даними зовнішньої характеристики обчислити відносну зміну напруги генератора:

$$\Delta U \% = \frac{U_0 - U_H}{U_H} \cdot 100 . \quad (4.6)$$

4. Проаналізувати експериментальні і розрахункові дані дослідження генератора і зробити висновки по роботі.

5 Висновки:

6 Контрольні питання:

- 6.1 Яка відмінна ознака колекторної машини постійного струму?
- 6.2 Що впливає на робочі властивості генератора постійного струму?
- 6.3 Які основні параметри генератора постійного струму?
- 6.4 Які є види збудження генератора постійного струму?

Література:

Электрические машины: учебник для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования/ М. М. Кацман. – 6-е изд., испр. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. (с. 172-183)

Інструкція для виконання лабораторної роботи №5

Тема: Дослідження двигуна постійного струму паралельного збудження.

1 Мета:

1.1 Зняття механічної і розрахунок робочих характеристик машини в руховому режимі роботи.

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

2.1 Аркуші паперу формату А4.

2.2 Набір креслярських приладів.

2.3 Стенд для виконання лабораторної роботи №5.

2.4 Методичні вказівки для виконання лабораторної роботи №5.

3 Теоретичні відомості

Після включення двигуна в мережу постійного струму в обмотках якоря і збудження виникають струми. У результаті взаємодії струму якоря $I_{\text{я}}$ і магнітного потоку Φ , створеного струмом збудження $I_{\text{з}}$ між полюсами станіни, виникає обертовий момент, що приводить до обертання якоря двигуна:

$$M = C_M \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}}. \quad (4.1)$$

При цьому обмотка якоря перетинає магнітний потік Φ і ній індукується ЕРС

$$E_{\text{я}} = C_E \cdot n \cdot \Phi. \quad (4.2)$$

На підставі II^{го} закону Кірхгофа можна записати рівняння електричної рівноваги кола якоря двигуна:

$$U = E_{\text{я}} + r_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}. \quad (4.3)$$

Технологічні властивості двигуна постійного струму, як складової електропривода будь-якого виробничого механізму або машини, залежить, від його пускових, робочих, регулювальних і гальмових особливостей.

Пускові властивості двигуна визначають собою значення пускового струму $I_{\text{яп}}$, пускового моменту $M_{\text{п}}$, час пуску і кількість електричної енергії, витраченої при пуску.

На підставі (4.2) і (4.3) струм якоря двигуна

$$I_{\text{я}} = \frac{U - C_E \cdot n \cdot \Phi}{r_{\text{я}}}. \quad (4.4)$$

Опір кола якоря $r_{я}$ малий, а частота обертання n у момент включення двигуна дорівнює нулю, тому пусковий струм $I_{яп}$ перевищує номінальний у десятки разів. Для обмеження пускового струму в коло якоря вводять на час пуску додатковий опір $r_{д}$, тоді

$$I_{яп} = \frac{U}{r_{я} + r_{д}} . \quad (4.5)$$

Для збереження достатнього значення пускового моменту, як це впливає з (4.1), потік, а отже, і струм збудження під час пуску повинні бути максимальними. Тому опір кола збудження при пуску повинний бути мінімальним.

Робочі властивості двигуна характеризуються залежністю його частоти обертання n , моменту M и ККД η від навантаження на валу, тобто від корисної потужності P_2 , при незмінній напрузі U і опорі кола збудження.

При збільшенні механічного навантаження на валу двигун повинний розвивати більший момент для його подолання. Це досягається за рахунок збільшення струму якоря

$$I_{я} = \frac{M}{C_E \cdot \Phi} . \quad (4.6)$$

З (4.1) – (4.3) швидкість обертання двигуна

$$n = \frac{U}{C_E \cdot \Phi} - M \cdot \frac{r_{я} + r_{д}}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} \text{ або } n = \frac{U - r_{я} \cdot I_{я}}{C_E \cdot \Phi} . \quad (4.7)$$

Оскільки при збільшенні навантаження двигуна струм $I_{я}$ зростає, це приводить до збільшення дії реакції, тобто до зменшення потоку Φ . Таким чином, на частоту обертання двигуна впливають два фактори: падіння напруги в якорному колі $r_{я} \cdot I_{я}$, за рахунок якого зменшується частота, і реакція якоря (зменшення Φ), що сприяє збільшенню швидкості. Звичайно переважає вплив падіння напруги, тому зі збільшенням навантаження частота обертання двигуна зменшується. У двигунів з паралельним збудженням зміна швидкості при зміні навантаження від нуля до номінально невелика.

Основна частка потужності $P_1 = U \cdot (I_{я} + I_{д})$, споживаної двигуном з мережі, перетвориться в механічну і передається на вал двигуна. Частина цієї потужності витрачається на покриття втрат у самому двигуні ΔP , що складаються з втрат у сталі ΔP_c , механічних $\Delta P_{мех}$, у колі якоря $\Delta P_{я} = r_{я} \cdot I_{я}^2$ і кола збудження. Таким чином, потужність на валу двигуна

$$P_2 = P_1 - \Delta P_c - \Delta P_{\text{МЕХ}} - \Delta P_{\text{Я}} - \Delta P_3, \quad (4.8)$$

а коефіцієнт корисної дії (ККД)

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{або} \quad \eta = 1 - \frac{\Delta P}{P_2 + \Delta P}. \quad (4.9)$$

Як виходить з (4.9), ККД двигуна постійного струму залежить від навантаження на його валу наближається до свого максимуму при рівності постійних і змінних втрат потужності, що відповідає навантаженням, близьким до номінального.

Основна перевага двигунів постійного струму, що визначає в основному галузь їх використання, – можливість плавного і глибокого регулювання частоти обертання. Залежності (4.7) показують, що швидкість можна регулювати зміною напруги, підведеної до якоря двигуна, зміною струму збудження, і зміною опору кола якоря. Найбільш часто використовуються два перших способу, при яких можна досягти межі регулювання 1:15. Регулювання частоти обертання за рахунок зміни опору якірного кола неекономічне через великі втрати, що відбуваються в додатковому опорі, який в цьому випадку вмикається в коло якоря. При збільшенні частоти обертання за рахунок зменшення струму збудження варто мати на увазі, що послаблення магнітного поля, що відбувається в цьому випадку, може привести до нестабільної роботи двигуна і до погіршення комутації.

Керування процесом зупинки двигуна можна домогтися за рахунок використання електричного гальмування. Розрізняють три види такого гальмування: динамічне, генераторне і гальмування противключенням.

Для здійснення динамічного гальмування якір двигуна вимикають від мережі і замикають на додатковий опір r_d (обмотка збудження залишається підключеної до мережі). Це приводить до того, що струм якоря

$$I_{\text{ЯТ}} = -\frac{C_E \cdot n \cdot \Phi}{r_{\text{Я}} + r_d}, \quad U = 0 \quad (4.10)$$

змінює свій напрямок, а отже, змінює знак і момент, що розвиває двигун (4.1), тобто він стає гальмівним. Інтенсивність гальмування залежить від значення r_d .

Гальмування противключенням відбувається за рахунок зміни полярності підключення обмотки якоря або обмотки збудження, тобто за рахунок зміни напрямку струму якоря або магнітного потоку. Як видно з (4.1), це забезпечує зміну знака моменту, тобто переводить двигун у режим електричного гальмування. Для обмеження великого струму, що виникає при

цьому різновиді гальмування, у коло якоря необхідно вводити додатковий опір, крім того, необхідно прийняти міри для відключення двигуна після зупинки, щоб запобігти його обертання в протилежному напрямку.

Генераторне гальмування можливо за умови, коли $E_{\text{я}} > U$, що може бути досягнуте при збільшенні частоти обертання двигуна за рахунок додаткової енергії. З рівності (4.4) видно, що в цьому випадку змінюється напрямок струму якоря, тобто і знак моменту (4.1). Кінетична енергія, запасена в обертових масах двигуна і робочої машини, при генераторному гальмуванні, перетвориться в електричну і повертається в мережу, що споживає двигун.

4.3 Опис лабораторної установки

Лабораторна установка (рисунок 4.1) складається з досліджуваного двигуна паралельного збудження МПТ₂, навантажувального генератора постійного струму МПТ₃ і лабораторного стенда. Зміна навантаження генератора, а отже, і двигуна здійснюється зміною опору

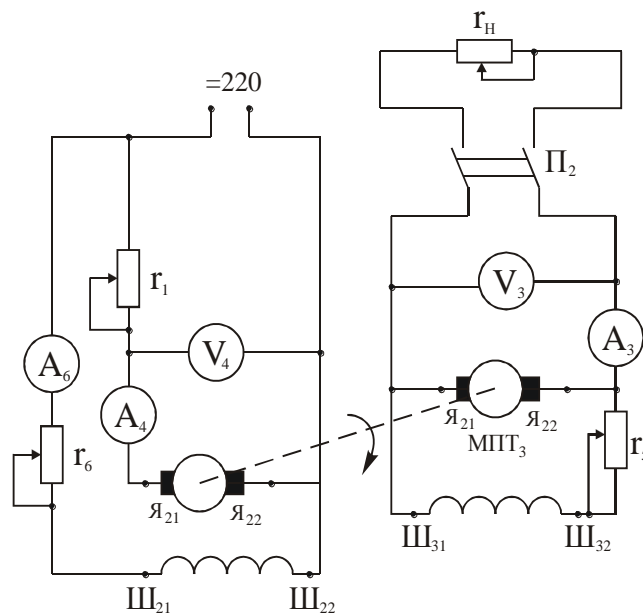


Рисунок 4.1 – Схема випробування двигуна постійного струму з паралельним збудженням

4 Хід роботи

1 Ознайомитись з конструкцією двигуна постійного струму із паралельним збудженням.

2 Записати паспортні дані двигуна.

3 Зібрати електричне коло (рисунок 5.1)

4 Зробити пуск і реверсування двигуна. Перед включенням двигуна встановити $r_d = \max$ і $r_3 = 0$. Реверсування здійснити за рахунок зміни полярності підключення обмотки якоря (затискачі $Я_{21}$ і $Я_{22}$ поміняти місцями).

5 Дослідити вплив навантаження на роботу двигуна. З цією метою завантажити двигун до номінального навантаження, встановивши при цьому номінальну частоту його обертання, а потім, не змінюючи опору кола збудження ($r_3 = \text{const}$), зменшити навантаження до нуля з таким розрахунком, щоб отримати 5–6 результатів. Результати вимірів записати в таблицю 5.1.

6 При постійному моменті на валу двигуна регулювати частоту його обертання зміною струму збудження (межі регулювання та навантаження задає викладач). Результати вимірів записати в таблицю 5.2.

Обробка результатів експерименту

1 Відповідно до вимірних величин (таблиця 5.1), обчислили: потужність навантажувального генератора $P_{\text{ГЕН}}$:

$$P_{\text{ГЕН}} = U_{\text{ГЕН}} \cdot I_{\text{ГЕН}} ; \quad (5.11)$$

корисну потужність двигуна P_2 :

$$P_2 = \frac{P_{\text{ГЕН}}}{\eta_{\text{ГЕН}}} ; \quad (5.12)$$

де залежність $\eta_{\text{ГЕН}} = f(P_{\text{ГЕН}})$ зазначена в паспортних даних генератора;

корисний момент двигуна M_2 :

$$M_2 = \frac{P_2}{2\pi \cdot n} ; \quad (5.13)$$

і ККД двигуна $\eta_{\text{дв}}$:

$$\eta_{\text{дв}} = \frac{P_2}{U_{\text{дв}} \cdot I_{\text{дв}}} . \quad (5.14)$$

Таблиця 5.1 – Дослідження робочих характеристик

Дані вимірів					Дані розрахунків				
$U_{дв}$	$I_{дв}$	n	$U_{ГЕН}$	$I_{ГЕН}$	$P_{ГЕН}$	$\eta_{ген}$	P_2	M_2	$\eta_{дв}$
В	А	об/хв	В	А	Вт	%	Вт	Н·м	%
212	5,7	1080	152	4,3	653,6	0,820	797,1	0,1175	0,660
212	5	1080	158	3,7	584,6	0,790	740,0	0,1091	0,698
212	4,5	1100	163	3	489,0	0,770	635,1	0,0919	0,666
212	4	1110	170	2,5	425,0	0,748	568,2	0,0815	0,670
212	3,5	1120	175	2,1	367,5	0,725	506,9	0,0721	0,683
212	3,1	1150	180	1,6	288,0	0,700	411,4	0,0570	0,626
212	1,4	1170	196	0	0	0	0	0	0

Таблиця 5.2 – Регулювальна характеристика

I_3, A	0,59	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3
$n, об/хв$	1130	1160	1198	1225	1265	1298

2 За даними таблиці 5.1 побудували робочі характеристики двигуна: $n = f(P_2)$, $M_2 = f(P_2)$, $\eta_{дв} = f(P_2)$ і проаналізували їх.

3 Побудували і проаналізували регулювальну характеристику $n = f(I_3)$, використовували для цього дані таблиці 5.2.

4 Побудували залежність $T=f(r_{дв})$;

5 Використовуючи експериментальні та розрахункові дані, зробили короткі висновки по роботі.

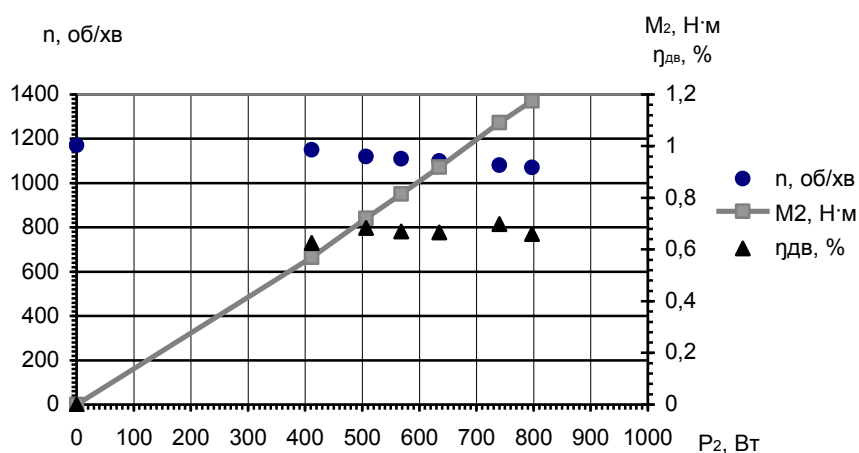


Рисунок 4.2 – Робочі характеристики двигуна

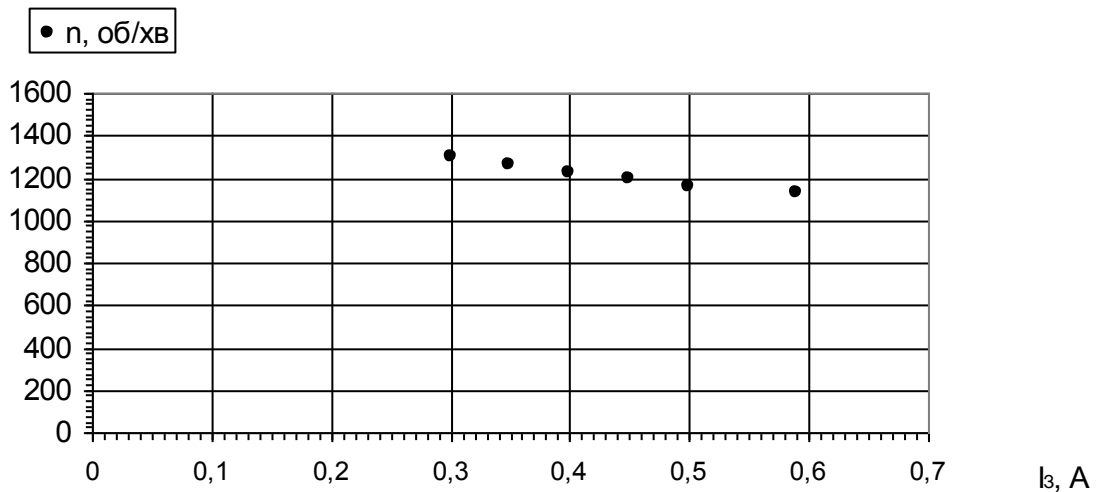


Рисунок 4.3 – Регулювальна характеристика

Паспортні дані двигуна:

$$P = 1 \text{ кВт};$$

$$U = 200 \text{ В};$$

$$I = 5,7 \text{ А}; n = 1000 \text{ об/хв.}$$

5 Висновки:

6 Контрольні питання:

- 6.1 Яка відмінна ознака колекторної машини постійного струму?
- 6.2 Що впливає на робочі властивості двигуна постійного струму?
- 6.3 Які основні параметри двигуна постійного струму?
- 6.4 Які є види збудження двигуна постійного струму?

Література:

Электрические машины: учебник для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования/ М. М. Кацман. – 6-е изд., испр. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. (с. 172-183)