

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
практичних занять 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 практичної роботи №1

Тема: Розрахунок параметрів трансформатора

1 Мета:

- 1.1 Вивчити принцип дії трансформатора.
- 1.2 Вивчити номінальні параметри, рівняння напруг та струмів ТР.
- 1.3 Ознайомитись із схемою заміщення ТР
- 1.4 Набути навиків по розрахунку основних параметрів ТР.

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

- 2.1 Аркуші паперу формату А4.
- 2.2 Набір креслярських приладів.
- 2.3 Методичні вказівки щодо виконання практичної 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 $Z_{\text{нв}}$.

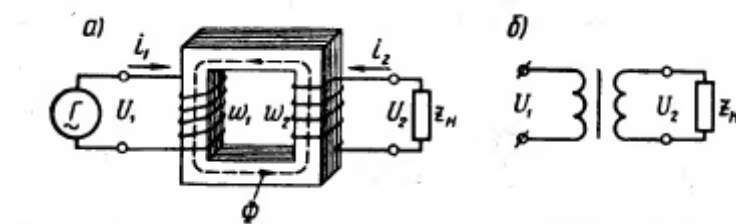


Рис. 1.1. Електромагнітна (а) і принципова (б) схеми трансформатора

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.

При підключенні навантаження $Z_{нв}$ до виводів вторинної обмотки трансформатора під дією ЕРС e_2 в колі цієї обмотки виникає струм i_2 на виводах вторинної обмотки встановлюється напруга U_2 . У підвищувальних трансформаторах $U_2 > U_1$ а в понижуючих $U_2 < U_1$.

З (1.1) і (1.2) бачимо, що ЕРС e_1 та e_2 , що наводяться в обмотках трансформатора, відрізняються одна від одної лише за рахунок різного числа витків ω_1 та ω_2 в обмотках, тому, застосовуючи обмотки з необхідним співвідношенням витків, можна виготовити трансформатор практично на будь-яке відношення напруг.

Відношення ЕРС обмотки вищої напруги до ЕРС обмотки нижчої напруги називають *коефіцієнтом трансформації*:

$$k = E_1 / E_2 = W_1 / W_2. \quad (1.3)$$

При практичних розрахунках коефіцієнт трансформації з деяким допущенням приймають рівним відношенню номінальних напруг обмоток ВН і НН: $k \approx U_{1ном} / U_{2ном}$.

Діюче значення первинної ЕРС (В):

$$E_1 = 4,44 W_1 f \Phi_{max} \quad (1.4)$$

Аналогічно, для вторинної ЕРС

$$E_2 = 4,44 W_2 f \Phi_{max}. \quad (1.5)$$

Максимальне значення силового потоку:

$$\Phi_{max} = B_{max} Q_{cm} k_c \quad (1.6)$$

Рівняння напруг для первинного кола трансформатора:

$$U_1 = (-E_1) + -jI_1 x_1 + I_1 r_1. \quad (1.7)$$

Рівняння напруг для вторинного кола трансформатора:

$$U_2 = E_2 - jI_2 x_2 - I_2 r_2 = I_2 Z_{нв} \quad (1.8)$$

Рівняння МРС трансформатора:

$$I_0 W_1 = I_1 W_1 + I_2 W_2. \quad (1.9)$$

Рівняння струмів трансформатора:

$$I_1 = I_0 + (-I_2') \quad (1.10)$$

Із цього рівняння бачимо, що первинний струм I_1 можна розглядати як суму двох складових: складову I_0 , що створює МРС $I_0 W_1$, необхідну для наведення в магнітопроводі основного магнітного потоку Φ , і складову $(-I_2')$, що, створюючи МРС $-I_2' W_1$, компенсує МРС вторинної обмотки $I_2 W_2$ трансформатора. Така дія складових первинного струму приводить до того, що будь-яка зміна струму навантаження I_2 супроводжується зміною первинного струму I_1 за рахунок зміни його складовою $-I_2'$, що перебуває в протифазі зі струмом навантаження I_2 .

4 Хід роботи

4.1 Використовуючи приведені в таблиці 1.1 значення параметрів трифазних масляних ТР серії ТМ (в позначенні марки в чисельнику вказана номінальна потужність ТР в кВА, в знаменнику – значення вищої напруги в кВ), визначити, у відповідності з варіантом, величини, які не вказані у таблиці. Обмотки з'єднані за схемою Y/Y. Частота струму в мережі 50 Гц.

Таблиця 1.1

Параметр	Тип трансформатора				
	ТМ 100/35	ТМ 50/6	ТМ 100/6	ТМ 180/6	ТМ 320/6
Варіант	1	2	3	4	5
Основний магнітний потік, Вб	-	-	-	-	-
Число витків первинної обмотки	1600	1190	-	-	522
Число витків вторинної обмотки	-	-	72	-	-
Переріз стержня магнітопроводу при індукції 1,5 Тл	-	-	-	-	-
Первинна номінальна напруга	35	6	6	6	6
Вторинна номінальна напруга	-	0,4	0,5	0,5	0,4
Коефіцієнт трансформації	5,56	-	-	-	-

4.2 Однофазний двообмотковий ТР номінальною потужністю та номінальним струмом у вторинній обмотці при номінальній вторинній напрузі має коефіцієнт трансформації, при числі витків в обмотках. Максимальне значення магнітної індукції в стержні, та площа поперечного перерізу цього стержня; ЕРС одного витка, частота струму в мережі 50 Гц. Значення перерахованих параметрів наведені в таблиці 1.2. Необхідно визначити вказані в цій таблиці значення відповідно з варіантом.

Таблиця 1.2

Параметр	Варіант				
	1	2	3	4	5
Номинальна потужність, кВА	-	120	-	240	600
Вторинна номінальна напруга, В	400	630	-	880	660
Число витків первинної обмотки	-	1800	-	-	-
Число витків вторинної обмотки	-	-	169	128	140
ЕРС одного витка, В	15	-	12	23,4	9,55
Переріз стержня, м ²	5	-	6	-	-
Магнітна індукція, Тл	1,5	0,018	-	0,022	-
Вторинний номінальний струм, А	172	-	140	-	-

4.3 Однофазний ТР ввімкнений в мережу з частотою струму 50 Гц. Номінальна вторинна напруга, та коефіцієнт трансформації (наведено в таблиці 1.3). Визначити число витків в обмотках, якщо в стержні відповідного перетину відоме максимальне значення магнітної індукції та коефіцієнт заповнення стержня сталлю $k_c = 0,95$.

Таблиця 1.3

Параметр	Варіант				
	1	2	3	4	5
Вторинна номінальна напруга, В	230	400	680	230	230
Коефіцієнт трансформації	15	10	12	8	10
Переріз стержня, м ²	0,049	0,08	0,12	0,18	0,065
Магнітна індукція, Тл	1,3	1,6	1,8	1,3	1,4

4.4 Накреслити схему заміщення ТР із зазначенням її параметрів.

4.5 Зробити відповідні висновки по роботі.

5 Висновки:

6 Контрольні питання:

- 6.1 Який принцип дії ТР?
- 6.2 Як визначити номінальні струми та номінальну вторинну напругу ТР?
- 6.3 Виведіть рівняння напруг ТР.
- 6.4 Виведіть рівняння МРС ТР.
- 6.5 Виведіть рівняння струмів ТР.
- 6.6 Що таке приведений ТР?
- 6.7 Накресліть схему заміщення ТР.

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 практичної роботи №2

Тема: Дослідне визначення параметрів схеми заміщення ТР методом х.х. та к.з.

1 Мета:

- 1.1 Вивчити порядок визначення параметрів схеми заміщення ТР при досліді х.х. та к.з..
- 1.2 Ознайомитися зі схемами досліді х.х. та к.з..
- 1.3 Набути навиків по розрахунку параметрів схеми заміщення ТР дослідним шляхом.

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

- 2.1 Аркуші паперу формату А4.
- 2.2 Набір креслярських приладів.
- 2.3 Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи №2.

3 Теоретичні відомості

Наведена на рисунку 2.1 електрична схема заміщення дозволяє з достатньою точністю досліджувати властивості трансформаторів у будь-якому режимі.

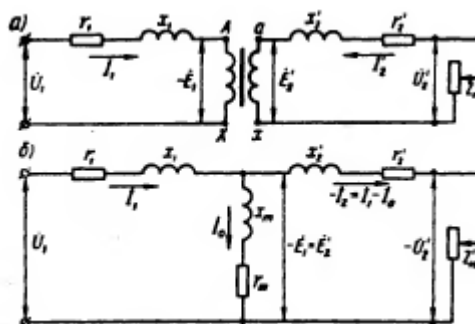


Рисунок 2.1 – Електрична схема заміщення трансформатора

Використання цієї схеми при визначенні характеристик має найбільше практичне значення для трансформаторів потужністю 50 кВА й вище, тому що дослідження таких трансформаторів методом безпосереднього навантаження пов'язане з деякими технічними труднощами: непродуктивною витратою електроенергії, необхідністю в громіздких й дорогих навантажувальних пристроях.

Визначення параметрів схеми заміщення Z_1 , Z_2' , Z_m можливо або розрахунковим (у процесі розрахунку трансформатора), або дослідним шляхом. Нижче наведений порядок визначення параметрів схеми заміщення трансформатора дослідним шляхом, сутність якого складається в проведенні досліді холостого ходу (х.х.) і досліді короткого замикання (к.з.).

Дослід холостого ходу. Холостим ходом називають режим роботи трансформатора при розімкнутій вторинній обмотці ($Z_H = \infty$, $I_2 = 0$). У цьому випадку рівняння напруг й струмів приймають вигляд

$$U_1 = (-E_1) + jI_0x_1 + I_0r_1;$$

$$U'_{20} = E'_2; I_1 = I_0.$$

Так як корисна потужність при роботі трансформатора вхолосту дорівнює нулю, то потужність на вході трансформатора в режимі х.х. P_0 витрачається на магнітні втрати в магнітопроводі і електричні втрати в міді однієї лише первинної обмотки. Однак через невелике значення струму I_0 , що зазвичай не перевищує 2—10% від $I_{ном}$, електричними втратами $I_0^2r_1$, можна знехтувати й вважати, що вся потужність х.х. являє собою потужність магнітних втрат у сталі магнітопроводу. Тому магнітні втрати в трансформаторі прийнято називати втратами холостого ходу.

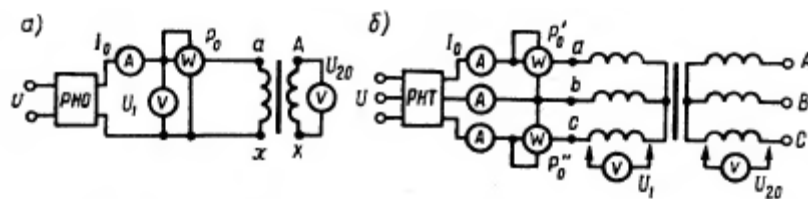


Рисунок 2.2 – Схеми дослідів х.х. трансформаторів однофазного (а), трифазного (б)

Дослід х.х. *однофазного* трансформатора проводять за схемою, зображеною на рисунку 2.2 (а). Комплект електровимірювальних приладів, включених у схему, дає можливість безпосередньо виміряти напругу U_1 , підведену до первинної обмотки; напруга U'_{20} на виводах вторинної обмотки; потужність х.х. P_0 і струм х.х. I_0 .

Напруга до первинної обмотки, трансформатора зазвичай підводять через однофазний регулятор напруги РНО, що дозволяє плавно підвищувати напругу від 0 до $1,15 U_{ном}$. При цьому через приблизно однакові інтервали струму х.х. знімають показання приладів, а потім будують характеристики х.х.: залежності струму х.х. I_0 , потужності х.х. P_0 і коефіцієнта потужності х.х. $\cos\phi_0$ від первинної напруги U_1 .

Криволінійність цих характеристик обумовлена станом магнітного насичення магнітопроводу, що настає при деякому значенні напруги U_1 .

У випадку дослідів холостого ходу із *трифазним* трансформатором напругу U_1 встановлюють за допомогою трифазного регулятора напруги РНТ (рисунок 2.2 (б)). Характеристики х.х. будують по середніх фазних значеннях струму й напруги для трьох фаз:

$$I_0 = (I_{0a} + I_{0b} + I_{0c})/3;$$

$$U_1 = (U_{1a} + U_{1b} + U_{1c})/3.$$

Коефіцієнт потужності для однофазного трансформатора

$$\cos\phi_0 = P_0 / (U_1 I_0);$$

для трифазного трансформатора

$$\cos\phi_0 = (P'_0 + P''_0) / (3 U_1 I_0) = P_0 / (3 U_1 I_0)$$

де P'_0 та P''_0 – показання однофазних ватметрів;
 U_1 та I_0 – фазні значення напруги й струму.

За даними досліду х.х. можна визначити: коефіцієнт трансформації:

$$k = U_1 / U_{20} = w_1 / w_2;$$

Струм х.х. при $U_{1ном}$ (у відсотках від номінального первинного струму):

$$i_0 = (I_{0ном} / I_{1ном}) 100,$$

втрати х.х. P_0 .

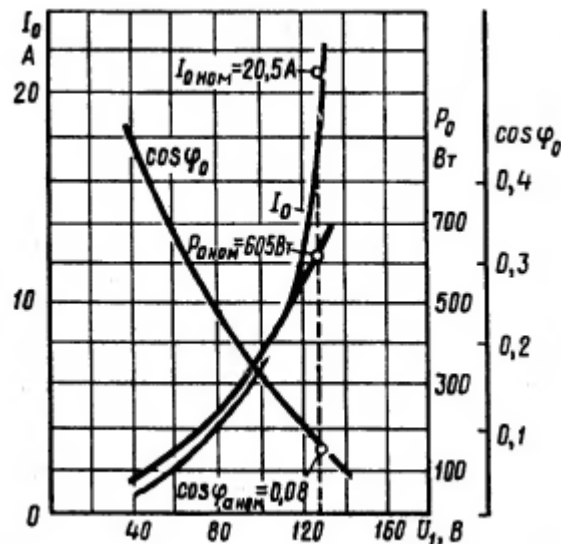


Рисунок 2.3 – Характеристики х.х. трансформатора

У трифазному трансформаторі струми х. х. у фазах неоднакові й утворюють несиметричну систему, тому потужність P_0 варто вимірювати двома ватметрами за схемою, зображеною на рисунку 2.1 (б). Спад напруги в первинній вітці схеми заміщення в режимі х.х. $I_0 (r_1 + jx_1)$ (рисунок 2.1)) становить досить незначну величину, тому, не допускаючи помітної помилки, можна користуватися наступними виразами для розрахунку параметрів вітки намагнічування:

$$z_m = U_1 / I_0;$$

$$r_m = z_m \cos \varphi_0;$$

$$x_m = \sqrt{z_m^2 - r_m^2}.$$

Зазвичай в силових трансформаторах загального призначення середньої й великої потужності при номінальній первинній напрузі струм х.х. $i_0 = 10-5-0,6\%$.

Якщо ж фактичні значення струму х.х. $I_{0ном}$ і потужності х.х. $P_{0ном}$ відповідному номінальному значенню первинної напруги $U_{1ном}$, помітно перевищують величини цих параметрів,

зазначені в каталозі на даний тип трансформатора, отже це свідчить про несправності цього трансформатора: наявність короткозамкнутих витків в обмотках або замиканні частини пластин магнітопроводу.

Дослід короткого замикання. Коротке замикання трансформатора – це такий режим, коли вторинна обмотка замкнута накоротко ($z_n = 0$), при цьому вторинна напруга $U_2 = 0$. В умовах експлуатації, коли до трансформатора

підведена номінальна напруга $U_{I_{ном}}$ коротке замикання є аварійним режимом і представляє небезпеку для трансформатора.

При досліді к. з. обмотку нижчої напруги однофазного трансформатора замикають накоротко (рисунок 2.4(а)), а до обмотки вищої напруги підводять знижену напругу, поступово підвищуючи її регулятором напруги РНО до деякого значення $U_{к.ном}$ при якому струми к. з. в обмотках трансформатора стають рівними номінальним струмам у первинній ($I_{1к}=I_{1ном}$)

і вторинній ($I_{2к}=I_{2ном}$) обмотках. При цьому знімають показання приладів і будують характеристики к. з., що представляють собою залежність струму к. з. $I_{1к}$, потужності к. з. $P_к$ і коефіцієнта потужності $\cos\phi_к$, від напруги к. з. $U_к$ (рисунок 2.5).

У випадку трифазного трансформатора дослід проводять за схемою, показаної на рисунку 2.4 (б), а значення напруги к.з. і струму к.з. визначають як середні для трьох фаз:

$$U_к = (U_{кA} + U_{кB} + U_{кC})/3;$$

$$I_{1к} = (I_{кA} + I_{кB} + I_{кC})/3.$$

Коефіцієнт потужності при досліді к.з.:

$$\cos\phi_к = P_к / (3 U_к I_{1к}).$$

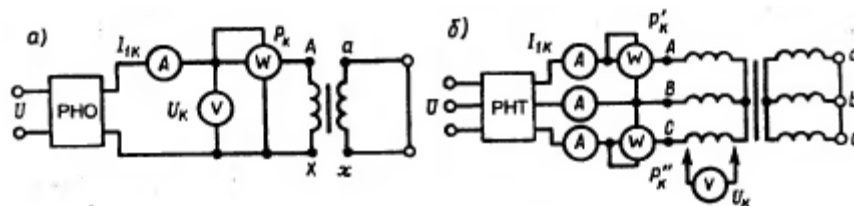


Рисунок 2.4 – Схеми досліді к.з. трансформаторів однофазного (а), трифазного (б)

При цьому активну потужність трифазного трансформатора вимірюють методом двох ватметрів. Тоді потужність к.з.

$$P_к = P'_к + P''_к,$$

де $P'_к$ та $P''_к$ – показання однофазних ватметрів, Вт.

Напруга, при якій струми в обмотках трансформатора при досліді дорівнюють номінальним значенням, називають *номінальною напругою короткого замикання* й звичайно виражають її у % від номінальної:

$$u_к = (U_к / U_{I_{ном}}) 100.$$

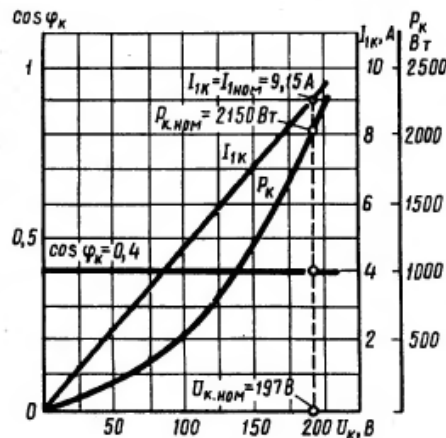


Рисунок 2.5 – Характеристики к.з. трансформатора

Для силових трансформаторів $u_k = 5-10\%$ від $U_{1ном}$.

Магнітний потік у магнітопроводі трансформатора пропорційний первинній напрузі U_1 . Так як ця напруга при досліді к.з. становить не більше 10% від $U_{1ном}$, то таку ж невелику величину становить магнітний потік. Для створення такого магнітного потоку потрібно невелике значення намагнічуючого струму, і його значенням можна зневажити. У цьому випадку рівняння струмів приймає вигляд:

$$I_{1к} = -I'_{2к},$$

а схема заміщення трансформаторів для досліді к. з. не містить вітки намагнічування (рисунок 2.6). Для цієї схеми заміщення можна записати рівняння напруг:

$$U_k = I_{1к}(r_1 + r'_2) + jI_{1к}(x_1 + x'_2),$$

або

$$U_k = I_{1к}r_k + jI_{1к}x_k = I_{1к}z_k.$$

Повний опір трансформатора при досліді к.з.:

$$z_k = r_k + jx_k,$$

де r_k та jx_k – активна та індуктивна складова опору к.з..

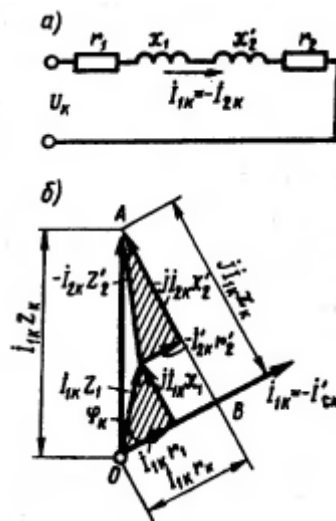


Рисунок 2.6 – Схема заміщення (а) та векторна діаграма (б) трансформатора в режимі к.з.

Скориставшись рівняннями струмів і напруг, для досліді к. з. побудуємо векторну діаграму трансформатора (рисунок 2.6 (б)). Побудова цієї діаграми починають із вектора напруги к. з. $U_k = I_{1к}z_k$. Потім під кутом φ_k до вектора U_k проводять вектор струму к.з.

$I_{1к} = I'_{2к}$. Побудувавши вектори спаду напруги в первинній обмотці $I_{1к}r_1$ та $jI_{1к}x_1$ і вектори спаду напруги у вторинній обмотці $-I'_{2к}r'_2$ та $-jI'_{2к}x'_2$ одержують прямокутний трикутник AOB називаний трикутником короткого замикання. Сторони цього трикутника будуть:

$$\begin{aligned} OB &= I_{1к}r_1 + I'_{2к}r'_2 = I_{1к}r_k = U_{к,а}; \\ BA &= I_{1к}x_1 + jI'_{2к}x'_2 = I_{1к}x_k = U_{к,р}; \\ OA &= I_{1к}z_k = U_k. \end{aligned}$$

Тут

$$U_k = \sqrt{U_{k,a}^2 + U_{k,p}^2}$$

де $U_{k,a}$ та $U_{k,p}$ – активна і реактивна складові напруги к. з., В.

Повний, активний й індуктивний опори схеми заміщення при досліді к.з.:

$$\begin{aligned} z_k &= U_k / I_{1k}; \\ r_k &= z_k \cos \varphi_k; \\ x_k &= \sqrt{z_k^2 - r_k^2}. \end{aligned}$$

Отримані значення опорів r_k і z_k , потужності P_k коефіцієнта потужності $\cos \varphi_k$ і напруги к. з. u_k варто привести до робочої температури обмоток +75 °С:

$$\begin{aligned} r_{k75} &= r_k [1 + \alpha(75^\circ - \theta_1)]; \\ z_{k75} &= \sqrt{r_{k75}^2 + x_k}; \\ \cos \varphi_{k75} &= r_{k75} / z_{k75}; \\ u_{k75} &= (I_{k75} z_{k75} / U_{1ном.}) 100, \end{aligned}$$

де r_k – активний опір к.з. при температурі θ_1 ,

$\alpha = 0,004$ – температурний коефіцієнт для міді та алюмінія.

Так як при досліді к. з. основний потік Φ_{max} становить усього лише кілька відсотків у порівнянні з його значенням при номінальній первинній напрузі, то магнітними втратами, викликаними цим потоком, можна знехтувати. Отже, можна вважати, що потужність P_k , споживана трансформатором при досліді к. з., іде повністю на покриття електричних втрат в обмотках трансформатора:

$$P_k = I_{1k}^2 r_1 + I_{1k}^2 r_2 = I_{1k}^2 r_k.$$

Потужність к. з. приводять до робочої температури обмоток +75 °С:

$$P_{k75} = 3 I_{1k}^2 r_{k75}.$$

4 Хід роботи

4.1 Зарисувати схему заміщення ТР в режимі х.х..

По заданим характеристикам х.х. $I_{0ном}$, А та $\cos \varphi_{0ном}$ трифазного ТР з даними: $S_{ном}$ кВА, $U_{1ном}/U_{2ном}$ кВ при з'єднанні обмоток Y/Y; визначити параметри вітки намагнічування схеми заміщення ТР та струм х.х. при номінальній фазній напрузі на стороні обмоток НН $U_{2\phi}$ В.

Таблиця 2.1

Параметр	Варіант				
	1	2	3	4	5
$I_{0ном}$, А	20	30	15	20,1	23
$\cos \varphi_{0ном}$	0,08	0,085	0,076	0,083	0,075
$S_{ном}$, кВА	110	200	250	150	100
$U_{1ном}/U_{2ном}$, кВ	10/6,3	6,3/0,38	10/0,38	10/0,22	6,3/0,22
$U_{2\phi}$, В	127	120	117	115	100

4.2 Зарисувати схему заміщення ТР в режимі к.з..

Результати вимірів при досліді к.з. трифазного ТР потужністю 250 кВА, лінійними напругами 10/6,3 В, при з'єднанні обмоток Y/Y наведені в таблиці 2.2 (напруга підводилась зі сторони ВН). Побудувати характеристики к.з.: залежність струму к.з., потужності к.з. та коефіцієнта потужності від напруги к.з..

Таблиця 2.2

Номер досліду	$U_{кА}$, В	$U_{кВ}$, В	$U_{кС}$, В	$I_{кА}$, А	$I_{кВ}$, А	$I_{кС}$, А	$P_{к}$, кВт
1	65	65,5	64	2,8	3,0	3,2	109
2	103	105	101	5,0	4,9	5,1	513
3	147	147	149	7,2	7,0	7,1	1050
4	191	189	190	9,1	9,0	9,2	1790
5	199	200	198	11,1	11,0	11,3	2190
6	204	205	205	13,0	13,1	13,0	2594

4.3 Зробити відповідні висновки по роботі.

5 Висновки:

6 Контрольні питання:

- 6.1 У чому полягає суть досліду х.х. однофазного ТР?
- 6.2 У чому полягає суть досліду х.х. трифазного ТР?
- 6.3 Зарисуйте схему досліду х.х. однофазного ТР.
- 6.4 Зарисуйте схему досліду х.х. трифазного ТР.
- 6.5 У чому полягає суть досліду к.з. ТР?
- 6.6 Зарисуйте схему досліду к.з. однофазного та трифазного ТР.
- 6.7 Що представляють собою характеристики короткого замикання?
- 6.8 Побудуйте векторну діаграму ТР в режимі к.з..

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 практичної роботи №3

Тема: Розрахунок параметрів асинхронного двигуна.

1 Мета:

- 1.1 Вивчити принцип дії асинхронного двигуна.
- 1.2 Вивчити рівняння ЕРС та струмів АД.
- 1.3 Ознайомитись із схемою заміщення АД.
- 1.4 Набути навиків по розрахунку основних параметрів АД.

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

- 2.1 Аркуші паперу формату А4.
- 2.2 Набір креслярських приладів.
- 2.3 Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи №3.

3 Теоретичні відомості

Як витікає з принципу дії асинхронного двигуна, обмотка ротора не має електричного зв'язку з обмоткою статора. Між цими обмотками є лише магнітний зв'язок, і енергія з обмотки статора передається в обмотку ротора магнітним полем. В цьому відношенні асинхронна машина аналогічна ТР: обмотка статора є первинною, а обмотка ротора – вторинною.

В процесі роботи асинхронного двигуна струми в обмотках статора та ротора створюють дві магніторушійні сили: МРС статора та МРС ротора. Спільною дією ці МРС наводять в магнітній системі двигуна результуючий магнітний потік, який обертається відносно статора з синхронною частотою обертання n_1 . Так як і у ТР, цей магнітний потік можна розглядати складовим з основного потоку Φ , зчепленого як з обмоткою статора, так і з обмоткою ротора (магнітний потік взаємоіндукції), та двох потоків розсіювання: $\Phi_{\sigma 1}$ – потоку розсіювання обмотки статора та $\Phi_{\sigma 2}$ – потоку розсіювання обмотки ротора. Розглянемо, які ЕРС наводять вказані потоки в обмотках двигуна.

Характерною ознакою АД є відставання ротора від обертового магнітного поля, що характеризується величиною ковзання:

$$s = (n_1 - n_2) / n_1,$$

звідки частота обертання ротора АД:

$$n_2 = n_1(1 - s).$$

Магнітне поле створюється в АД магніторушійною силою, величина якої визначається сумою магнітних напруг всіх ділянок магнітного кола двигуна:

$$\sum F = 2F_{\delta} + 2F_{z1} + 2F_{z2} + F_{c1} + F_{c2}.$$

Намагнічуючий струм обмотки статора:

$$I_{1\mu} = (p \sum F) / (0,9 m_1 w_1 k_{o\delta 1}).$$

Асинхронний двигун аналогічний трансформатору, у якого вторинна обмотка обертається (обмотка ротора). Схема заміщення аналогічна схемі заміщення ТР.

Основний магнітний потік Φ , який обертається з частотою обертання n_1 , наводить в нерухомій обмотці статора ЕРС E_1 , значення якої визначається виразом:

$$E = 4,44f_1\Phi w_1 k_{o61}.$$

Для кола обмотки статора АД, ввімкненого в мережу з напругою U_1 , запишемо рівняння напруг по другому закону Кірхгофа:

$$U_1 = E_1 + E_{\sigma 1} = I_1 r_1,$$

де $I_1 r_1$ – падіння напруги в активному опорі обмотки статора r_1 .

Після перенесення ЕРС E_1 та $E_{\sigma 1}$ в праву частину рівняння (3) з урахуванням (2) отримаємо рівняння напруг обмотки статора АД:

$$U_1 = (-E_1) + jI_1 x_1 + I_1 r_1.$$

Порівнявши отримане рівняння з рівнянням напруг для первинного кола ТР, побачимо, що вони однакові.

В процесі роботи АД ротор повертається в сторону обертання поля статора з частотою n_2 . Тому частота обертання поля статора відносно ротора рівна різності частот обертання $(n_1 - n_2)$. Основний магнітний потік Φ , випереджаючи ротор з частотою обертання $n_s = (n_1 - n_2)$, індукує в обмотці ротора ЕРС:

$$E_{2s} = 4,44f_1 s \Phi w_2 k_{o62} = E_{2s},$$

де E_2 – ЕРС, наведена в обмотці ротора при ковзанні $s=1$, тобто при нерухомому роторі, В.

Рівняння струмів статора асинхронного двигуна:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}'_2),$$

з якого випливає, що струм статора в асинхронному двигуні \dot{I}_1 має дві складові: \dot{I}_0 - намагнічує (майже постійну) складову ($I_0 \approx I_{1\mu}$) і $-\dot{I}'_2$ - змінну складову, що компенсує МРС ротора.

Отже, струм ротора I_2 надає на магнітну систему двигуна таке ж розмагнічує вплив, як і струм вторинної обмотки трансформатора. Таким чином, будь-яка зміна механічного навантаження на валу двигуна супроводжується відповідною зміною струму в обмотці статора I_1 так зміна цього навантаження двигуна викликає зміну ковзання s . Це, в свою чергу, впливає на ЕРС обмотки ротора, а отже, і на ток ротора I_2 . Але так як цей струм розвиває розмагнічує дію на магнітну систему двигуна, то його зміни викликають відповідні зміни струму в обмотці статора I_2 за рахунок складової $-I_2$. Так, в режимі холостого ходу, коли навантаження на валу двигуна відсутній і $s \approx 0$, струм $I_2 \approx 0$. У цьому випадку струм в обмотці статора $\dot{I}_1 \approx \dot{I}_0$. Якщо ж ротор двигуна загальмувати, не відключаючи обмотку статора від мережі (режим короткого замикання), то ковзання $s = 1$ і

ЕРС обмотки ротора E_{2s} досягає свого найбільшого значення E_2 . Також найбільшого значення досягне струм I_2 , а отже, і струм в обмотці статора I_1 .

4 Хід роботи

4.1 В таблиці 3.1 приведені дані наступних параметрів трифазного АД з короткозамкненим ротором: основний магнітний потік, число послідовно з'єднаних витків в обмотці статора, номінальне ковзання, ЕРС, що індукується в обмотці ротора при його нерухомому стані, та ЕРС ротора при його обертанні з номінальним ковзанням, частота цієї ЕРС при частоті обертання ротора. Частота струму у живлячій мережі 50 Гц. Необхідно визначити значення параметрів, відповідно до варіанту, що не вказані в таблиці.

Таблиця 3.1

Параметр	Варіант				
	1	2	3	4	5
$\Phi, \text{Вб}$	0,028	0,032	0,048	-	0,025
$w_1, \text{витків}$	18	-	24	16	-
$k_{об1}$	0,95	0,96	0,96	0,98	0,98
$s_{ном}$	0,04	-	0,05	0,04	-
$2p$	4	6	2	4	-
$E_{1\phi}, \text{В}$	-	210	-	98	110
$E_2, \text{В}$	-	-	-	-	-
$E_{2s}, \text{В}$	-	-	-	-	-
$f_2, \text{Гц}$	-	-	-	-	-
$n_{ном}, \text{об/хв}$	-	970	-	-	2920

4.2 Трифазний АД з фазним ротором має дані наведені в таблиці 4.2: максимальне значення магнітної індукції в повітряному зазорі, діаметр розточення статора, довжина осердя статора рівна $0,8D_1$, число пар полюсів в обмотках статора та ротора $2p$, число послідовно з'єднаних витків в фазних обмотках статора та ротора, обмотковий коефіцієнт для основної гармоніки статора та ротора прийняти рівними 0,093. Необхідно визначити фазні значення ЕРС в обмотці статора та в обмотці фазного ротора при його нерухомому стані та обертовому з ковзанням, частоту струму в нерухомому роторі. Частота струму в живлячій мережі 50 Гц.

Таблиця 1.2

Параметр	Варіант				
	1	2	3	4	5
$B_\delta, \text{Тл}$	1,5	1,35	1,5	1,4	1,45
$D_1, \text{мм}$	180	160	228	235	160
$l_1, \text{мм}$	141	130	180	190	130
$2p$	4	4	4	6	4
W_1	48	18	24	32	48
W_2	8	4	6	10	16
$s, \%$	8	12	10	6	5

4.3 Побудувати Г-подібну схему заміщення АД з винесеним намагнічуючим контуром. (розділ 12.3 ст. 164).

4.5 Зробити відповідні 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 В чому полягає вплив зубців осердя при наведенні ЕРС?

6.5 Які ЕРС наводяться в обмотці статора?

6.6 Запишіть рівняння напруг для обмотки статора та ротора.

6.7 Чи змінюється результуюча МРС? Відповідь аргументуйте.

6.8 Запишіть рівняння струмів асинхронного двигуна.

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 практичної роботи №4

Тема: Визначення величини обертових моментів і побудова механічної характеристики асинхронного двигуна.

1 Мета:

- 1.1 Вивчити причини виникнення електромагнітного моменту.
- 1.2 Вивчити метод розрахунку електромагнітного моменту.
- 1.3 Ознайомитись з принципом побудови механічної характеристики.
- 1.4 Набути навиків по розрахунку обертових моментів та з побудови механічної характеристики АД.

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

- 2.1 Аркуші паперу формату А4.
- 2.2 Набір креслярських приладів.
- 2.3 Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи №4.

3 Теоретичні відомості

Електромагнітний момент АД створюється взаємодією струму в обмотці ротора з обертовим магнітним полем. Електромагнітний момент M пропорційний електромагнітній потужності:

$$M = P_{em} / \omega_1 = 9,55 P_{em} / n_1,$$

де

$$\omega_1 = 2\pi n_1 / 60 = 2\pi f_1 / p$$

- синхронна кутова швидкість обертання (рад/с);

$$n_1 = 9,55 \omega_1$$

- синхронна частота обертання (об/хв).

Отже, електромагнітний момент:

$$M = P_{e2} / (\omega_1 s) = m_1 I_2'^2 r_2' / (\omega_1 s),$$

Тобто електромагнітний момент АД пропорційний потужності електричних втрат в обмотці ротора.

У визначенні моменту єдина змінна величина – ковзання. Значення ковзання АД залежить не лише від навантаження, але й від режиму роботи.

Графічно виражена залежність моменту від ковзання $M=f(s)$ при $U_1=\text{const}$, $f_1=\text{const}$ та постійних параметрах схеми заміщення представляє собою механічну характеристику АД.

Максимальне значення моменту:

$$M_{\max} = \frac{m_1 U_1^2 p}{4\pi f_1 \left[\pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2} \right]}.$$

Пусковий момент АД:

$$M_{\text{п}} = \frac{m_1 U_1^2 r_2' p}{2\pi f_1 \left[(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2 \right]}.$$

Для практичних розрахунків механічної характеристики АД використовують спрощену формулу моменту:

$$M = M_{\max} \frac{2}{s/s_{\text{кр}} + s_{\text{кр}}/s}$$

Критичне ковзання визначають за формулою:

$$s_{\text{кр}} = s_{\text{ном}} (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}).$$

Перевантажувальна здатність двигуна:

$$\lambda_M = M_{\max} / M_{\text{ном}}$$

Розрахунок механічної характеристики набагато спрощується, якщо його вести у відносних одиницях $M_* = M/M_{\max}$. В цьому випадку рівняння механічної характеристики має вигляд:

$$M_* = \frac{2}{s/s_{\text{кр}} + s_{\text{кр}}/s}$$

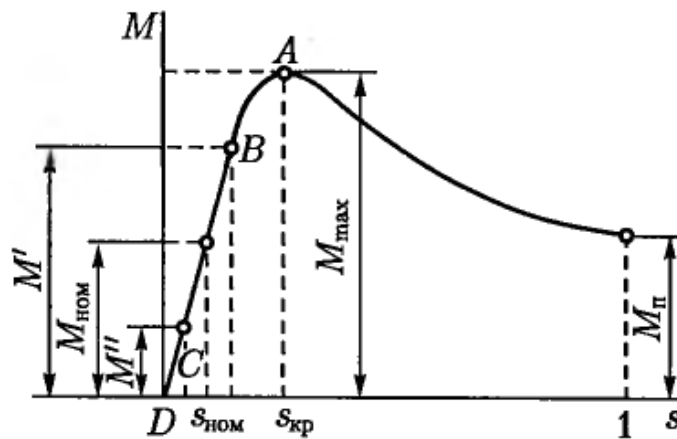


Рисунок 4.1 – Механічна характеристика АД

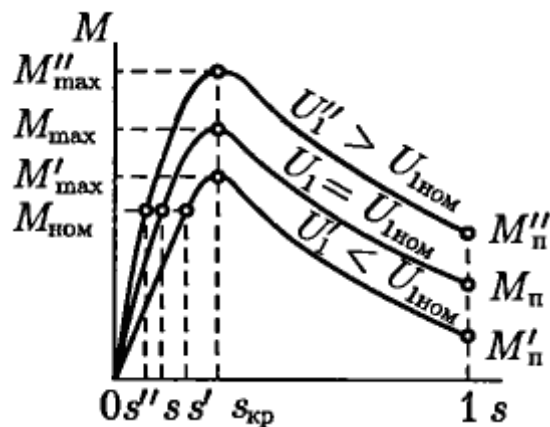


Рисунок 4.2 – Вплив підведеної до обмотки статора напруги на механічну характеристику АД

При розрахунку механічної характеристики необхідно мати на увазі, що при значеннях ковзання, перевищуючих критичне, точність розрахунків знижується. Це пояснюється зміною параметрів схеми заміщення АД, що викликані магнітним насиченням зубців статора та ротора, і збільшенням частоти струму в обмотці ротора.

4 Хід роботи

4.1 Трифазний АД з короткозамкненим ротором працює від мережі змінного струму напругою $U_{лн}=380 В$ частотою $f_1=50 Гц$. При номінальному навантаженні ротор обертається з частотою $n_{ном}$; перевантажувальна здатність двигуна λ_m , кратність пускового моменту $M_n/M_{ном}$ (таблиця 4.1). Розрахувати значення параметрів та побудувати механічну характеристику двигуна у відносних одиницях, якщо електромагнітна потужність в режимі номінального навантаження рівна $P_{ем}$. Визначити, при якому зниженні напруги відносно номінальної двигун втратить здатність пуску з номінальним моментом на валу та при якому зниженні напруги він втратить перенавантажувальну здатність.

Таблиця 3.1

Параметр	Варіант				
	1	2	3	4	5
$P_{ем}, кВт$	7,5	15	11	4	15
$n_{ном}, об/хв$	1440	2940	960	1420	720
λ_m	2,2	1,9	2,0	2,2	2,0
$M_n/M_{ном}$	1,4	1,4	1,3	1,0	1,0
$2p$	4	2	6	4	8

4.2 Трифазний АД з короткозамкненим ротором серії А2, який працює від мережі частотою 50 Гц напругою 380 В при з'єднанні обмотки статора «зіркою» має номінальні параметри, наведені в таблиці 4.2: корисна потужність, частота обертання, ккд, коефіцієнт потужності, кратність пускового струму, кратність пускового та максимального моментів, активний опір фазної обмотки статора при температурі 20⁰С. Необхідно розрахувати параметри та побудувати механічну характеристику двигуна. Коефіцієнт потужності в режимі к.з. прийняти рівним:

$$\cos\varphi_k=0,5\cos\varphi_{1ном}$$

Таблиця 4.2

Тип двигуна	$P_{ном}, кВт$	$n_{ном}, об/хв$	$\eta_{ном}, \%$	$\cos\varphi_{1ном}$	$I_n/I_{ном}$	$M_n/M_{ном}$	M_{max}/M_n	$r_{120}, Ом$
A2-61-2	17	2900	88,0	0,88	7	1,2	2,2	0,1900
A2-62-2	22	2900	89,0	0,88	7	1,1	2,2	0,1540
A2-71-2	30	2900	90,0	0,90	7	1,1	2,2	0,1170
A2-72-2	40	2900	90,5	0,90	7	1,0	2,2	0,0770
A2-81-2	55	2900	91,0	0,90	7	1,0	2,2	0,0540

4.3 Зробити відповідні висновки по роботі.

5 Висновки:

6 Контрольні питання:

- 6.1 Що представляє собою електромагнітний момент?
- 6.2 Від чого залежить значення електромагнітного моменту?
- 6.3 Що таке механічна характеристика АД?
- 6.4 Що таке критичне ковзання?
- 6.5 Що таке номінальний момент?
- 6.6 Що таке робоча ділянка механічної характеристики?
- 6.7 Коли настає межа стійкості роботи АД?
- 6.8 Що таке перевантажувальна здатність АД?
- 6.9 Яким чином можна спростити розрахунок механічної характеристики?

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 практичної роботи №5

Тема: Побудова векторної діаграми для трифазного синхронного генератора.

1 Мета:

- 1.1 Ознайомитися з порядком побудови векторної діаграми для трифазних синхронних генераторів.
- 1.2 Побудувати векторну діаграму.

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

- 2.1 Аркуші паперу формату А4.
- 2.2 Набір креслярських приладів.
- 2.3 Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи №5.

3 Теоретичні відомості

Скориставшись рівнянням ЕРС:

$$\dot{U}_1 = \sum \dot{E} - \dot{I}_1 r_1 = \dot{E}_0 + \dot{E}_{1d} + \dot{E}_{1q} + \dot{E}_{\sigma 1} - \dot{I}_1 r_1.$$

побудуємо векторну діаграму явнополюсного синхронного генератора, працюючого на активно-індуктивне навантаження (струм I_1 відстає по фазі від ЕРС E_0). Векторну діаграму будують на підставі наступних даних: ЕРС генератора в режимі х.х. E_0 ; струму навантаження I_1 і його кута зміщення ψ_1 відносно ЕРС E_0 ; поздовжнього x_{ad} та поперечного x_{aq} індуктивних опорів реакції якоря; активного опору фазної обмотки статора r_1 .

При симетричному навантаженні генератора діаграму будують лише для однієї фази.

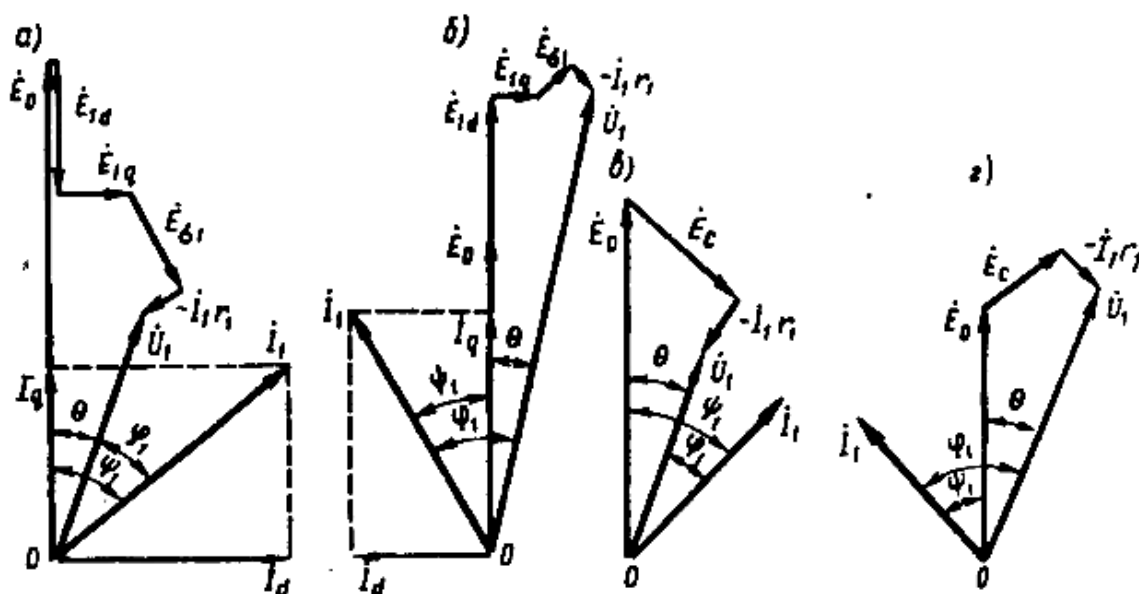


Рисунок 5.1 – Векторні діаграми явнополюсного (а та б) і неявнополюсного (в та г) синхронних генераторів:

а та б – при активно-індуктивному навантаженні; б та г – при активно-ємнісному навантаженні

Розглянемо порядок побудови векторної діаграми (рисунок 5.1 а). В довільному напрямку відкладаємо вектор ЕРС E_0 і під кутом ψ_1 , до нього — вектор струму I_1 . Останній розкладаємо на складові: реактивну $I_d = I_1 \sin \psi_1$ і активну $I_q = I_1 \cos \psi_1$. Далі, з кінця вектора E_0 відкладаємо вектори ЕРС $E_{1d} = -jI_d x_{ad}$; $E_{1q} = -jI_q x_{aq}$; $E_{\sigma l} = -jI_1 x_l$; $U_{a1} = -I_1 r_1$.

З'єднавши кінець вектора $U_{a1} = -I_1 r_1$ з точкою O , одержимо вектор напруги U_1 , значення якого дорівнює геометричній сумі векторів ЕРС.

При побудові векторної діаграми генератора, що працює на активно-ємнісне навантаження (струм I_1 випереджає по фазі ЕРС E_0), вектор струму I_1 відкладають вліво від вектора ЕРС (рисунок 5.1 б), а напрямок вектора E_{1d} встановлюють згідно з напрямком вектора ЕРС E_0 , так як при ємнісному характері навантаження реакція якоря має підмагнічуючий характер. В іншому випадку порядок побудови діаграми залишається попереднім.

Векторну діаграму синхронного неявнополюсного генератора будують на основі рівняння:

$$\dot{U}_1 = \sum \dot{E} - \dot{I}_1 r_1 = \dot{E}_0 + \dot{E}_c - \dot{I}_1 r_1$$

при цьому вектор E_0 відкладають під кутом ψ_1 до вектора струму I_1 (рисунок 5.1 в).

Слід зазначити, що побудовані векторні діаграми не враховують насичення магнітного кола, так як відбивають лише якісну сторону явищ. Але проте ці діаграми дають можливість зробити наступні виводи: основним фактором, що впливає на зміну напруги навантаженого генератора, є поздовжня складова магнітного потоку якоря, що створює ЕРС E_{1d} при роботі генератора на активно-індуктивне навантаження, тобто зі струмом I_1 , що відстає по фазі від ЕРС E_0 , напруга на виводах обмотки статора U_1 зі збільшенням навантаження зменшується, що пояснюється розмагнічуючим впливом реакції якоря. При роботі генератора на активно-ємнісному навантаженні (зі струмом I_1 , що випереджає по фазі ЕРС E_0) напруга U_1 , зі збільшенням навантаження підвищується, що пояснюється підмагнічуючим впливом реакції якоря (рисунок 5.1 г).

4 Хід роботи

4.1 Описати порядок побудови векторної діаграми явнополюсного синхронного генератора, працюючого на активно-індуктивне навантаження.

4.2 Технічні дані трифазних синхронних явнополюсних генераторів наведені в таблиці 5.1: основна ЕРС генератора (фазне значення) E_0 , номінальний струм навантаження генератора (фазний) $I_{1ном}$, кут фазового зсуву ψ_1 між векторами основної ЕРС E_0 та струму навантаження $I_{1ном}$ (навантаження активно-індуктивне), індуктивні опори – розсіювання обмотки статора x_l , реакції якоря по повздовжній осі x_{ad} , реакції якоря по поперечній осі x_{aq} .

Необхідно побудувати векторну діаграму генератора, визначити номінальну напругу; номінальне значення повної та активної потужності на виході генератора та зміну напруги при спаді навантаження. Частота струму 50 Гц; обмотки статора зеднані «зіркою», активними опорами обмоток статора знехтувати.

Таблиця 5.1 – Технічні дані трифазних синхронних явнополюсних генераторів

Параметр	Варіанти				
	1	2	3	4	5
E_0, B	270	284	298	260	265
$I_{ном}, A$	90	108	120	36	28
$\psi_1, град$	48	50	45	55	48
$x_1, Ом$	0,15	0,12	0,08	0,44	0,48
$x_{ад}, Ом$	1,32	1,24	1,18	1,65	1,82
$x_{аф}, Ом$	0,55	0,48	0,32	1,15	1,22

4.3 Використовуючи значення величин наведених в таблиці 5.1, визначити необхідні параметри генератора для випадку активно-ємнісного навантаження; кут фазового зсуву між векторами ЕРС та струмом навантаження прийняти $\psi'_1 = 0,5\psi_1$.

4.4 Зробити відповідні висновки по роботі.

5 Висновки:

6 Контрольні питання:

- 6.1 На основі яких даних будують векторну діаграму синхронних генераторів?
- 6.2 Який принцип побудови векторної діаграми у випадку симетричного навантаження синхронного генератора?
- 6.3 Який порядок побудови векторної діаграми синхронного генератора?
- 6.4 Який порядок побудови векторної діаграми при активно-ємнісному навантаженні?
- 6.5 Для чого будують векторну діаграму?

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 практичної роботи №6

Тема: Визначення параметрів синхронних генераторів та побудова практичної діаграми ЕРС.

1 Мета:

- 1.1 Визначити основні параметри синхронних генераторів.
- 1.2 Ознайомитися з порядком побудови практичної діаграми ЕРС.
- 1.3 Побудувати практичну діаграму ЕРС.

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

- 2.1 Аркуші паперу формату А4.
- 2.2 Набір креслярських приладів.
- 2.3 Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи №6.

3 Теоретичні відомості

Характерною ознакою синхронних машин є жорсткий зв'язок між частотою обертання ротора n_1 і частотою змінного струму в обмотці статора f_1 :

$$n_1 = f_1 60 / p.$$

Інакше кажучи, обертове магнітне поле статора й ротор синхронної машини обертаються *синхронно*, тобто з однаковою частотою.

По своїй конструкції синхронні машини розділяються на явнополюсні та неявнополюсні. В явнополюсних синхронних машинах ротор має явно виражені полюси, на яких розташовують котушки обмотки збудження, що живляться постійним струмом. Характерною ознакою таких машин є розходження магнітного опору по поздовжній осі (по осі полюсів) і по поперечній осі (по осі, що проходить у міжполюсному просторі). Магнітний опір потоку статора по поздовжній осі dd набагато менше магнітного опору потоку статора по поперечній осі qq . В неявнополюсних синхронних машинах магнітні опори по поздовжній і поперечній осях однакові, оскільки повітряний зазор у цих машин по периметру статора однаковий.

Конструкція статора синхронної машини в принципі не відрізняється від статора асинхронної машини. В обмотці статора в процесі роботи машини індукуються ЕРС і протікають струми, які створюють магніторушійну силу (МРС), максимальне значення якої:

$$F_1 = 0,45 m_1 I_1 w_1 k_{o61} / p.$$

Ця МРС створює обертове магнітне поле, а в повітряному зазорі δ машини створюється магнітна індукція, графік розподілу якої в межах кожного полюсного розподілу τ залежить від конструкції ротора (рисунок 6.1).

Для явнополюсної синхронної машини справедливе рівняння напруг:

$$U_1 = E_0 + E_{1d} + E_{1q} + E_{\sigma 1} - I_1 r_1,$$

де E_0 – основна ЕРС синхронної машини, пропорційна основному магнітному потоку синхронної машини Φ_0 ;

E_{1d} – ЕРС реакції якоря синхронної машини по поздовжній осі, пропорційна МРС реакції якоря по поздовжній осі F_{1d} ;

E_{1q} – ЕРС реакції якоря по поперечній осі, пропорційна МРС реакції якоря по поперечній осі F_{1q} ;

$E_{\sigma 1}$ – ЕРС розсіювання, обумовлена наявністю магнітного потоку розсіювання Φ_{σ} , величина цієї ЕРС пропорційна індуктивному опору розсіювання обмотки статора x_l :

$$E_{\sigma 1} = -jI_1 x_l;$$

$I_1 r_1$ – активне падіння напруги у фазній обмотці статора, звичайно цією величиною при рішенні задач нехтують через її невелике значення.

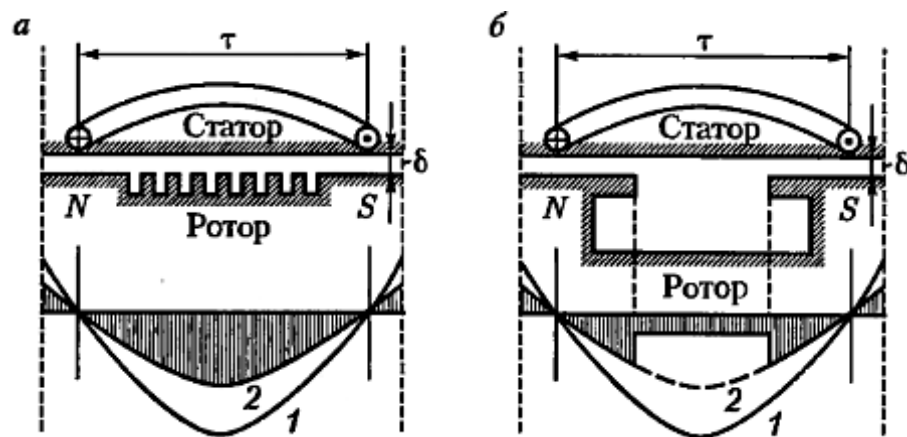


Рисунок 6.1 – Графіки розподілу магнітної індукції по поперечній осі неявнополюсної (а) та явнополюсної (б) синхронних машин:

1 – графік МРС; 2 – графік магнітної індукції

Для неявнополюсної синхронної машини рівняння напруг має вигляд:

$$U_1 = E_0 + E_c - I_1 r_1.$$

Тут

$$E_c = E_l + E_{\sigma 1},$$

де E_l – ЕРС реакції якоря явнополюсної синхронної машини.

Розглянутим рівнянням напруг відповідають векторні діаграми напруг. Дані діаграми доводиться будувати для визначення або основної ЕРС

машини E_0 або напруги обмотки статора U_1 . Варто мати на увазі, що рівняння напруг і відповідні їм векторні діаграми не враховують магнітного насичення магнітопроводу синхронної машини, що, як відомо, впливає на величину індуктивних опорів, викликаючи їхнє зменшення. Врахування цього насичення представляє складне завдання, тому при розрахунках ЕРС і напруг синхронних машин звичайно користуються *практичною діаграмою* ЕРС, що враховує стан насичення магнітної системи, викликане дією реакції якоря при навантаженні синхронної машини. При побудові практичної діаграми ЕРС силу, намагнічуючої реакції якоря не розкладають на поздовжню й поперечну складові, тому ця діаграма може бути застосована як при розрахунках явнополюсних, так і неявнополюсних машин.

4 Хід роботи

4.1 Описати порядок побудови практичної діаграми синхронного генератора.

4.2 Параметри трифазного синхронного генератора (таблиця 6.1): номінальна (лінійна) напруга на виході $U_{I_{ном}}$ при частоті струму 50 Гц, обмотка статора з'єднана «зіркою», номінальний струм статора $I_{I_{ном}}$, КПД генератора при номінальному навантаженні $\eta_{ном}$, число полюсів $2p$, потужність на вході генератора $P_{I_{ном}}$, корисна потужність на виході генератора $P_{ном}$, сумарні втрати в режимі номінального навантаження $\sum P_{ном}$, корисна номінальна потужність на виході $S_{2ном}$, коефіцієнт потужності навантаження, підключеної до генератора, $\cos \varphi_{1ном}$, обертовий момент первинного двигуна при номінальному навантаженні генератора $M_{I_{ном}}$. Необхідно визначити параметри, значення яких в таблиці 6.1 не вказані.

Таблиця 6.1 – Технічні дані трифазних синхронних явнополюсних генераторів

Параметр	Варіанти				
	1	2	3	4	5
$S_{ном}, кВА$	-	270	470	-	600
$U_{I_{ном}}, кВ$	3,2	0,4	-	0,7	3,2
$\eta_{ном} \%$	-	-	91	90	93
$2p$	8	-	6	10	12

Продовження таблиці 6.1

Параметр	Варіанти				
	1	2	3	4	5
$P_{ном}, кВт$	-	206	-	-	-
$\sum P_{ном}, кВт$	27	18	-	-	-
$\cos \varphi_{1ном}$	-	0,85	0,9	-	0,92
$I_{I_{ном}}, А$	72,2	-	43,1	190	-
$P_{I_{ном}}, кВт$	340	-	-	190	-
$M_{I_{ном}}, Нм$	-	-	-	-	-

4.3 Трифазний синхронний генератор номінальною потужністю $P_{ном}$ та номінальною (фазною) напругою $U_{1ф.ном}$ працює з коефіцієнтом потужності $\cos \varphi_{1ном} = 0,8$ (інд). Обмотка фази статора має індуктивний опір розсіювання x_l (таблиця 6.2); відношення короткого замикання ОКЗ, частота змінного струму 50 Гц.

Необхідно побудувати практичну діаграму ЕРС та по ній визначити номінальну зміну напруг генератора при спаді навантаження. Активним опором фази обмотки статора знехтувати. Характеристика холостого ходу генератора нормальна.

Таблиця 6.2 – Параметри трифазного синхронного генератора

Параметр	Варіанти				
	1	2	3	4	5
$U_{Iном}, B$	230	230	400	400	400
ОКЗ	1,2	1,3	1,1	1,4	1,1
$x_l, Ом$	0,32	0,45	0,32	0,28	0,25

4.4 Зробити відповідні висновки по роботі.

5 Висновки:

6 Контрольні питання:

- 6.1 На основі яких даних будують практичну діаграму синхронних генераторів?
- 6.2 Який принцип побудови практичної діаграми синхронного генератора?
- 6.3 Для чого будують практичну діаграму?
- 6.4 Яка характерна ознака синхронних машин?

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 практичної роботи №7

Тема: Розрахунок та побудова графіків залежності моментів, які діють на ротор генератора у функції кута θ .

1 Мета:

- 1.1 Визначити основні моменти, які діють на ротор генератора.
- 1.2 Побудувати графіки залежності визначених моментів у функції кута θ .
- 1.3 Визначити перенавантажувальну здатність генератора.

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

- 2.1 Аркуші паперу формату А4.
- 2.2 Набір креслярських приладів.
- 2.3 Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи №7.

3 Теоретичні відомості

При вирішенні задач, зв'язаних або із синхронними генераторами, включеними паралельно з мережею, або із синхронними двигунами, користуються *кутовими характеристиками* синхронних машин, що представляють собою залежність електромагнітного моменту M від кута навантаження θ . При цьому варто пам'ятати, що в явнополюсних синхронних машинах діють два моменти: основний $M_{осн}$ і реактивний M_p , а в неявнополюсних машинах – тільки основний момент:

$$M_{осн} = \frac{m_1 U_1 E_0}{\omega_1 x_d} \sin \theta;$$

$$M_p = \frac{m_1 U_1^2}{2\omega_1} \left(\frac{1}{x_q} + \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta.$$

Кут навантаження $\theta_{ном}$ відповідає номінальному моменту $M_{ном}$. Максимальний момент синхронної машини визначає перенавантажувальну здатність синхронної машини, що має важливе значення як для синхронних генераторів, що працюють паралельно з мережею, так і для синхронних двигунів. У неявнополюсних синхронних машинах максимальний момент відповідає куту навантаження $\theta = 90^\circ$, у явнополюсних машинах $\theta_{кр} < 90^\circ$ і звичайно становить $(60—80)^\circ$ залежно від співвідношення основних і реактивного електромагнітних моментів цієї машини.

Для розрахунку критичного кута навантаження, що визначає перевантажувальну здатність явнополюсних синхронних машин, можна скористатися виразом:

$$\cos \theta_{кр} = \sqrt{\beta^2 + 0.5} - \beta,$$

де

$$\beta = E_0 / \left[4U_1 (x_d/x_q - 1) \right]$$

При розрахунках параметрів синхронних машин застосовують *U-подібні* характеристики, що представляють собою залежність струму статора I_1 від струму в обмотці збудження I_6 при постійному навантаженні P_2 . При цьому зміна струму в колі статора $I_1 = I_{1a} + jI_{1p}$ відбувається лише за рахунок його реактивної складової jI_{1p} . Тому регулювання величини струму збудження I_6 супроводжуються одночасною зміною не тільки струму статора, але й коефіцієнта потужності $\cos\varphi$. Активна складова струму статора I_a при цьому залишається незмінною. Створюючи режим *перезбудження* $I_6 > I_{60}$ викликають *випередження* по фазі струму мережі I_c відносно напруги U_1 , що сприяє підвищенню коефіцієнта потужності в мережі. Енергетичні характеристики в синхронній машині залежать від режиму її роботи. Якщо машина працює в режимі генератора, то підведена до генератора механічна потужність визначається обертаючим моментом приводного двигуна M_1 і частотою обертання n_1 :

$$P_1 = 0,105 M_1 n_1.$$

Частина цієї потужності витрачається на покриття механічних $P_{мех}$, магнітних P_m і додаткових P_d втрат. Якщо збудження генератора походить від збудника, що приводить в обертання від загального приводного двигуна, то до перерахованих втрат додаються ще й втрати на збудження:

$$P_6 = U_6 I_6 / \eta_6,$$

де U_6 й I_6 – напруга й струм у колі збудження;

η_6 – ККД збудника.

Потужність, що залишилася після вирахування перерахованих втрат, являє собою електромагнітну потужність генератора $P_{ем}$, що передається на статор генератора електромагнітним шляхом. Корисна потужність на виході генератора P_2 менше електромагнітної потужності на величину електричних втрат в обмотці статора:

$$P_{el} = m_1 I_1^2 r_1.$$

Сумарні втрати синхронного генератора:

$$\Sigma P = P_{\text{мех}} + P_{\text{м}} + P_{\text{в}} + P_{\text{доб}} + P_{\text{ел}}.$$

Корисна потужність генератора:

$$P_2 = S_2 \cos \varphi_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1,$$

де $S_2 = m_1 U_1 I_1$ – повна потужність на виході генератора, ВА;

$\cos \varphi_1$ – коефіцієнт потужності в колі навантаження генератора.

Якщо синхронна машина працює в режимі двигуна, то види втрат залишаються колишніми, але електрична потужність на вході двигуна:

$$P_1 = S_1 \cos \varphi_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1,$$

а потужність на виході двигуна є механічною:

$$P_2 = 0,105 M_2 n_1.$$

Коефіцієнт корисної дії синхронної машини:

$$\eta = P_2 / P_1.$$

4 Хід роботи

4.1 Описати порядок побудови кутової характеристики синхронного генератора.

4.2 Трифазний синхронний генератор явнополюсної конструкції номінальною потужністю $S_{\text{ном}}$ та числом полюсів $2p$ ввімкнений на паралельну роботу з мережею напругою U_1 частотою 50 Гц. Статор генератора має довжину l_1 та діаметр D_1 ; магнітна індукція в повітряному зазорі B_δ , коефіцієнт заповнення статора сталлю $k_c = 0,95$. Фазна обмотка статора містить w_1 послідовно з'єднаних витків з обмотковим коефіцієнтом $k_{\text{об1}} = 0,92$. Фазні обмотки статора з'єднані «зіркою». Синхронні індуктивні опори генератора: по повздовжній осі x_d , по поперечній осі x_q . Значення перерахованих параметрів наведені в таблиці 7.1.

Необхідно визначити гальмівні моменти, які діють на ротор: основний, реактивний та результуючий та побудувати графіки цих моментів в функції кута θ , розрахувати перенавантажувальну здатність генератора, якщо режим номінального навантаження відповідає куту навантаження $\theta_{\text{ном}} = 16,5^\circ$.

Таблиця 7.1 – Параметри синхронних генераторів

Параметр	Варіанти				
	1	2	3	4	5
$S_{ном}, кВА$	400	700	950	630	460
$U_1, В$	660	6000	6000	6000	660
$2p$	8	10	16	12	8
$D_l, м$	0,92	0,86	1,80	1,0	0,80
$l_l, м$	0,25	0,35	0,50	0,50	0,30
$B_\delta, Тл$	0,78	0,80	0,85	0,78	0,76
w_l	66	480	450	380	62
$x_d, Ом$	1,70	85	62,7	96,5	1,50
$x_q, Ом$	0,78	36,6	21,5	33,6	0,45

4.3 Зробити відповідні висновки по роботі.

5 Висновки:

6 Контрольні питання:

6.1 На основі яких даних будують кутову характеристику синхронних генераторів?

6.2 Який принцип побудови кутової характеристики синхронного генератора?

6.3 Для чого будують векторну діаграму?

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 практичної роботи №8

Тема: Розрахунок параметрів генератора постійного струму.

1 Мета:

- 1.1 Ознайомитися з основними параметрами генератора постійного струму.
- 1.2 Розрахувати параметри генератора постійного струму відповідно до варіанту.
- 1.3 Зробити висновки по роботі.

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

- 2.1 Аркуші паперу формату А4.
- 2.2 Набір креслярських приладів.
- 2.3 Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи №8.

3 Теоретичні відомості

Відмітною ознакою колекторної машини постійного струму є наявність у неї щітково-колекторного вузла – механічного перетворювача. Через колектор і щітки здійснюється зв'язок робочої обмотки (обмотки якоря) з електричним навантаженням, якщо машина є генератором, або із джерелом живлення, якщо машина є двигуном.

Робоча обмотка розташована на обертовій частині машини – якорі, і називається обмоткою якоря. Ця обмотка складається із секцій, певним чином покладених на сердечнику якоря й приєднаних до колектора.

Обмотка якоря представляє собою замкнуту систему провідників і вона, як правило, виконується двошаровою. Секції обмотки можуть бути одновитковими або багатовитковими. Обмотки якоря можуть бути хвильовими й петлевими, простими, складними й комбінованими.

Для вирівнювання ЕРС паралельних віток обмотки або вирівнювання ЕРС простих обмоток, що складають складну, в обмотках застосовують зрівняльні з'єднання.

ЕРС обмотки якоря E_a пропорційна основному магнітному потоку порушення Φ та частоті обертання n :

$$E_a = c_e \Phi n,$$

де c_e – коефіцієнт, обумовлений конструкцією обмотки якоря: числом пар полюсів p , кількістю пазових сторін (провідників) N , складових обмотки, і числом паралельних віток в обмотці a :

$$c_e = pN / (60a).$$

Електромагнітний момент M , що виникає на якорі при проходженні струму I_a по обмотці якоря, Нм:

$$M = c_m \Phi I_a,$$

де c_m – коефіцієнт, обумовлений конструкцією обмотки якоря,

$$c_m = pN / (2\pi a).$$

Основний магнітний потік машини постійного струму визначається виразом, Вб:

$$\Phi = B_\delta l_i \tau \alpha_i,$$

де B_δ – магнітна індукція в повітряному зазорі машини, Тл;

l_i – розрахункова довжина сердечника якоря, м;

τ – полюсний розподіл, м;

$\alpha_i = 0,6 - 0,8$ – коефіцієнт полюсного перекриття.

Електромагнітний момент машини постійного струму M прямо пропорційний електромагнітній потужності $P_{em} = E_a I_a$ й обернено пропорційний частоті обертання якоря n :

$$M = 9,55 P_{em} / n.$$

Важливим процесом, що впливає на робочі властивості машини постійного струму, є *реакція якоря*. У результаті впливу цього процесу відбувається перекручування магнітного поля в повітряному зазорі й зубцевому шарі якоря машини і її розмагнічування. Для ослаблення небажаного впливу реакції якоря в машинах постійного струму застосовують додаткові полюси, а в машинах значної потужності – ще й компенсаційну обмотку.

Розмагнічуючий вплив реакції якоря по поперечній осі доводиться враховувати. Звичайно це роблять за допомогою коефіцієнта реакції якоря $k_{p.я}$, що використовують при розрахунку МРС, що компенсує вплив реакції якоря по поперечній осі:

$$F_{qd} = k_{p.я} F_a,$$

де F_a – МРС обмотки якоря на пару полюсів, А:

$$F_a = NI_a / (4ap).$$

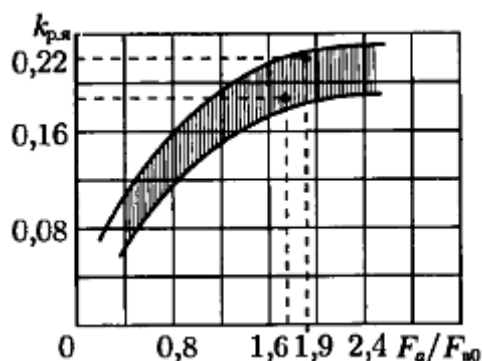


Рисунок 8.1 – Графік $k_{p,я}=f(F_a / F_{\epsilon 0})$

Для визначення коефіцієнта реакції якорі користуються графіком $k_{p,я}=f(F_a / F_{\epsilon 0})$ (рисунок 8.1), де нижня границя графіка відповідає магнітній індукції в зубцях сердечника якоря $B_z = 1,7$ Тл, а верхня – $B_z = 2,3$ Тл.

Величина $F_{\epsilon 0}$ представляє собою МРС обмотки збудження в режимі холостого ходу, А:

$$F_{\epsilon 0} = 2F_{\delta}k_{\mu}$$

де F_{δ} – магнітна напруга повітряного зазору, А, ($F_{\delta}=0,8B_{\delta}\delta k_{\delta}10^3$);

$k_{\mu} = 1,2 - 1,7$ – коефіцієнт магнітного насичення магнітного кола машини;

B_{δ} – магнітна індукція в повітряному зазорі машини, Тл;

k_{δ} – коефіцієнт повітряного зазору, враховує збільшення повітряного зазору, викликане зубчастою поверхнею якоря.

4 Хід роботи

4.1 Обмотка якоря машини постійного струму складається з N активних сторін при числі полюсів $2p=4$, основний магнітний потік Φ , ЕРС обмотки якоря E_a при коефіцієнті c_e , частота обертання якоря n . Використовуючи дані таблиці 8.1 визначити параметри, яких не вистачає.

Таблиця 8.1 – Параметри машини постійного струму

Параметр	Варіанти				
	1	2	3	4	5
$n, \text{об/хв}$	1200	1200	-	-	1500
N	240	-	-	120	240
c_e	-	12	20	-	-
$E_a, \text{В}$	-	-	400	200	120
$\Phi, \text{Вб}$	0,008	0,14	0,02	0,025	-

4.2 Двигун постійного струму паралельного збудження номінальною потужністю $P_{ном}$ ввімкнений в мережу з напругою U_c ; ККД двигуна $\eta_{ном}$, обмотка якоря проста хвильова ($2a=2$), з числом полюсів $2p=4$, число активних провідників в обмотці N ; струм в обмотці збудження $I_b=0,02I_{аном}$,

величина одностороннього повітряного зазору δ , магнітна індукція в зазорі B_δ , магнітна індукція в зубцях якоря B_z , коефіцієнт повітряного зазору $k_\delta=1,3$, коефіцієнт магнітного насичення магнітопровода двигуна $k_\mu=1,35$. Значення перерахованих параметрів наведені в таблиці 8.2.

Необхідно визначити МРС по поперечній осі та число витків в полюсній котушці збудження, необхідне для компенсації реакції якоря по поперечній осі при номінальному навантаженні двигуна.

Таблиці 8.2 – Параметри двигуна постійного струму паралельного збудження

Параметр	Варіанти				
	1	2	3	4	5
$P_{ном}$, кВт	120	85	30	45	90
U_c , В	440	220	220	440	440
$\eta_{ном}$, %	90	87	85	85	87
N	300	150	120	260	240
δ , мм	2,0	1,8	1,8	1,6	1,8
B_z , Тл	2,3	1,8	1,9	1,7	1,9
B_δ , Тл	0,85	0,80	0,83	0,80	0,83

4.3 Генератор постійного струму паралельного збудження має номінальні дані: потужність $P_{ном}$, напруга $U_{ном}$, частота обертання $n_{ном}$, опір обмоток в колі якоря, приведений до робочої температури Σr , падіння напруги в щітковому контакті пари щіток $\Delta U_{щ} = 2В$, опір кола обмотки збудження r_B , ККД в номінальному режимі $\eta_{ном}$, струм генератора $I_{ном}$, струм в колі збудження I_B , струм в колі якоря $I_{а.ном}$, ЕРС якоря $E_{а.ном}$, електромагнітна потужність $P_{ем}$, електромагнітний момент при номінальному навантаженні $M_{ном}$, потужність приводного двигуна $P_{Iном}$.

Значення перерахованих параметрів наведені в таблиці 8.3. Необхідно визначити значення параметрів не наведених в таблиці.

Таблиця 8.3 – Параметри генератора постійного струму

Параметр	Варіанти				
	1	2	3	4	5
$P_{ном}$, кВт	35	-	-	18	45
$U_{ном}$, В	460	230	460	230	-
$n_{ном}$, об/хв	1450	-	-	1500	1000
Σr , Ом	0,3	0,15	-	-	-
r_B , Ом	150	100	-	-	92
$\eta_{ном}$, %	86,5	-	88	-	88
$I_{ном}$, А	-	87	-	-	97,8
I_B , А	-	-	4	-	-
$I_{а.ном}$, А	-	-	-	75	-
$E_{а.ном}$, В	-	-	480	240	477
$P_{ем}$, кВт	-	-	55	-	-
$M_{ном}$, Нм	-	280	525	-	-
$P_{Iном}$, кВт	-	23	-	21	-

4.4 Зробити відповідні 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 практичної роботи №9

Тема: Розрахунок параметрів двигуна постійного струму.

1 Мета:

- 1.1 Ознайомитися з основними параметрами двигуна постійного струму та видами його збудження.
- 1.2 Розрахувати параметри двигуна постійного струму відповідно до варіанту.
- 1.3 Зробити висновки по роботі.

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

- 2.1 Аркуші паперу формату А4.
- 2.2 Набір креслярських приладів.
- 2.3 Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи №9.

3 Теоретичні відомості

Для роботи електричної машини необхідна наявність магнітного поля. У більшості машин постійного струму це поле створюється обмоткою збудження, що живиться постійним струмом. Властивості машин постійного струму в значній мірі визначаються способом включення обмотки збудження, тобто *способом збудження*.

За способами збудження машини постійного струму можна класифікувати в такий спосіб:

машини незалежного збудження, у яких обмотка збудження (ОВ) живиться постійним струмом від джерела, електрично не пов'язаного з обмоткою якоря (рисунок 9.1 а);

машини паралельного збудження, у яких обмотка збудження й обмотка якоря з'єднані паралельно (рисунок 9.1 б);

машини послідовного збудження (звичайно застосовувані як двигуни), у яких обмотка збудження й обмотка якоря з'єднані послідовно (рисунок 9.1в);

машини змішаного збудження, у яких є дві обмотки збудження – паралельна ОВ1 і послідовна ОВ2 (рисунок 9.1 г);

машини зі збудженням постійними магнітами (рисунок 9.1 д).

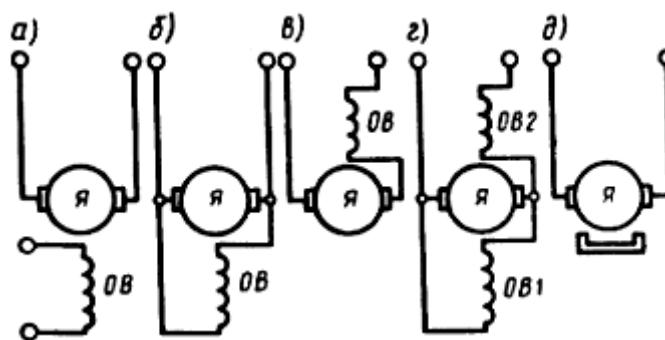


Рисунок 9.1 – Способи збудження машин постійного струму

Всі зазначені машини (крім останніх) відносяться до машин з електромагнітним збудженням, так як магнітне поле в них створюється електричним струмом, що проходить в обмотці збудження. Початки й кінці обмоток машин постійного струму відповідно до Держстандарту позначаються: обмотка якоря – Я1 й Я2, обмотка додаткових полюсів – Д1 і Д2, компенсаційна обмотка – К1 і К2, обмотка збудження незалежна – М1 і М2, обмотка збудження паралельна (шунтова) – Ш1 і Ш2, обмотка збудження послідовна – З1 і З2.

4 Хід роботи

4.1 Крановий двигун постійного струму послідовного збудження серії Д потужністю $P_{ном}$ ввімкнений в мережу напругою 220 В та при номінальному навантаженні розвиває частоту обертання $n_{ном}$. Необхідно розрахувати дані та побудувати графік залежності струму навантаження від моменту навантаження двигуна. Моментом холостого ходу знехтувати. Значення перерахованих параметрів двигунів наведені в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1 – Параметри кранових двигунів постійного струму послідовного збудження серії Д

Тип двигуна	$P_{ном}$, кВт	$U_{ном}$, В	$\eta_{ном}$, %	$n_{ном}$, об/хв
Д-808	37	220	88	525
Д-810	55	440	89	500
Д-812	75	440	89,5	475
Д-814	110	440	90	460
Д-32	12	220	80	675

4.2 Двигун постійного струму паралельного збудження має наступні дані: номінальна потужність $P_{ном}$, напруга живлення $U_{ном}$, номінальна частота обертання $n_{ном}$, опір обмоток в колі якоря $\sum r$, опір кола збудження $r_{\text{в}}$, падіння напруги в щітковому контакті щіток $\Delta U_{\text{щ}} = 2\text{В}$. Значення перерахованих параметрів наведені в таблиці 9.2.

Необхідно визначити споживаний двигуном струм в режимі номінального навантаження $I_{ном}$, опір пускового реостата $R_{п.р.}$, при якому початковий пусковий струм в колі якоря двигуна був би рівний $2,5 I_{а.ном}$, початковий пусковий момент M_n , частоту обертання n_0 та струм I_0 в режимі холостого ходу, номінальну зміну частоти обертання якоря при збросі навантаження. Впливом реакції якоря знехтувати.

Таблиця 9.2 – Технічні дані двигуна постійного струму паралельного збудження

Параметр	Варіанти				
	1	2	3	4	5
$P_{ном}, кВт$	25	15	45	42	18
$U_{ном}, В$	220	220	440	220	220
$n_{ном}, об/хв$	1200	1000	1500	1500	1200
$\eta_{ном}, \%$	85	83,8	88	78	84
$\sum r, Ом$	0,15	0,12	0,13	0,15	0,12
$r_B, Ом$	73	73	88	64	73

4.3 Зробити відповідні висновки по роботі.

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)