

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія



Семенов В.В.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання контрольної роботи
з дисципліни "Основи теорії електричних машин і приводів"
для студентів ЗДІА
спеціальності 7.0809.03 "Електронні системи"
денної і заочної форм навчання

Запоріжжя

2007

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання контрольної роботи
з дисципліни "Основі теорії електричних машин і приводів"
для студентів ЗДІА
спеціальності 7.0809.03 "Електронні системи"
денної і заочної форм навчання

*Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри ЕС
протокол № 15 від 14.05.07*

Запоріжжя
2007

Методичні вказівки з дисципліни "Основи теорії електричних машин і приводів" для студентів спеціальності 7.0908.03 "Електронні системи" денної і заочної форм навчання / Укладач В.В. Семенов. – Запорозжя: ЗДІА, 2007. – 23 с.

Укладач: В.В. Семенов – професор кафедри ЕС, к. т. н., доцент.

Відповідальний за випуск – Д.Г. Алексієвський, к. т. н., доцент.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ЗАВДАННЯ № 1 "ТРАНСФОРМАТОР"	4
1.1 Зміст завдання і варіанти початкових даних	5
1.2 Стисли теоретичні відомості	6
1.3 Вказівки до виконання завдання	9
2 ЗАВДАННЯ № 2 "АСИНХРОННИЙ ДВИГУН"	12
2.1 Зміст завдання і варіанти початкових даних	12
2.2 Стисли теоретичні відомості	13
2.3 Вказівки до виконання завдання	15
3. ЗАВДАННЯ № 3 "ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ"	18
3.1 Зміст завдання і варіанти початкових даних	18
3.2 Стисли теоретичні відомості	19
3.3 Вказівки до виконання завдання	20
4. ЗАВДАННЯ № 4 "АВТОМАТИЧНИЙ ВИМИКАЧ"	22
4.1 Зміст завдання і варіанти початкових даних	22
4.2 Стисли теоретичні відомості	22
4.3 Вказівки до виконання завдання	23
ЛІТЕРАТУРА	24

ВСТУП

Контрольна робота з дисципліни «Основи теорії електричних машин і електроприводу» складається з чотирьох завдань, три з яких розрахункові і одне теоретичне.

Номер варіанту початкових даних повинен відповідати Вашому порядковому номеру у груповому журналі.

Метою розрахункових завдань є засвоєння студентами методик розрахунків параметрів електричних машин.

Теоретичне завдання має на меті засвоєння студентами практичних навичок вибору комутаційних приладів.

Контрольна робота оформляється у зошиті і повинна бути написана рукою. Розрахункові завдання повинні супроводжуватися докладними поясненнями розрахунків, а результати розрахунків повинні бути надані у вигляді графіків. Пояснювальний текст та рисунки повинні бути оформлені в відповідності до вимог ДСТУ.

Обсяг контрольної роботи повинен не перевищувати 20 сторінок.

1 ЗАВДАННЯ № 1 "ТРАНСФОРМАТОР"

1.1 Зміст завдання і варіанти початкових даних

Визначити параметри схеми заміщення, розрахувати і побудувати зовнішню характеристику трансформатора для $\cos \varphi_2 = 0,8$, побудувати векторну діаграму для номінального струму при $\cos \varphi_2 = 0,8$. Початкові данні приведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Номінальні параметри трифазних двообмоткових трансформаторів

№ вар.	Тип	$S_{\text{ном}}$	$U_{\text{номI}}$	$U_{\text{кз}}$	Втрати х.х. P_{xx}	Втрати к.з. $P_{\text{кз}}$	Струм х.х. i_0
		кВА	кВ	%	кВТ	кВТ	%
1	ТМ-25/10	25	10	4,5	0,135	0,600	3,2
2	ТМ-40/10	40	10	4,5	0,190	0,880	3,0
3	ТМ-63/10	63	10	4,5	0,265	1,280	2,8
4	ТМ-100/10	100	10	4,5	0,365	1,970	2,6
5	ТМ-160/10	160	10	4,5	0,565	2,65	2,4
6	ТМ-250/10	250	10	4,5	0,820	3,70	2,3
7	ТМ-400/10	400	10	4,5	1,050	5,50	2,1
8	ТМ-630/10	630	10	5,5	1,560	7,60	2,0
9	ТМ-250/35	250	35	6,5	1,00	3,70	2,3
10	ТМ-400/35	400	35	6,5	1,35	5,50	2,1
11	ТМ-630/35	630	35	6,5	1,90	7,60	2,0
12	ТМ-1000/10	1000	10	5,5	2,45	12,2	1,4
13	ТМ-1600/10	1600	10	5,5	3,30	18,0	1,3
14	ТМ-2500/10	2500	10	5,5	4,60	25,0	1,0
15	ТМ-4000/10	4000	10	6,5	6,40	33,5	0,9
16	ТМ-6300/10	6300	10	6,5	9,00	46,5	0,8
17	ТМ-1000/35	1000	35	6,5	2,75	12,2	1,5
18	ТМ-1600/35	1600	35	6,5	3,65	18,0	1,4
19	ТМ-2500/35	2500	35	6,5	5,10	25,0	1,1
20	ТМ-4000/35	4000	35	7,5	6,70	33,5	1,0
21	ТМ-6300/35	6300	35	7,5	9,40	46,5	0,9
22	ТМ-10000/35	10000	35	7,5	14,5	65,0	0,8
23	ТД-16000/35	16000	35	8,0	21,0	90,0	0,6
24	ТД-40000/35	40000	35	8,5	36,0	165,0	0,4
25	ТДЦ-80000/35	80000	35	9,5	60,0	280,0	0,3

1.2 Стисли теоретичні відомості

Трансформатором називається статичний електромагнітний пристрій, призначений для перетворення змінного струму (чи напруги), що містить дві (чи більш) індуктивне зв'язані обмотки [1]. Обмотка, на яку подається напруга живлення, називається первинною, інші обмотки називаються вторинними. Основними параметрами трансформатора є номінальна частота живильної напруги, номінальна потужність, номінальні напруги обмоток і напруга короткого замикання. Для трифазних трансформаторів номінальною напругою є лінійна напруга, тому при розрахунку параметрів схеми заміщення, що розраховується для однієї фази, треба використовувати величину фазної напруги, обумовлену формулою:

$$U_{1ном} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}} \quad (1.1)$$

Номінальна потужність двообмоткового трансформатора дорівнює номінальній потужності первинної обмотки. Для трифазного трансформатора номінальна потужність визначається сумою потужностей усіх первинних обмоток:

$$S_{ном} = 3 \cdot U_{1ном} \cdot I_{1ном} \quad (1.2)$$

Діюче значення ерс самоіндукції будь-якої обмотки трансформатора визначається числом витків відповідної обмотки і швидкістю зміни зчепленого з нею магнітного потоку. З урахуванням конструктивних параметрів трансформатора ерс самоіндукції обмотки визначається співвідношенням:

$$E_i = 4,44 f w_i S B_{max} \quad (1.3)$$

де E_i - діюче значення ерс самоіндукції i -ої обмотки, В;

f - частота живильної мережі, Гц;

w_i - число витків i -ої обмотки;

S - перетин магнітопроводу а, м²;

B_{max} - амплітуда індукції в магнітопроводу, Тл.

Відношення величин ерс первинної і вторинної обмоток називається коефіцієнтом трансформації:

$$k_T = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} \quad (1.4)$$

де w_1 і w_2 - числа витків первинної і вторинної обмоток, відповідно.

У реальному трансформаторі частина потоку первинної обмотки замикається не по магнітопроводу, а через повітря (потік розсіювання), тому ерс вторинної обмотки трохи менше, ніж напруга первинної обмотки, перелічена на вторинну сторону трансформатора.

При розрахунках кіл із трансформаторами урахування цього явища, а також урахування втрат в активних опорах обмоток і в сердечнику трансформатора, виконується за допомогою тієї чи іншої схеми заміщення. У більшості випадків, використовується Т-образна схема заміщення (рис. 1.1) чи її спрощений варіант, у якому не враховується коло намагнічування. При побудові схеми заміщення використовується поняття приведенного трансформатора, у якого приймається однаковим число витків первинної і вторинної обмоток. Параметрами схеми заміщення є:

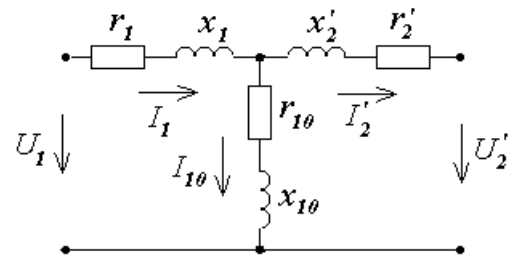


Рис. 1.1 - Схема заміщення трансформатора

r_1 - активний опір міді первинної обмотки;

$x_1 = \omega L_{s1}$ - реактивний опір індуктивності розсіювання первинної обмотки;

$r_2' = \frac{r_2}{k_T^2}$ - приведений до первинної обмотки активний опір вторинної обмотки;

$x_2' = \frac{x_2}{k_T^2}$ - приведений до первинної обмотки індуктивний опір розсіювання вторинної обмотки.

x_{10} - реактивний опір індуктивності намагнічування;

r_{10} - еквівалентний опір втрат у контурі намагнічування.

Параметри схеми заміщення визначаються за результатами дослідів холостого ходу і короткого замикання.

Дослід холостого ходу проводиться при розімкнутих вторинних обмотках трансформатора, при цьому на первинну обмотку (у трифазному трансформаторі на всі три первинні обмотки) подається номінальна напруга. У досліді холостого ходу вимірюються втрати холостого ходу і струм намагнічування кожної фази. Потім втрати складаються.

Дослід короткого замикання проводиться при короткому замиканні вторинних обмоток трансформатора, при цьому на

первинну обмотку подається знижена напруга такої величини, щоб струм первинної обмотки був рівним номінальному. Напруга первинної обмотки, отримана при цих умовах, називається напругою короткого замикання трансформатора:

$$U_{ka} = I_{1ном} Z_k = I_{1ном} \sqrt{(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2} = I_{1ном} \sqrt{r_k^2 + x_k^2}. \quad (1.5)$$

де U_{ka} - напруга короткого замикання (абсолютна), В;

Z_k - модуль опору короткого замикання, Ом;

r_k - активна складова опору короткого замикання, Ом;

x_k - реактивна складова опору короткого замикання, Ом;

Як правило, напруга короткого замикання представляється чи в частках від номінальної напруги первинної обмотки (фазної), тобто у відносних одиницях, чи у відсотках:

$$U_k^* = \frac{U_{ka}}{U_{1ном}} [\text{в.о.}]; \quad (1.6)$$

$$U_k = \frac{U_{ka}}{U_{1ном}} \cdot 100 [\%]. \quad (1.7)$$

Звичайно U_k трансформатора середньої потужності лежить у межах 4-6 %.

При проведенні досліду короткого замикання вимірюються втрати в кожній фазі, що потім складаються:

$$P_{кз} = 3I_{1ном}^2 (r_1 + r_2'). \quad (1.8)$$

Знання величини втрат дозволяє визначити фазу струму короткого замикання:

$$\varphi_k = \arccos\left(\frac{P_{кз}}{3U_{ka} I_{1ном}}\right). \quad (1.9)$$

У робочих режимах трансформатора при збільшенні струму навантаження напруга вторинної обмотки трансформатора знижується. Залежність діючого значення вихідної напруги трансформатора від діючого значення струму навантаження:

$$U_2 = f(I_2) \quad (1.10)$$

називається зовнішньою або навантажувальною характеристикою.

Рівняння (1.10) можна перерахувати на первинну сторону трансформатора і тоді, відповідно, одержати співвідношення, що не залежить від коефіцієнта трансформації. Приведену величину діючого значення вихідної напруги трансформатора можна

розрахувати, використовуючи параметри схеми заміщення трансформатора і векторну діаграму, показану на рис. 1.2:

$$U_2^* = 1 - \Delta U_2^* = 1 - \beta \cdot U_k^* \cdot \cos(\varphi_k - \varphi_2), \quad (1.11)$$

де U_2^* - приведенне до первинної обмотки діюче значення вихідної напруги трансформатора в в.о.;

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2ном}} = \frac{I_2'}{I_{1ном}} - \text{коефіцієнт навантаження};$$

U_k^* - напруга короткого замикання в в.о.;

φ_k - фаза струму короткого замикання;

φ_2 - фаза струму навантаження.

Нахил зовнішньої характеристики трансформатора залежить від напруги короткого замикання і від характеру навантаження: при індуктивному характері навантаження нахил зовнішньої характеристики більше.

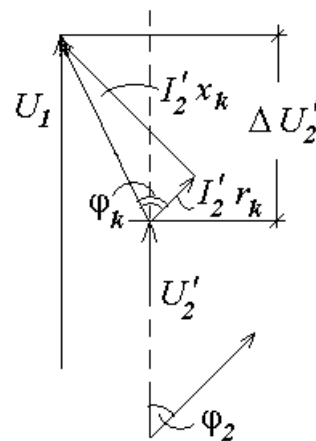


Рис. 1.2 - Векторна діаграма

1.3 Вказівки до виконання завдання

При розрахунку параметрів схеми заміщення трансформатора варто пам'ятати, що номінальною напругою трифазного трансформатора є лінійна напруга, а номінальна потужність трансформатора визначається по (1.2). Параметри схеми заміщення трансформатора обчислюються для однієї фази, у наступному порядку:

- Номінальний струм первинної обмотки трансформатора:

$$I_{1н} = \frac{S_{1н}}{\sqrt{3}U_{1н}};$$

- Струм холостого ходу трансформатора:

$$I_0 = \frac{I_{1н} \cdot I_0[\%]}{100};$$

- Повний опір холостого ходу:

$$Z_{xx} = \frac{U_{1н}}{\sqrt{3} \cdot I_0};$$

- Активна складова опору холостого ходу:

$$r_{xx} = \frac{P_{xx}}{3 \cdot I_0^2};$$

- Реактивна складова опору холостого ходу:

$$x_{xx} = \sqrt{Z_{xx}^2 - r_{xx}^2};$$

- Напруга короткого замикання:

$$U_{ka} = \frac{U_{1H}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{U_k \cdot [\%]}{100};$$

- Опір короткого замикання:

$$Z_k = \frac{U_{ka}}{I_{1H}};$$

- Активна складова опору короткого замикання:

$$r_k = \frac{P_k}{3 \cdot I_{1H}^2};$$

- Реактивна складова опору короткого замикання:

$$x_k = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2};$$

- Параметри контуру намагнічування. Оскільки $x_{xx} \gg x_k$ і $r_{xx} \gg r_k$, те:

$$x_{10} = x_{xx}, \text{ а } r_{10} = r_{xx};$$

- Параметри контуру короткого замикання:

$$x_{s1} = x'_{s2} = \frac{x_k}{2}, \quad r_1 = r'_2 = \frac{r_k}{2}.$$

Виходячи з параметрів схеми заміщення, можна розрахувати векторну діаграму трансформатора:

- Фаза струму намагнічування:

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{x_{10}}{r_{10}};$$

- Фаза струму короткого замикання:

$$\varphi_k = \operatorname{arctg} \left(\frac{x_k}{r_k} \right);$$

- Фаза струму навантаження:

$$\varphi_n = \arccos 0,8;$$

- Для розрахунку зовнішньої характеристики трансформатора треба визначити відносну величину спадання напруги по формулі:

$$\Delta U^* = \beta U_k^* \cos(\varphi_k - \varphi_2),$$

де $\beta = \frac{I_2}{I_{2НОМ}}$ - коефіцієнт навантаження трансформатора;

U_k^* - напруга короткого замикання в в.о.;

φ_k , φ_2 - фаза струму короткого замикання і навантаження, відповідно.

- Для побудови векторної діаграми трансформатора треба попередньо визначити параметри навантаження, приведені до напруги первинної обмотки трансформатора:

$$Z'_2 = \frac{U'_2}{I_{ном}} ; R'_2 = Z'_2 \cos \varphi_2 ; X'_2 = Z'_2 \sin \varphi_2 .$$

- Тоді фаза приведеного струму навантаження:

$$\Psi = \arctg \left(\frac{x_k + X'_2}{r_k + R'_2} \right)$$

Далі векторна діаграма будується як звичайно [1].

2 ЗАВДАННЯ № 2 "АСИНХРОННИЙ ДВИГУН"

1.2 Зміст завдання і варіанти початкових даних

Використовуючи номінальні дані асинхронного двигуна, визначити параметри схеми заміщення, розрахувати і побудувати природну механічну характеристику.

При рішенні задачі струм холостого ходу прийняти рівним 40% від номінального струму, втрати холостого ходу прийняти рівними 20% від повних втрат, механічними втратами зневажити. Початкові данні приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Номінальні параметри асинхронних двигунів
с короткозамкнутим ротором серії 4А

№ вар.	$P_{\text{ном}},$ кВт	$n_{\text{ном}}$ об/мин	$\eta_{\text{ном}},$ %	$\cos \varphi_{\text{ном}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{н}}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{н}}$
1	2,2	2850	83,0	0,87	2,1	6,5
2	3,0	2840	84,5	0,88	2,1	6,5
3	4,0	2880	86,5	0,89	2,0	7,5
4	5,5	2880	87,5	0,91	2,0	7,5
5	7,5	2900	87,5	0,88	2,0	7,5
6	11,0	2900	88,0	0,90	1,7	7,5
7	15,0	2940	88,0	0,91	1,4	7,0
8	18,5	2940	88,5	0,92	1,4	7,0
9	22,0	2940	88,5	0,91	1,4	7,5
10	30,0	2945	90,5	0,90	1,4	7,5
11	37,0	2945	90,0	0,89	1,4	7,5
12	45,0	2945	91,0	0,90	1,4	7,5
13	55,0	2945	91,0	0,92	1,4	7,5
14	75,0	2960	91,0	0,89	1,2	7,5
15	90,0	2960	92,0	0,90	1,2	7,5
16	110	2970	91,0	0,89	1,2	7,0
17	132	2970	91,5	0,89	1,2	7,0
18	160	2970	92,0	0,90	1,2	6,5
19	200	2970	92,5	0,90	1,2	7,0
20	250	2970	92,5	0,90	1,0	7,0
21	315	2970	93,0	0,91	1,0	7,0
22	0,75	1390	72,0	0,73	2,0	4,5
23	1,10	1420	75,0	0,81	2,0	5,0
24	1,50	1415	77,0	0,83	2,0	5,0
25	2,20	1425	80,0	0,83	2,1	5,0

2.2 Стисли теоретичні відомості

Як відомо [1], обертаючий момент на валу асинхронного двигуна створюється за рахунок взаємодії магнітних полів статора і ротора. При цьому струм у роторних обмотках виникає під впливом ерс, що наводиться полем статора. Для того щоб така ерс виникала необхідно, щоб частота обертання ротора (тобто вала двигуна) була трохи менше, ніж частота обертання поля статора. Кількісна оцінка різниці частот обертання ротора і поля статора називається ковзанням:

$$s = \frac{\omega_o - \omega_e}{\omega_o}, \quad (2.1)$$

де ω_o - синхронна частота обертання поля, рад/с;

ω_e - частота обертання вала, рад/с.

Синхронна частота обертання поля залежить від конструкції двигуна і обернено пропорційна числу пар полюсів:

$$\omega_o = \frac{\omega_1}{p}, \quad (2.2)$$

де $\omega_1 = 2\pi \cdot f_1$ - кругова частота живильної мережі, рад/с;

p - число пар полюсів машини.

Завдяки тому, що намагнічувальні сили обмоток статора і ротора обертаються синхронно і спрямовані зустрічно, існує електромагнітна аналогія між асинхронним двигуном і двообмотковим трансформатором. Тому електромагнітні процеси в асинхронному двигуні описуються системою рівнянь подібної з відповідною системою, що використовується для опису процесів у трансформаторі. Відповідно, для розрахунку робочих режимів використовуються подібні схеми заміщення, одна з яких показана на рис. 2.1.

Відмінність схеми заміщення асинхронного двигуна від схеми заміщення трансформатора полягає в появі фіктивного резистора $r_2' \frac{1-s}{s}$ (величина якого залежить від ковзання), у якому виділяється потужність, що рівна потуж-

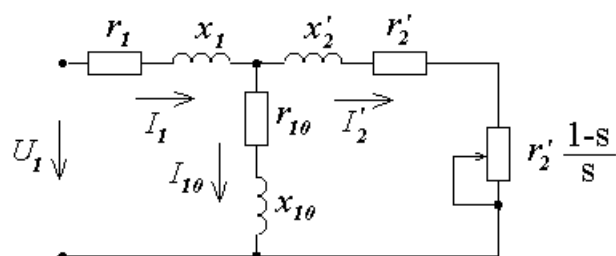


Рис. 2.1 - Схема заміщення асинхронного двигуна

ності, яка знімається з вала двигуна. Крім того, завдяки наявності повітряного зазору між ротором і статором, відносні величини реактивних опорів розсіювання обмоток статора і ротора значно більше, ніж у трансформатора.

Однієї з найважливіших робочих характеристик асинхронного двигуна є механічна характеристика. Механічною характеристикою називається залежність моменту на валу двигуна від ковзання $M = f(s)$, що має вид, показаний на рис. 2.2.

Основними параметрами механічної характеристики асинхронного двигуна є величина максимального моменту M_K і відповідне йому ковзання s_K , що називається критичним ковзанням. На практиці для розрахунку механічної характеристики користаються формулою Клосса:

$$M = \frac{2M_K}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}}. \quad (2.3)$$

Механічна характеристика асинхронного двигуна може бути розрахована і через параметри схеми заміщення. У цьому випадку, звичайно використовується Г-образна схема заміщення (рис. 2.3), у якій контур намагнічування перенесений на вхідні затиски, що дозволяє спростити розрахунок електромагнітного моменту.

Відповідно до цієї схеми заміщення електромагнітна потужність, що передається через повітряний зазор машини, визначається наступними співвідношеннями:

$$P_{эм} = \omega_o M_{эм} = m I_2'^2 \frac{r_2'}{s}. \quad (2.4)$$

Крім того, як впливає зі схеми заміщення:

$$I_2'^2 = U_1^2 / \left((x_1 + x_2') + \left(r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 \right). \quad (2.5)$$

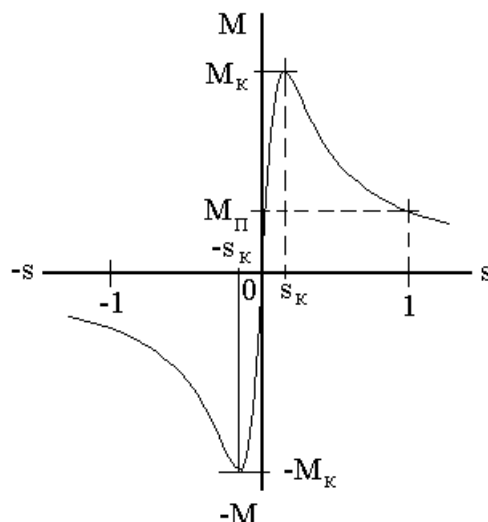


Рис. 2.2 - Механічна характеристика АД

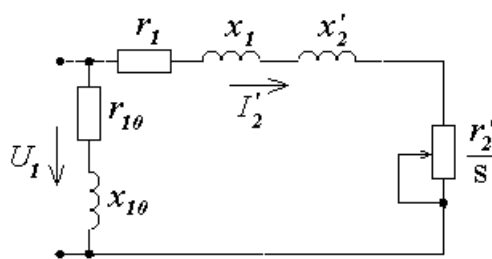


Рис. 2.3 - Схема заміщення асинхронного двигуна

Якщо в (2.4) підставити (2.5) і (2.2), і вирішити його щодо моменту, то одержимо рівняння механічної характеристики, виражене через параметри схеми заміщення:

$$M_{эм} = \frac{pm}{\omega_1} \cdot \frac{U_1^2 r_2'}{s \left[X_k^2 + \left(r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 \right]}, \quad (2.6)$$

де $X_k = x_1 + x_2'$ - реактивна складова опору короткого замикання.

Дослідження знаменника на екстремум показує, що максимальне значення моменту має місце при:

$$s = s_k = \frac{r_2'}{\sqrt{X_k^2 + r_1^2}} \approx \frac{r_2'}{X_k}. \quad (2.7)$$

Після підстановки (2.7) у (2.6) можна одержати величину максимального моменту:

$$M_k = \frac{pm}{\omega_1} \cdot \frac{U_1^2}{2X_k}. \quad (2.8)$$

Відповідно, величина пускового моменту виходить з (2.6) підстановкою $s = 1$:

$$M_n = \frac{pm}{\omega_1} \cdot \frac{U_1^2 r_2'}{X_k^2 + (r_1 + r_2')^2}. \quad (2.9)$$

Приведені співвідношення дозволяють, виходячи з каталожних даних двигуна, визначити параметри схеми заміщення, а потім розрахувати і побудувати механічну характеристику двигуна.

2.3 Вказівки до виконання завдання

Усі двигуни, параметри яких приведені в табл. 2.1, призначені для живлення від мережі промислової частоти з напругою 220/380 В.

При розрахунку номінального струму і параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна необхідно мати на увазі, що номінальною потужністю двигуна вважається потужність на валу машини. Для розрахунку моменту на валу машини треба користатися частотою обертання вираженої в рад/с. Розрахунок величини активного опору ротора виконується через вираження для пускового моменту двигуна, розрахунок механічної характеристики по формулі Клосса.

Розрахунок варто робити в наступному порядку:

- Номінальний струм статора двигуна:

$$I_{1ном} = \frac{P_{ном}}{3 \cdot U_1 \cdot \eta_{ном} \cdot \cos \varphi_{ном}}.$$

- Пусковий струм статора двигуна:

$$I_{пуск} = \frac{I_n}{I_n} \cdot I_{1ном}.$$

- Номінальна частота обертання:

$$\omega_{ном} = 2\pi \frac{n_{ном}}{60}.$$

- Номінальний момент на валу двигуна:

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}}.$$

- Пусковий момент двигуна:

$$M_{пуск} = \frac{M_n}{M_n} \cdot M_{ном}.$$

- Опір короткого замикання:

$$Z_k = \frac{U_1}{I_{пуск}}.$$

- Приведений активний опір ротора:

$$r_2' = \frac{M_{пуск} \cdot \omega_0}{p \cdot m \cdot I_{пуск}^2}.$$

- Активна складова опору короткого замикання:

$$r_k = 2r_2'.$$

- Реактивна складова опору короткого замикання:

$$x_k = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2}.$$

- Опір розсіювання обмоток:

$$x_{s1} = x_{s2}' = x_k / 2.$$

- Критичне ковзання:

$$s_k = \frac{r_2'}{x_k};$$

- Критичний момент:

$$M_k = \frac{pm}{\omega_1} \cdot \frac{U_1^2 r_2'}{2x_k};$$

- Рівняння механічної характеристики:

$$M = \frac{2M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} .$$

Задаючи величини робочого ковзання в діапазоні від -1,5 до 1,5, можна побудувати механічну характеристику.

3. ЗАВДАННЯ № 3 "ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ"

3.1 Зміст завдання і варіанти початкових даних

Використовуючи даної машини постійного струму незалежного збудження з табл. 3.1, побудувати механічну характеристику двигуна і розрахувати опір пускового реостата, приймаючи кратність пускового струму рівної 2,5.

Таблиця 3.1- Номінальні параметри машин постійного струму серії 2П

№ варіанта	$P_{\text{ном}}$, кВт	$U_{\text{ном}}$, В	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$\eta_{\text{ном}}$
1	1,0	110	1500	0,72
2	1,0	220	1500	0,74
3	1,0	340	1500	0,75
4	1,0	440	1500	0,76
5	2,4	110	1500	0,74
6	2,4	220	1500	0,76
7	2,4	340	1500	0,77
8	2,4	440	1500	0,78
9	3,2	110	1500	0,75
10	3,2	220	1500	0,77
11	3,2	340	1500	0,78
12	3,2	440	1500	0,79
13	4,2	110	1500	0,76
14	4,2	220	1500	0,78
15	4,2	340	1500	0,79
16	4,2	440	1500	0,80
17	5,3	110	1500	0,77
18	5,3	220	1500	0,79
19	5,3	340	1500	0,8
20	5,3	440	1500	0,81
21	7,1	110	1500	0,78
22	7,1	220	1500	0,80
23	7,1	340	1500	0,81
24	7,1	440	1500	0,82
25	8,5	110	1500	0,80

3.2 Стисли теоретичні відомості

Ерс якоря машини постійного струму виникає при перетинанні провідниками обмотки якоря силових ліній полюси, створюваного струмом обмотки збудження. Величина цієї ерс визначається співвідношенням:

$$E_a = c_e \Phi \omega , \quad (3.1)$$

де c_e - конструктивна постійна машини;
 Φ - потік збудження;
 ω - частота обертання вала машини.

Момент на валу двигуна створюється в результаті взаємодії струму в провідниках якоря і потоку збудження. Величина моменту обчислюється по формулі:

$$M = c_M \Phi I_a . \quad (3.2)$$

Використовуючи співвідношення для потужності на вході кола якоря і на валу двигуна:

$$P = \omega M = E_a I_a . \quad (3.3)$$

неважко показати, що конструктивні постійні в рівняннях (3.1) і (3.2) рівні:

$$c_e \Phi = c_M \Phi = k . \quad (3.4)$$

У реальних машинах обмотка якоря має активний опір, тому напруга на затисках якоря більше, ніж ерс:

$$U_1 = E_a + I_a r_a , \quad (3.5)$$

де I_a - струм якоря;
 r_a - опір обмотки якоря.

Використовуючи (3.1), (3.4) і (3.5) можна одержати струмову характеристику двигуна:

$$\omega = \frac{U_1 - I_a r_a}{k} \quad (3.6)$$

Відповідно, використовуючи (3.2) і (3.6) одержимо рівняння механічної характеристики:

$$\omega = \frac{U_1 - \frac{M}{k} \cdot r_a}{k} = \frac{U_1}{k} - \frac{M r_a}{k^2} = \omega_o - \Delta \omega . \quad (3.7)$$

При пуску двигуна ерс якоря дорівнює нулю, тому пускової струм треба обмежувати за допомогою додаткового резистора.

Таким чином, пусковий струм можна розрахувати за формулою:

$$I_{an} = \frac{U_1}{r_a + R_n}, \quad (3.8)$$

де R_n - опір пускового резистора.

Приведені співвідношення дозволяють вирішити поставлену задачу.

3.3 Вказівки до виконання завдання

Як і в задачі № 2, при розрахунку номінального струму двигуна необхідно пам'ятати, що номінальна потужність це потужність на валу. Активний опір якоря машини можна визначити через різницю між споживаною потужністю і потужністю на валу двигуна, припускаючи, що ккд машини визначається ккд кола якоря. Конструктивну постійну машини зручно визначити через номінальний момент і номінальний струм якоря.

Розрахунок можна виконати в наступному порядку:

- Потужність, споживана двигуном:

$$P_1 = \frac{P_{ном}}{\eta};$$

- Номінальний струм якоря:

$$I_a = \frac{P_1}{U_{ном}};$$

- Опір якоря:

$$r_a = \frac{P_1 - P_{ном}}{I_a^2};$$

- Номінальна частота обертання вала:

$$\omega_{ном} = 2\pi \frac{n_{ном}}{60};$$

- Номінальний момент на валу двигуна:

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}};$$

- Конструктивна постійна двигуна:

$$k = \frac{M_{ном}}{I_a}$$

- Ерс якоря:

$$E_a = U_1 - I_a \cdot r_a;$$

- Частота обертання холостого ходу:

$$\omega_0 = \frac{U_1}{k};$$

- Механічна характеристика двигуна описується рівнянням:

$$\omega = \frac{U_1}{k} - \frac{Mr_a}{k^2}.$$

- Пускової струм:

$$I_n = 2,5 \cdot I_a$$

- Опір пускового резистора:

$$R_n = \frac{U_1}{I_n} - r_a$$

4. ЗАВДАННЯ № 4 "АВТОМАТИЧНИЙ ВИМИКАЧ"

4.1 Зміст завдання і варіанти початкових даних

Використовуючи початкові дані для задачі № 2, вибрати автоматичний вимикач. Параметри автоматичних вимикачів приведені в [3].

4.2 Стисли теоретичні відомості

Автоматичні вимикачі призначені для захисту електроустаткування, у тому числі й асинхронних короткозамкнутих двигунів, від дії струму короткого замикання. Автоматичні вимикачі на середні струми (наприклад, серій АП, АК, ВА) допускається використовувати і для оперативних комутацій, тобто для включення і відключення устаткування відповідно до технологічних потреб. Звичайно конструкція автоматичного вимикача передбачає ручне включення, при якому відбувається взвод зворотної пружини і постановка її на засувку, що забезпечує необхідне контактне натискання після відпускання важеля включення. Для відключення вимикача необхідно впливати на засувку для звільнення зворотної пружини, що забезпечує швидке розведення контактів. Розчіплювання засувки можливо чи вручну (при натисканні кнопки "ОТКЛ") чи автоматично під впливом того чи іншого розчіплювача. Звичайно, автоматичний вимикач має електромагнітний і тепловий розчіплювачі, а деякі типи автоматичних вимикачів обладнані і дистанційним розчіплювачем. Електромагнітний (чи максимальний) розчіплювач являє собою котушку із сердечником, що механічно зв'язаний із засувкою. Через котушку протікає струм, що проходить через контакти вимикача. В міру збільшення струму росте зусилля, з яким сердечник давить на засувку. При досягненні струму заданої величини, що називається уставкою максимального розчіплювача, засувка вибивається і зворотна пружина розмикає контакти. Звичайно уставка максимального розчіплювача складає $10-15 I_{ном}$. Це забезпечує нормальний пуск асинхронних двигунів, що мають номінальний струм статора рівний номінальному струму вимикача. Час спрацьовування автоматичного вимикача при аварійних струмах, що перевищують уставку максимального захисту, звичайно складає 15-20 мс.

Тепловий розчіплювач звичайно являє собою біметалічну пластину, через котру протікає струм контактів. При протіканні струму пластина нагрівається і згинається, впливаючи на засувку. Час спрацьовування теплового розчіплювача залежить від величини струму й описується за допомогою відповідної ампер-секундної характеристики. Звичайно струм уставки теплового розчіплювача можна регулювати в межах $0,9 - 1,5 I_{ном}$.

Дистанційний розчіплювач являє собою котушку із сердечником, що вибиває засувку при подачі на котушку напруги від зовнішнього джерела визначеної величини.

Оскільки при спрацьовуванні автоматичного вимикача його контакти повинні розімкнути аварійний струм (струм короткого замикання кола), при якому на контактах вимикача виникає електрична дуга, то для гасіння дуги контакти обладнані спеціальними дугогасильними камерами. При даній конструкції контактів і дугогасильних камер існує деякий граничний струм, що може розімкнути вимикач. Цей струм називається граничним струмом відключення.

4.3 Вказівки до виконання завдання

Вибір автоматичних вимикачів виконується по номінальній напрузі, номінальному струму і граничному струму відключення, тобто струм короткого замикання кола, що захищається, не повинний перевищувати граничної для даного типу вимикача величини. Крім того, уставка максимального захисту (електромагнітного розчіплювача) автомата повинна бути більше пускового струму двигуна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Копылов И.П. Электрические машины. Учебник для вузов. - М.: Энерго-атомиздат, 1986. - 360 с.
2. Цейтлин Л.С. Электропривод, электрооборудование и основы управления: Учебник для уч-ся техникумов. – М.: Высш. школа, 1985. – 192 с.
3. Электротехнический справочник: в 3-х томах. Т. 2./ Под ред. В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского и др. – М.: Энергоиздат, 1981.-640 с.