

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет

ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання курсової роботи

для студентів ЗНУ
спеціальності 141 «Енергетика, електротехніка та
електромеханіка»
денної та заочної форми навчання

Запоріжжя
2021

**Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет**

ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання курсової роботи**

**для студентів ЗНУ
спеціальності 141 «Енергетика, електротехніка та
електромеханіка»
денної та заочної форми навчання**

Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри ЕЕЕ,
протокол № від 2021 р

Запоріжжя
ЗНУ
2021

УДК 621.3.02

К

Відповідальний за випуск: *зав. кафедрою ЕЕЕ,
д.т.н., проф. Коваленко В.Л.*

Електричні машини: Методичні вказівки до виконання курсової роботи для студентів ЗНУ спеціальності 141 «Енергетика, електротехніка та електромеханіка» денної та заочної форми навчання / – Запоріж. нац. універ. – Запоріжжя: ЗНУ, 2021. – 25 с..

ЗМІСТ

стор.

1. Загальні відомості.....	7
2. Завдання на проектування.....	7
3. Методичні вказівки до розрахунку потужності та вибору електродвигуна...10	
4. Методичні вказівки до складання електричної схеми керування електропри- водом.....	18
Додатки.....	19
Список літератури.....	24

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Курсову роботу орієнтовано на розробку розімкнутого електроприводу з релейно-контактною схемою керування.

1.2 В об'єм роботи входить розрахунок потужності та вибір приводного електродвигуна і перевірка його за нагріванням. Також необхідно розробити електричну схему керування електроприводом.

1.3 Результати роботи слід оформити у вигляді пояснювальної записки, оформленої у відповідності до вимог [1]. Пояснювальна записка роботи повинна вмещувати результати розрахунків та пояснення роботи схеми керування електроприводом.

Графічна частина роботи повинна бути оформлена у вигляді електричної схеми керування електроприводом, виконаної з дотриманням вимог відповідних стандартів [2] до електричних схем. Аркуш із зображенням схеми може входити до складу пояснювальної записки або становити окреме креслення.

1.4 Варіанти завдання (див. таблицю 2.1) вибирають згідно із порядковим номером прізвища студента у списку академічної групи.

2 ЗАВДАННЯ НА ПРОЕКТУВАННЯ

2.1 За заданою тахограмою та навантажувальною діаграмою механізму (рисунок 2.1, рисунок 2.2, таблиця 2.1) розрахувати потужність асинхронного двигуна і вибрати його за довідковими даними (додатки А та В).

ПРИМІТКИ. 1. Прийняти, що всі двигуни, зазначені у додатках А та В, мають незалежну вентиляцію.

2. Знак "-" перед значенням (позначенням) моментів у таблиці 2.1 вказує на реактивний характер моментів механізму.

2.2 Визначити передаточне число приводу, виконати перевірку потужності двигуна з урахуванням динамічних (перехідних) режимів.

2.3 Визначити можливість застосування асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором (АДКР) при заданому числі пусків і за коефіцієнтом навантаження.

Якщо застосування АДКР не можливе, повторити процедуру вибору двигуна, орієнтуючись на асинхронні двигуни із фазним ротором (АДФР).

2.4 Визначити необхідність застосування електромагнітного гальмування для забезпечення заданого часу зупинення приводу.

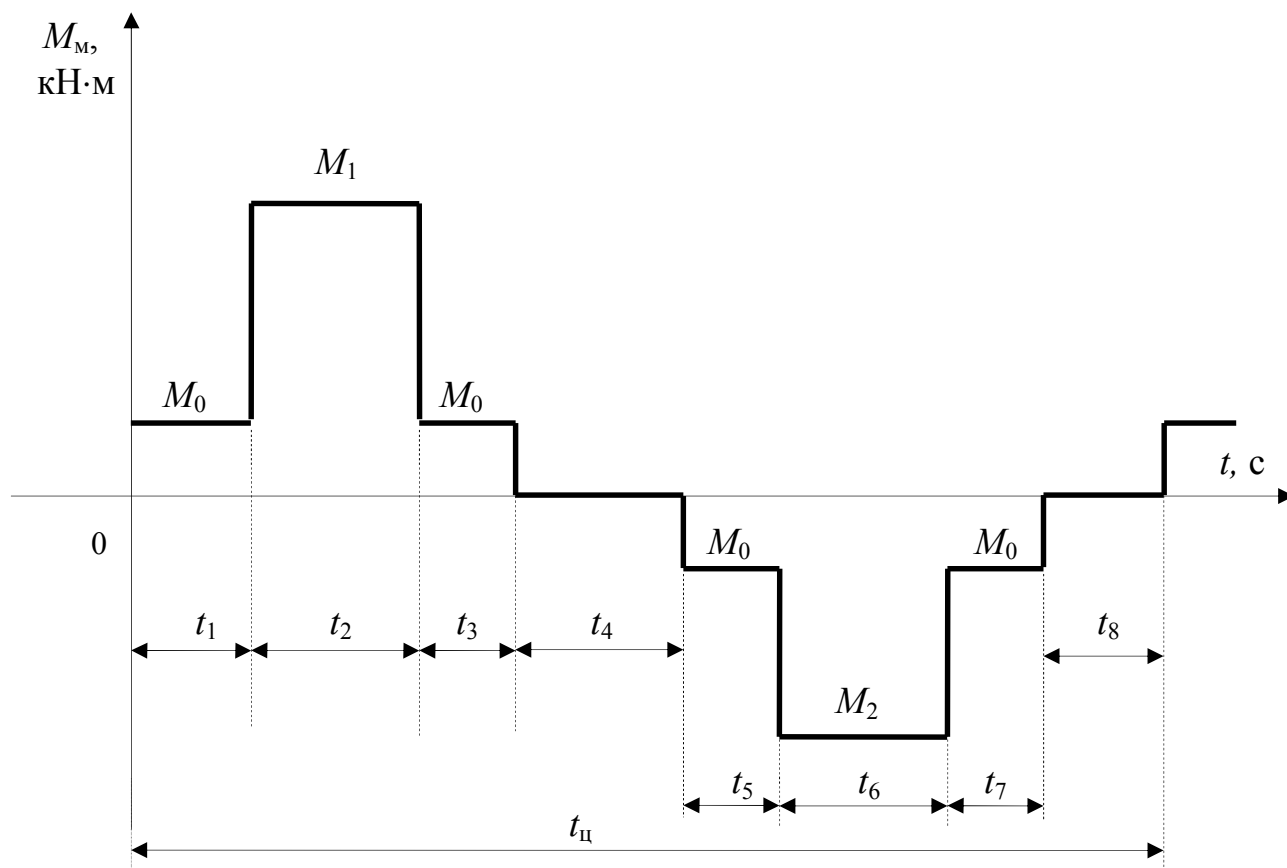


Рисунок 2.1 – Навантажувальна діаграма механізму

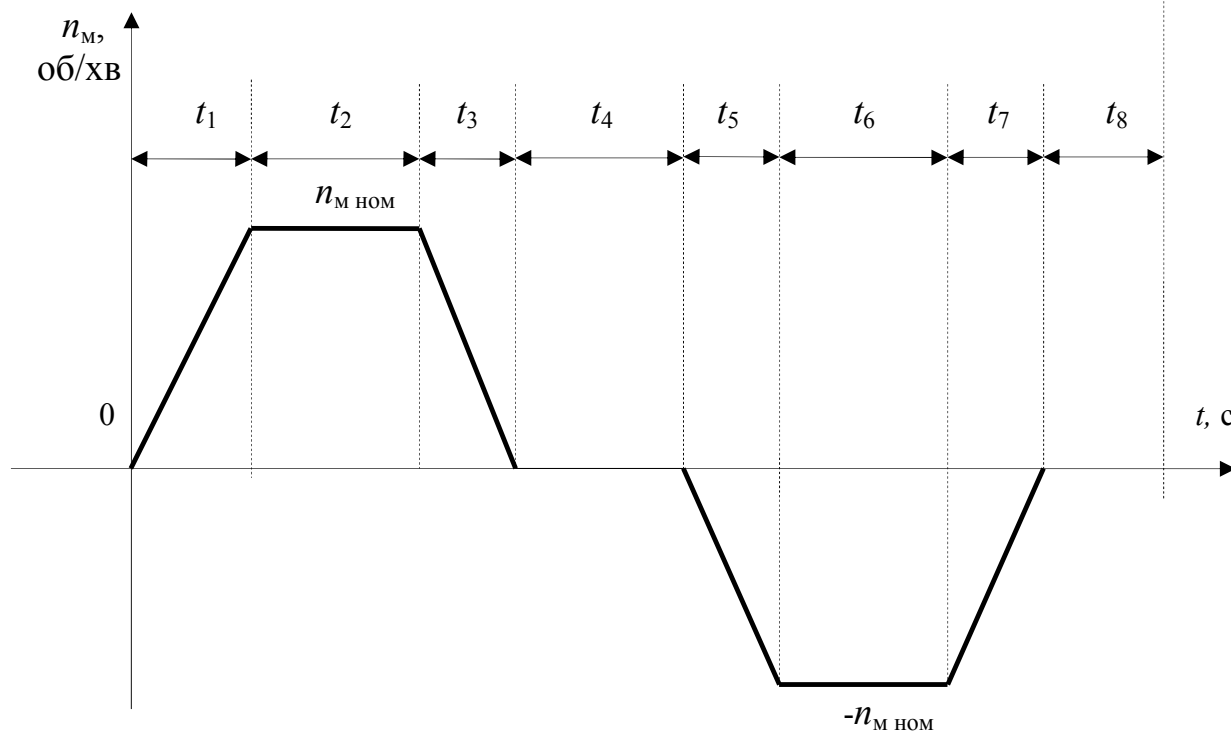


Рисунок 2.2 – Тахограма механізму

Таблиця 2.1 – Вихідні дані за варіантами

Варіант	Параметри тахограми та навантажувальної діаграми												J_M , кг·м ²	Пуск у функції
	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с	t_4 , с	t_5 , с	t_6 , с	t_7 , с	t_8 , с	$n_{м.ном}$, об/хв	$M_0(-M_0)$, кН·м	M_1 , кН·м	M_2 , кН·м		
1	2	20	2	5	5	50	5	20	45	0,2	2,0	-2,5	500	T
2	4	40	4	10	10	100	10	40	60	0,2	3,0	-3,5	1000	Ω
3	1	10	4	20	5	70	5	30	35	0,3	1,8	-1,2	500	Ω
4	6	20	7	15	6	50	4	25	40	0,4	2,2	-3,5	2000	T
5	9	50	2	50	4	40	2	40	35	0,2	3,0	-4,0	3000	T
6	12	60	2,5	30	3	60	4	30	50	0,4	2,5	-4,0	4000	I
7	4,5	55	2,5	20	3	60	4	30	50	0,4	2,5	-3,0	300	I
8	4	20	3	30	2	70	3	40	65	0,6	2,0	-4,0	2000	I
9	6,7	20	3	25	2	80	3	40	65	0,8	2,0	-4,0	500	I
10	2,7	50	3	25	4	80	5	50	75	0,8	2,0	-4,0	500	T
11	2,9	50	1	25	4	120	5	50	75	0,7	2,0	-4,0	500	T
12	1,2	65	1	35	4	120	3	60	40	0,7	1,5	-3,0	400	T
13	4	60	1	35	2,5	120	3	60	60	0,6	1,5	-3,0	2000	T
14	4	60	0,8	30	2,5	80	2	80	55	0,6	1,5	-3,0	1000	Ω
15	3	50	0,8	30	1,5	80	2	80	55	0,5	1,5	-2,0	1000	Ω
16	1,2	65	1,5	20	1,5	70	2	80	35	0,4	1,5	-2,0	500	Ω
17	1,8	70	1,5	25	1,5	60	1,5	100	35	0,3	2,0	-2,0	600	Ω
18	2	75	1,5	25	2	40	1,5	100	50	0,4	2,0	-1,0	800	I
19	2	75	2	30	2	55	1	120	70	0,2	2,0	-1,0	800	I
20	2	75	2	15	2	50	1	120	60	0,2	2,0	-3,0	800	I
21	4	40	2	20	3	35	1	180	80	0,6	1,0	-2,0	2000	I
22	1	40	4	150	3	120	2	180	50	0,8	1,0	-2,0	1000	T
23	1	20	4	150	1,5	120	2	100	30	0,8	1,0	-2,0	1000	T
24	2,5	20	4	100	1,5	40	2	100	40	0,8	2,0	-3,0	600	T
25	2,5	25	3	100	2	40	3	50	40	0,6	0,8	-2,0	600	I
26	12	25	3	80	2	20	3	60	60	0,6	2,0	-1,5	2000	Ω
27	8	25	2	80	1,5	10	2	60	9 70	0,3	1,0	-2,0	2000	Ω

2.5 Спроекувати схему керування двигуном із застосуванням магнітного контактора, яка забезпечує:

- 1) реостатний пуск двигуна з використанням двоступінчастого реостата (у випадку застосування АДФР) у функції заданої координати приводу (T - часу, Ω - швидкості, I - струму). Для АДКР – прямий пуск;
- 2) електродинамічне гальмування двигуна на кожному інтервалі гальмування (у випадку застосування АДКР), або гальмування протівімкненням – у випадку застосування АДФР.

2.6 У схемі керування приводом необхідно передбачити:

- 1) захист двигуна та мережі, що його живить:
 - а) від коротких замикань у силових колах двигуна та оперативних колах;
 - б) від можливих технологічних струмових перевантажень у силових колах двигуна;
 - в) від самозапуску двигуна при відновлюванні живильної напруги після її зникнення (нульове блокування);
- 2) взаємні електричні блокування, що виключають випадкове одночасне спрацювання комутаційних апаратів, що подають на двигун напругу для прямого та зворотнього напрямків обертання.

3 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО РОЗРАХУНКУ ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБОРУ ДВИГУНА

3.1 Вибір двигуна в математичному значенні становить задачу синтезу, в результаті розв'язання якої має бути вибраний такий двигун, який забезпечує заданий технологічний цикл робочого механізму, відповідає умовам навколишнього середовища та компонуванню з механізмом робочої машини і при цьому матиме нормативний нагрів.

Вибір двигуна проводиться зазвичай у наступній послідовності:

- а) розрахунок потужності та попередній вибір двигуна;
- б) перевірка обраного двигуна за умовами пуску та перевантаження;
- в) перевірка обраного двигуна за нагрівом.

Якщо обраний двигун не відповідає умовам б) або в), тоді обирається інший двигун (більшої потужності) і перевірка повторюється.

3.2 Основою для розрахунку потужності та вибору двигуна є навантажувальна діаграма та діаграма частоти обертання (тахограма) механізму.

Подані на рисунках 2.1 та 2.2 тахограма та навантажувальна діаграма відповідають циклічному режиму роботи механізму з постійною швидкістю в інтервалах роботи як за прямого напрямку обертання, так і за зворотнього напрямку.

Спочатку визначається еквівалентна потужність механізму

$$P_{m.e} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_{mi}^2 \cdot \omega_{mi}^2 \cdot t_{pi}}{t_{p\Sigma}}}, \quad (3.1)$$

де n – кількість ділянок роботи механізму у межах циклу тахограми;
 t_{pi} – тривалість, i -ї ділянки роботи, с;
 $t_{p\Sigma}$ – сумарний час роботи протягом циклу, с;
 M_{mi} – значення моментів механізму на ділянках, Н·м;
 ω_{mi} – значення кутової швидкості механізму на i -ій ділянці, с^{-1} , $\omega_{mi} = \pi n_i / 30$.

Значення швидкості на ділянках пуску та гальмування дорівнює середньому значенню швидкості між значенням швидкостей на попередній та наступній ділянках тахограми.

3.3 Еквівалентна потужність двигуна визначається за виразом

$$P_{\text{д.е}} = K_3 \cdot P_{\text{мэ}}, \quad (3.2)$$

де K_3 – коефіцієнт запасу, що враховує динамічні навантаження; $K_3=1,1-1,4$.

При легкому пуску ($M_0 < (0,2-0,3) \cdot M_1$, $M_0 < (0,2-0,3) \cdot M_2$) K_3 рекомендується приймати рівним 1,1. При важкому пуску ($M_0 > 0,7 \cdot M_1$; $M_0 > 0,7 \cdot M_2$) рекомендується приймати $K_3 = 1,4$.

3.4 Визначення фактичної тривалості ввімкнення двигуна дозволяє визначити режим роботи двигуна

$$TB_{\phi} \% = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{t_u} \cdot 100\% = \frac{t_{p\Sigma}}{t_u} \cdot 100\%. \quad (3.3)$$

Якщо $TB_{\phi} > 80\%$, тоді режим роботи двигуна можна віднести до тривалого.

Значенню $10\% < TB_{\phi} < 80\%$ при часі $t_u < 10$ хв відповідає повторно короткочасний режим роботи електродвигуна (ПКРР). Інші випадки належать до короткочасного режиму роботи (КРР).

3.5 Розрахунок попередньої потужності двигуна ($P_{\text{д.пoper}}$) з тривалим режимом роботи зводиться до перерахунку еквівалентної потужності двигуна при неперервному режимі роботи (з $TB_{\text{НОМ}}=100\%$):

$$P_{\text{д.пoper}} = P_{\text{д.е}} \sqrt{\frac{TB_{\phi}}{TB_{\text{НОМ}}}} = P_{\text{д.е}} \sqrt{\frac{TB_{\phi} \%}{100}}. \quad (3.4)$$

В першу чергу необхідно перевірити можливість застосування для електроприводу механізму асинхронного двигуна із короткозамкненим ротором (АДКР).

За каталогом (довідником) АДКР (додаток А) обирається двигун з номінальною потужністю

$$P_{\text{д.ном}} \geq P_{\text{д.попер}}, \quad (3.5)$$

та вибираються його параметри (технічні характеристики).

3.6 Для двигунів з ПКРР для розрахунку $P_{\text{д.попер}}$ еквівалентна потужність перераховується до найближчої номінальної тривалості ввімкнення $TB_{\text{ном}}$, яка складає 15, 25, 40, 60%.

$$P_{\text{д.попер}} = P_{\text{д.е}} \sqrt{\frac{TB_{\phi} \%}{TB_{\text{ном}} \%}}. \quad (3.6)$$

Процедура попереднього розрахунку потужності за цим разом завершується вибором двигуна найближчої більшої потужності за каталогом (довідником) (додаток Б).

3.7 Короткочасний режим визначається стандартними тривалостями робочого періоду: 10, 30, 60 або 90 хв.

В цьому випадку попередня потужність двигуна

$$P_{\text{д.попер}} = P_{\text{д.е}}. \quad (3.7)$$

З відповідного каталогу обирається двигун так, щоб виконувались вимоги:

$$P_{\text{д.ном}} \geq P_{\text{д.попер}}; \quad t_{\text{ном}} \geq t_{\phi}, \quad (3.8)$$

де $t_{\text{ном}}, t_{\phi}$ – стандартна та фактична тривалість періоду (циклу), відповідно.

Для роботи у короткочасному режимі допускається використання двигунів тривалого та повторно-короткочасного режимів.

У першому випадку попередня потужність

$$P_{\text{д.попер}} = K \cdot \frac{P_{\text{д.е}}}{0,75 \cdot K_{\text{м}}}, \quad (3.9)$$

де K – коефіцієнт запасу; $K = 1,1-1,2$;

$K_{\text{м}}$ – перевантажувальна здібність двигуна обраної серії.

У другому випадку слід враховувати, що потужність двигуна при $TB_{\text{ном}} = 25\%$ відповідає $t_{\text{ном}} = 60$ хв, а при $TB_{\text{ном}} = 15\%$ – $t_{\text{ном}} = 30$ хв.

3.8 Для остаточного розрахунку потужності двигуна враховують динамічні режими його роботи у складі приводу механізму. При цьому спочатку

моменти опору та моменти інерції приводяться до вала двигуна. Для цього необхідно визначити передаточне число приводу:

$$i = \frac{\omega_{\text{д.ном}}}{\omega_{\text{м.ном}}} = \frac{n_{\text{д.ном}}}{n_{\text{м.ном}}}, \quad (3.10)$$

де $\omega_{\text{д.ном}}$, $\omega_{\text{м.ном}}$ – номінальна кутова швидкість двигуна та механізму, відповідно, с^{-1} .

3.9 Приведений до вала двигуна момент опору механізму (без урахування ККД передачі) визначається на кожній ділянці навантажувальної діаграми за виразом

$$M_{\text{оп.і}} = \frac{\omega_{\text{м.і}}}{\omega_{\text{д.і}}} \cdot M_{\text{м.і}} = \frac{M_{\text{м.і}}}{i}. \quad (3.11)$$

3.10 Приведений до вала двигуна момент інерції приводу

$$J_{\Sigma} = J_{\text{д}} + J_{\text{м}} \cdot \frac{1}{i^2}, \quad (3.12)$$

де $J_{\text{д}}$ – момент інерції ротора двигуна, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;
 $J_{\text{м}}$ – момент інерції механізму, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

3.11 Для початкової перевірки відповідності обраного у п.п.3.5-3.7 двигуна заданому режиму роботи необхідно визначити середні пускові $M_{\text{н.ср}\delta}$ та середні гальмівні моменти $M_{\text{з.ср}\delta}$, які забезпечують розгін двигуна до швидкості $n_{\text{д.ном}}$ за час t_1 та до швидкості $(-n_{\text{д.ном}})$ за час t_5 , а також гальмування за час t_3 і t_7 :

$$M_{\text{н.ср}\delta 1} = \frac{M_0}{i} + J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} \approx \frac{M_0}{i} + J_{\Sigma} \frac{\omega_{\text{д.ном}}}{t_1}, \quad (3.13)$$

$$M_{\text{н.ср}\delta 2} = \frac{M_0}{i} + J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} \approx \frac{M_0}{i} + J_{\Sigma} \frac{\omega_{\text{д.ном}}}{t_5}, \quad (3.14)$$

$$M_{\text{з.ср}\delta 1} = -\frac{M_0}{i} + J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} \approx -\frac{M_0}{i} + J_{\Sigma} \frac{\omega_{\text{д.ном}}}{t_3}, \quad (3.15)$$

$$M_{\text{з.ср}\delta 2} = -\frac{M_0}{i} + J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} \approx -\frac{M_0}{i} + J_{\Sigma} \frac{\omega_{\text{д.ном}}}{t_7}. \quad (3.16)$$

Отримання нульового або від'ємного значення $M_{z.cpd1}$ або $M_{z.cpd2}$ означає, що для забезпечення заданого часу гальмування на даному інтервалі не потрібно застосування електромагнітного гальмування.

Придатність обраного двигуна визначається за умовою, що його середній пусковий момент

$$M_{n.cpd} = (K_m + K_n) \cdot M_{\partial.ном} \cdot \frac{1}{2}, \quad (3.17)$$

(де, $K_m = \frac{M_{\partial.макс}}{M_{\partial.ном}}$, $K_n = \frac{M_{\partial.n}}{M_{\partial.ном}}$ – каталожні дані двигуна) дорівнює або перевищує найбільший з необхідних пускових моментів, розрахованих за виразами (3.13) та (3.14).

Додатково двигун повинен бути перевірений за пусковим моментом

$$M_{\partial.n} > \frac{M_0}{i} \quad (3.18)$$

та за максимальним моментом

$$M_{\partial.макс} > \frac{M_{м.ном}}{i}, \quad (3.19)$$

де $M_{м.ном}$ – найбільше значення моменту механізму в інтервалах роботи.

У разі, якщо обраний у п.п.3.5-3.7 АДКР або аналогічний двигун найближчої більшої потужності не проходить за пусковим моментом, слід переходити до вибору АДФР, вважаючи що його середній пусковий момент $M_{n.cpd}$ для перевірки придатності за пусковим моментом може дорівнювати $0,7M_{\partial.макс}$.

3.12 Обов'язковою перевіркою для АДКР є перевірка на можливість здійснення заданої кількості ввімкнень (циклів) електродвигуна.

Допустима для АДКР кількість циклів за годину з незалежною вентиляцією при заданій на рисунку 2.2 формі навантажувальної діаграми визначається за формулою

$$h_{\partial.он} = \frac{3600}{2} \cdot \frac{(\Delta P_{\partial.ном} - \Delta P) \cdot TB + \Delta P_{\partial.ном} (1 - TB)}{\Delta A_n + \Delta A_z} = \frac{3600 \cdot (\Delta P_{\partial.ном} - \Delta P_{\partial} \cdot TB)}{2 \cdot (\Delta A_n + \Delta A_z)}, \quad (3.20)$$

де $\Delta P_{\partial.ном}$, ΔP_{∂} – номінальні витрати потужності двигуна та витрати при роботі з постійною потужністю згідно з навантажувальною діаграмою (на інтервалах t_2 , t_6), відповідно;

ΔA_n , ΔA_z – витрати енергії при пуску та гальмуванні, відповідно.

$$\Delta P_{\partial.ном} = \frac{P_{\partial.ном}(1-\eta_{\partial.ном})}{\eta_{\partial.ном}}, \quad (3.21)$$

$$\Delta P_{\partial} = \frac{P_2(1-\eta_{\partial.ном})}{\eta_{\partial.ном}}, \quad (3.22)$$

де $P_2 = M_1 \cdot \omega_{м.ном}$ – при прямому обертанні;
 $P_2 = M_2 \cdot \omega_{м.ном}$ – при зворотньому обертанні.

При різних значеннях, P_2 для прямого та зворотнього обертання при розрахунку ΔP за (3.22) слід використовувати середньоарифметичне значення P_2 .

Враховуючи, що витрати енергії при пуску в прямому напрямку $\Delta A_{нпр}$ та в зворотньому – $\Delta A_{нзв}$, зазвичай, не рівні, для підставлення у формулу (3.20) слід використовувати середньоарифметичне значення ΔA_n з двох, обчислених за виразами (3.23) та (3.24):

$$\Delta A_{нпр} = 2 \frac{M_{н.ср\partial 1}}{(M_{н.ср\partial 1} - \frac{M_0}{i})} \cdot J_{\Sigma} \frac{\omega_0^2}{2}, \quad (3.23)$$

$$\Delta A_{нзв} = 2 \frac{M_{н.ср\partial 2}}{(M_{н.ср\partial 2} - \frac{M_0}{i})} \cdot J_{\Sigma} \frac{\omega_0^2}{2}, \quad (3.24)$$

де ω_0 – кутова швидкість ідеального неробочого ходу обраного двигуна.

Аналогічно, для підставлення у формулу (3.20) слід в якості ΔA_z використовувати середньоарифметичне значення ΔA_z з двох значень $\Delta A_{z.нр}$ або $\Delta A_{z.зв}$, обчислених за формулами (3.25) та (3.26) для інтервалів гальмування при прямому та зворотньому напрямках обертання відповідно.

$$\Delta A_{z.нр} = 2 \frac{M_{z.ср\partial 1}}{(M_{z.ср\partial 1} + \frac{M_0}{i})} \cdot J_{\Sigma} \frac{\omega_0^2}{2}, \quad (3.25)$$

$$\Delta A_{z.зв} = 2 \frac{M_{z.ср\partial 2}}{(M_{z.ср\partial 2} + \frac{M_0}{i})} \cdot J_{\Sigma} \frac{\omega_0^2}{2}. \quad (3.26)$$

У разі, коли одне зі значень середнього гальмувального моменту ($M_{z.ср\partial 1}$ або $M_{z.ср\partial 2}$) відповідно (3.15) і (3.16) виявилось нульовим або від'ємним, тоді витрата енергії ΔA_z для відповідного інтервалу гальмування відсутня, середньоарифметичне значення ΔA_z у цьому разі дорівнює $\Delta A_z / 2$.

Якщо обчислене згідно (3.20) значення $h_{дон}$ перевищує завдане тахограмою значення n_m – число циклів роботи за одну годину

$$n_m = \frac{3600}{t_{ц}}$$

не менш ніж в $K = 1,2-1,3$ рази (K – коефіцієнт запасу), тоді, відповідно, обраний АДКР припускає завдану частоту ввімкнень.

3.13 Остаточна перевірка двигуна за допустимим нагрівом визначається порівнянням його номінального моменту ($M_{д.ном}$) з еквівалентним моментом приводу $M_{e.n}$, перерахованим до стандартного режиму $M'_{e.n}$

1) для тривалого режиму ця умова має вигляд

$$M_{д.ном} \geq M'_{e.n} = M_{e.n} \sqrt{\frac{TB_{\phi}}{100}}, \quad (3.27)$$

2) для повторно-короткочасного режиму

$$M_{д.ном} \geq M'_{e.n} = M_{e.n} \sqrt{\frac{TB_{\phi}}{TB_{д.ном}}}, \quad (3.28)$$

3) для короткочасного режиму роботи при використанні двигуна тривалого режиму (див. формулу (3.9))

$$M_{д.ном} \geq M'_{e.n} = K \cdot \frac{M_{e.n}}{0,75 \cdot K_m}. \quad (3.29)$$

У формулах (3.27 – 3.29) значення $M_{e.n}$ визначають з урахуванням приведених до валу двигуна моментів опору відповідно (3.11) і динамічних моментів, визначених за формулами (3.13 – 3.16), що діють у перехідних режимах роботи приводу.

Відповідно зазначеному спочатку знаходять приведені моменти приводу на ділянках роботи

на ділянці t_1 : $M_{1e.n} = M_{n.cpd1}$;

на ділянці t_2 : $M_{2e.n} = M_{on2}$;

на ділянці t_3 : $M_{3e.n} = -M_{z.cpd1}$ і т.д.;

Відповідно,

$$M_{en} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_{ie.n}^2 \cdot t_{pi}}{t_{p\Sigma}}}. \quad (3.30)$$

3.14 У разі, якщо для обраного у п.п.3.5-3.7 АДКР не виконується умова застосування за допустимою частотою ввімкнень на годину, слід перейти до варіанту застосування АДФР тієї ж потужності, з урахуванням застосування для нього режиму ступінчастого реостатного пуску та режиму гальмування противвімкненням із ввімкненням додаткового реостата в коло ротора. Зазначені обставини дозволяють різко знизити витрати енергії двигуна в перехідних режимах та не обчислювати з цієї причини h_{don} .

Обраний АДФР (див. додаток В) повинен задовольняти (3.18), (3.19) взявши до уваги п.3.11, а також (3.27 – 3.29).

4 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО СКЛАДАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Електрична схема електроприводу повинна містити коло живлення двигуна (силове коло) та схему керування електроприводом (оперативна схема).

Коло живлення двигуна повинне містити необхідні захисні та комутаційні апарати, які забезпечують подання напруги для прямого та зворотнього обертання, захист від коротких замикань у двигуні та мережі та струмових перевантажень у двигуні.

Схема керування повинна бути виконана із використанням магнітного контактора та необхідних апаратів керування, що забезпечують вимоги, зазначені у п.2.6.

Приклади типових схем керування пуском та гальмуванням електродвигунів наведено в [4, гл.5], [3, гл.10], [5, р.8].

Переведення приводу в режим електромагнітного гальмування слід здійснювати лише на деякий час, відповідний зниженню швидкості двигуна до нуля.

На рисунку 4.1 подано фрагмент схеми керування приводом, що забезпечує гальмування противвімкненням АДФР на фіксований час, заданим реле часу K_{T1} (K_{T2}).

При роботі приводу у напрямку "вперед" (перемикач SA1 – у положенні "В") котушка пускача KM1 отримує живлення через замкнені контакти SA1.1 та KM2. Силові контакти KM1 забезпечують подання на обмотку статора двигуна M1 трифазної напруги живлення з прямим порядком чергування фаз. Реле часу KT1, котушка якого отримує живлення через контакт SA1.1, тримає замкненим свій контакт KT1, підключений до контакту SA1.3. При переведенні SA1 в положення "О"(вимкн.) котушки KT1 та KM1 втрачають живлення, внаслідок чого блок-контакт KM1 в колі живлення KM2 замикається та котушка KM2 отримує живлення через SA1.3, KT1, KM1 та замикає свої контакти KM2, що забезпечує подання на обмотку статора напругу зі зворотнім порядком чергування фаз. Реле KT1 починає відлік витримки часу на розімкнення свого контакту KT1. Протягом цього часу двигун знаходиться в режимі гальмування противвімкненням (припускають, що протягом зазначеного відрізка часу двигун не встигне після зупинки почати розгін у протилежному напрямку обертання).

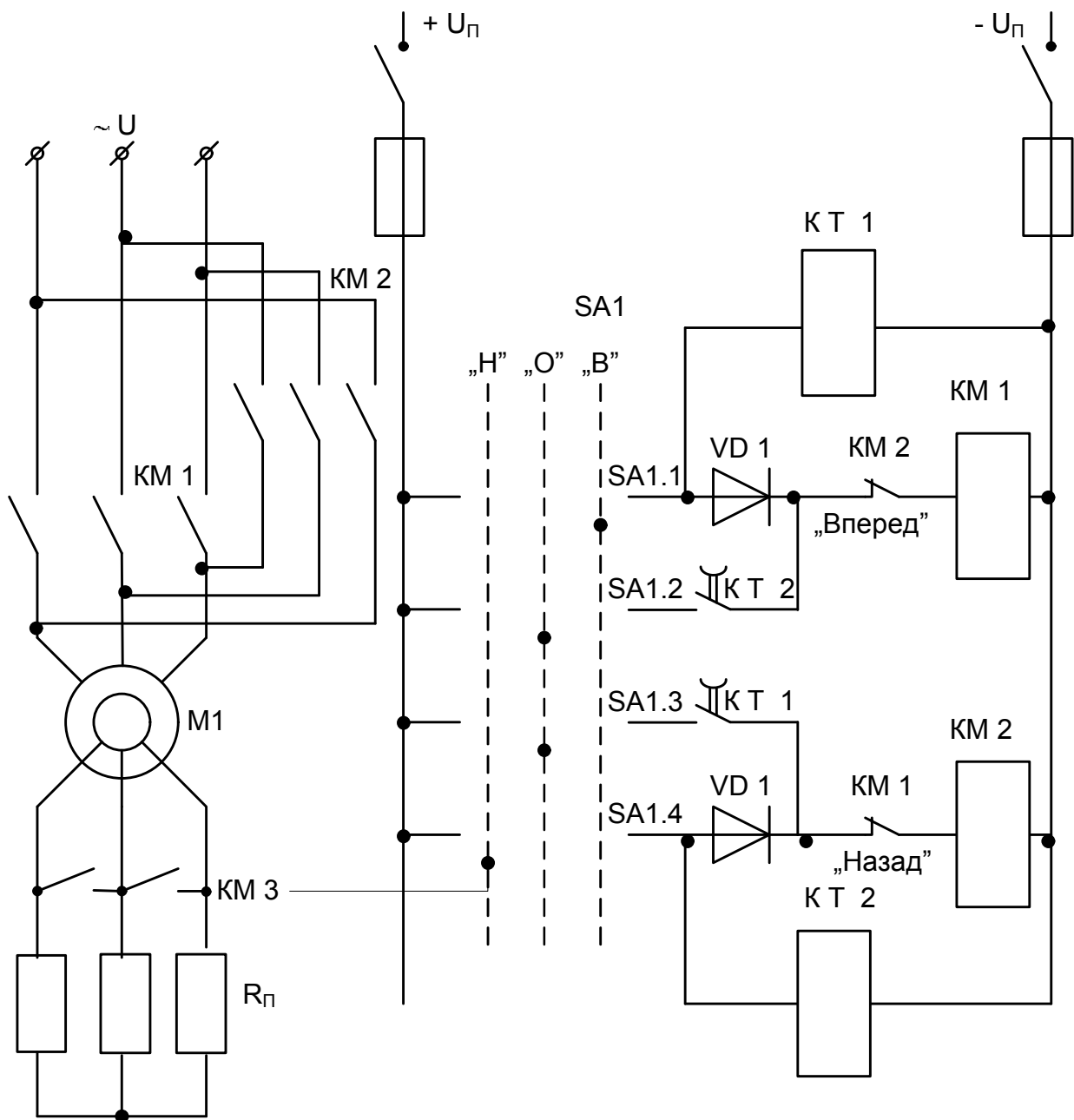


Рисунок 4.1 – Схема керування асинхронним двигуном із фазним ротором

Протягом часу гальмування контакти пускача КМЗ повинні бути розімкнуті, бо опір R_n в колі ротора мусить забезпечувати обмеження гальмівних струмів двигуна. Аналогічно забезпечується гальмування приводу при переведенні контролера з положення "Н" у положення "О".

Подібний принцип підімкнення до двигуна додаткових силових кіл, що забезпечують потрібний режим гальмування на час, визначене реле часу, можливо використати й при реалізації режиму електродинамічного гальмування.

Додаток А

Таблиця А1 – Технічні дані двигунів серії 4А з підвищеним пусковим моментом (4АР)

Типорозмір двигуна	Потуж- ність, кВт	Частота обер- тання, об/хв	ККД, %	cos φ	$\frac{I_n}{I_{ном}}$	$\frac{M_n}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	Мо- мент інерції, кг*м ²
-----------------------	-------------------------	-------------------------------------	-----------	-------	-----------------------	-----------------------	---------------------------	---------------------------	--

Синхронна частота обертання 1500 об/хв

4AP160S4Y3	15	1465	87,5	0,87	7,5	2	1,6	2,2	0,1
4AP160M4Y3	18,5	1465	88,5	0,87	7,5	2	1,6	2,2	0,13
4AP180S4Y3	22	1460	90	0,87	7,5	2	1,6	2,2	0,19
4AP180M4Y3	30	1460	90	0,87	7,5	2	1,6	2,2	0,23
4AP200M4Y3	37	1470	91	0,88	7,5	2	1,6	2,2	0,37
4AP200L4Y3	45	1470	92	0,88	7,5	2	1,6	2,2	0,45
4AP225M4Y3	55	1475	92,5	0,88	7	2	1,6	2,2	0,64
4AP250S4Y3	75	1475	93	0,87	7,5	2	1,6	2,2	1,02
4AP250M4Y3	90	1475	93	0,88	7,5	2	1,6	2,2	1,2

Синхронна частота обертання 1000 об/хв

4AP160S6Y3	11	975	85,5	0,83	7	2	1,6	2,2	0,14
4AP160M6Y3	15	975	87,5	0,83	7	2	1,6	2,2	0,18
4AP180M6Y3	18	970	87	0,8	6	2	1,6	2,2	0,22
4AP200M6Y3	22	975	90,5	0,85	6,5	2	1,6	2,2	0,4
4AP200L6Y3	30	975	90,5	0,86	6,5	2	1,6	2,2	0,45
4AP225M6Y3	37	980	90,5	0,84	7	2	1,6	2,2	0,74
4AP250S6Y3	45	980	91,5	0,82	6,5	2	1,6	2,2	1,15
4AP250M6Y3	55	980	91,5	0,83	6,5	2	1,6	2,2	1,26

Синхронна частота обертання 750 об/хв

4AP160S8Y3	7,5	730	86	0,75	6	1,8	1,5	2	0,14
4AP160M8Y3	11	730	87	0,75	6	1,8	1,5	2	0,18
4AP180M8Y3	15	730	86,5	0,77	5,5	1,8	1,5	2	0,25
4AP200M8Y3	18,5	730	88	0,78	5,5	1,8	1,5	2	0,4
4AP200L8Y3	22	730	88,5	0,8	5,5	1,8	1,5	2	0,45
4AP225M8Y3	30	735	90	0,8	5,5	1,8	1,5	2	0,74
4AP250S8Y3	37	735	90	0,72	5,5	1,8	1,5	2	1,15
4AP250M8Y3	45	735	90,5	0,75	5,5	1,8	1,5	2	1,36

Додаток Б

Таблиця Б.1 – Технічні дані двигунів серії 4А з підвищеним ковзанням (4АС)
при $TB = 40\%$

Типорозмір двигуна	Потуж- ність, кВт, при ТВ=40%	Ков- зання, %	Частота обертан- ня, об/хв	ККД, %	cos φ	$\frac{M_{д.п}}{M_{д.ном}}$	$\frac{M_{д.мін}}{M_{д.ном}}$	$\frac{M_{д.макс}}{M_{д.ном}}$	Момент інерції, 10^{-2} кг*м ²
Синхронна частота обертання 3000 об/хв									
4АС71А2У3	1	10	2700	72	0,87	2	1,6	2,2	0,098
4АС71В2У3	1,2	10	2700	72	0,83	2	1,6	2,2	0,105
4АС80А2У3	1,9	8,5	2745	75	0,87	2	1,6	2,2	0,18
4АС80В2У3	2,5	8,5	2745	76	0,87	2	1,6	2,2	0,212
4АС90L2У3	3,5	7,5	2775	80	0,86	2	1,6	2,2	0,35
4АС100S2У3	4,8	6,5	2805	82	0,86	2	1,6	2,2	0,59
4АС100L2У3	6,3	6,5	2805	82	0,86	2	1,6	2,2	0,75
4АС112M2У3	8	5	2850	84	0,84	2	1,6	2,2	1
4АС132M2У3	11	5,5	2840	84	0,89	2	1,6	2,2	1,25
Синхронна частота обертання 1500 об/хв									
4АС71А4У3	0,6	10	1350	68	0,73	2	1,6	2,2	0,13
4АС71В4У3	0,8	10	1350	68,5	0,75	2	1,6	2,2	0,14
4АС80А4У3	1,3	9,5	1358	68,5	0,82	2	1,6	2,2	0,32
4АС80В4У3	1,7	11	1335	70	0,82	2	1,6	2,2	0,33
4АС90L4У3	2,4	9,5	1360	76	0,82	2	1,6	2,2	0,56
4АС100S4У3	3,2	7	1395	76,5	0,82	2	1,6	2,2	0,87
4АС100L4У3	4,25	7	1395	78	0,82	2	1,6	2,2	1,12
4АС112M4У3	5,6	7	1395	79	0,83	2	1,6	2,2	1,66
4АС132S4У3	8,5	7,5	1395	82,5	0,85	2,6	1,6	2,8	2,83
4АС132M4У3	11,8	6	1410	84	0,85	2	1,6	2,2	4
4АС160S4У3	17	5	1425	84,5	0,86	2	1,6	2,2	10,25
4АС160M4У3	20	4,5	1432	87	0,87	2	1,6	2,2	12,75
4АС180S4У3	21	5,5	1418	86	0,92	2	1,6	2,2	19
4АС180M4У3	26,5	4	1440	88,5	0,91	2	1,6	2,2	23,25
4АС200M4У3	31,5	6	1410	87,5	0,92	2	1,6	2,2	37
4АС200L4У3	40	6	1410	89	0,93	2	1,6	2,2	47
4АС225M4У3	50	7	1395	87,5	0,92	2	1,6	2,2	64
4АС250S4У3	56	8	1380	87,5	0,92	2	1,6	2,2	102
4АС250M4У3	63	9	1365	87	0,93	2	1,6	2,2	1,17
Синхронна частота обертання 1000 об/хв									
4АС71А6У3	0,4	8	920	62,5	0,7	2	1,6	2,1	0,17
4АС71В6У3	0,63	8	920	65	0,7	2	1,6	2,1	0,2

4AC80A6Y3	0,8	14	860	61	0,68	2	1,6	2,1	0,25
Продовження таблиці Б.1									
Типорозмір двигуна	Потуж- ність, кВт, при ТВ=40%	Ков- зання, %	Частота обертан- ня, об/хв	ККД, %	cos φ	$\frac{M_{д.н}}{M_{д.ном}}$	$\frac{M_{д.мин}}{M_{д.ном}}$	$\frac{M_{д.маx}}{M_{д.ном}}$	Момент інерції, 10^{-2} кг*м ²
Синхронна частота обертання 1000 об/хв									
4AC80B6Y3	1,2	14	860	66,5	0,73	2	1,6	2,1	0,35
4AC90L6Y3	1,7	10	900	71	0,72	1,9	1,6	2,1	0,73
4AC100L6Y3	2,6	8	920	75	0,76	1,9	1,6	2,1	1,31
4AC112MA6Y3	3,2	9	910	72	0,74	1,9	1,6	2,1	1,72
4AC112MB6Y3	4,2	9	910	75	0,79	1,9	1,6	2,1	2,11
4AC132S6Y3	6,3	6	940	79	0,8	1,9	1,5	2,1	4
4AC132M6Y3	8,5	6	940	80	0,8	1,9	1,5	2,1	5,75
4AC160S6Y3	12	6	940	82,5	0,85	1,9	1,5	2,1	14,25
4AC160M6Y3	16	6	940	84	0,85	1,9	1,5	2,1	18,25
4AC180M6Y3	19	6	940	84,5	0,9	1,9	1,5	2,1	22
4AC200M6Y3	22	9	910	83,5	0,92	1,9	1,5	2,1	40
4AC200L6Y3	28	8	920	85,5	0,91	1,9	1,5	2,1	45
4AC225M6Y3	33,5	12	880	81	0,91	1,9	1,5	2,1	74
4AC250S6Y3	40	5	950	89	0,9	1,9	1,5	2,1	116
4AC250M6Y3	45	5	950	86,5	0,88	1,9	1,5	2,1	126
Синхронна частота обертання 750 об/хв									
4AC71B8Y3	0,3	11	670	50	0,61	1,9	1,6	2	0,185
4AC80A8Y3	0,45	12	660	53,5	0,61	1,9	1,6	2	0,34
4AC80B8Y3	0,6	12	660	58	0,63	1,9	1,6	2	0,41
4AC90LA8Y3	0,9	12	660	61	0,65	1,8	1,6	2	0,68
4AC90LB8Y3	1,2	12	660	65	0,64	1,8	1,6	2	0,86
4AC100L8Y3	1,6	10	675	69	0,63	1,8	1,6	2	1,3
4AC112MA8Y3	2,2	10,5	670	68	0,65	1,8	1,6	2	1,75
4AC112MB8Y3	3,2	10,5	670	72	0,7	1,8	1,6	2	2,4
4AC132S8Y3	4,5	8	690	76	0,7	1,8	1,6	2	4,25
4AC132M8Y3	6	8	690	77	0,7	1,8	1,6	2	5,8
4AC160S8Y3	9	8	690	81,5	0,8	1,8	1,5	2	13,75
4AC160M8Y3	12,5	9	688	82,5	0,79	1,8	1,5	2	17
4AC180M8Y3	15	7	700	83,5	0,83	1,8	1,5	2	25
4AC200M8Y3	20	8	690	83,5	0,85	1,8	1,5	2	40
4AC225M8Y3	26,5	10	675	83	0,85	1,8	1,5	2	74
4AC250S8Y3	36	7,5	694	85	0,85	1,8	1,5	2	113

Продовження додатка Б

Таблиця Б.2 – Значення потужності, кВт, двигунів серії 4А з підвищеним ковзанням (4АС) у режимі S3 при різних ТВ

Типорозмір двигуна	Синхронна частота обертання, об/хв											
	1500				1000				750			
	Тривалість включення ТВ, %											
	15	25	60	100	15	25	60	100	15	25	60	100
4AC71A	0,8	0,65	0,6	0,6	0,45	0,4	0,4	0,4	-	-	-	-
4AC71B	1,1	0,9	0,8	0,7	0,8	0,65	0,65	0,5	0,35	0,3	0,3	0,2
4AC80A	1,6	1,3	1,1	0,95	1	0,9	0,7	0,5	0,55	0,5	0,45	0,35
4AC80B	2,1	1,7	1,5	1,3	1,5	1,3	1,1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
4AC90LA	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	0,9	0,8	0,7
4AC90LB	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4	1,2	1	0,8
4AC90L	3,1	2,4	2,2	1,9	2,2	1,8	1,3	1,1	-	-	-	-
4AC100S	4	3,7	2,8	2,3	-	-	-	-	-	-	-	-
4AC100L	5,5	5	3,8	3,3	3,1	2,9	2,2	1,8	1,8	1,6	1,5	1,2
4AC112MA	-	-	-	-	4,5	3,8	2,8	2,5	3	2,6	1,9	1,5
4AC112MB	8	6,7	5	4,2	5,6	5	3,8	3,2	4,2	3,6	2,5	1,9
4AC132S	11,8	9,5	7,5	7,1	8,5	7,5	6	4,5	6	5	3,6	2,6
4AC132M	16	14	10,5	9	11	10	7,5	6,3	8,5	7,1	5	3,6
4AC160S	22	19	15	13	16	14	11	10	11	10	8	7
4AC160M	25	23	18,5	17	21	19	15	13	16	14	11	10
4AC180S	26,5	24	20	19	-	-	-	-	-	-	-	-
4AC180M	32	30	25	24	22	20	17	16	19	17	14	13
4AC200M	42	35	28	26	28	25	20	18	26,5	24	19	16
4AC200L	50	47,5	37,5	35	40	33	25	23	-	-	-	-
4AC225M	63	55	45	40	40	35	28	25	33,5	30	24	22
4AC250S	75	63	53	50	56	45	36	33,5	45	45	30	26,5
4AC250M	80	71	60	56	60	53	40	36	-	-	-	-

Додаток В

Таблиця В.1 –Технічні дані металургійних двигунів серії МТН з фазним ротором 50 Гц, 220/380, 240/415, 400 и 500 В

Тип електродвигуна	$P_{д.ном}$, кВт, при $TB=40\%$	Частота обертання, об/хв	$\cos\varphi$	ККД, %	Максимальний момент, Н*м	J, кг·м ²
МТН111-6	3	895	0,67	65	85	0,0488
МТН112-6	4,5	910	0,71	69	120	0,0675
МТН211-6	7	920	0,64	73	200	0,115
МТН311-6	11	940	0,69	78	320	0,225
МТН312-6	15	950	0,73	81	480	0,313
МТН411-6	22	960	0,73	82,5	650	0,5
МТН412-6	30	965	0,71	84,5	950	0,675
МТН512-6	55	960	0,79	88	1660	1,018
МТН611-6	75	950	0,85	87	2660	3,275
МТН612-6	95	960	0,85	88	3650	4,125
МТН613-6	118	965	0,84	90	4750	5,1
МТН311-8	7,5	690	0,68	71,5	270	0,275
МТН312-8	11	700	0,69	78	430	0,313
МТН411-8	15	705	0,67	79	580	0,538
МТН412-8	22	715	0,63	80,5	900	0,75
МТН511-8	28	705	0,72	83	1020	1,075
МТН512-8	37	705	0,74	85	1400	1,425
МТН611-10	45	570	0,72	84	2360	4,25
МТН612-10	60	565	0,78	86	3200	5,25
МТН613-10	75	575	0,72	88	4200	6,25
МТН711-10	100	584	0,69	89,5	4650	10,25
МТН712-10	125	585	0,7	90,3	5800	12,75
МТН713-10	160	586	0,68	91	7450	15,0

ЛІТЕРАТУРА

1. Структура и содержание дипломного и курсового проектов. Требования и правила оформления. Методические указания к оформлению пояснительной записки курсовых и дипломных проектов для студентов специальности „Теплоэнергетика” / Сост. Л. Ф. Колесник, Запорожье : ЗГИА, 2002. – 38с.
2. Графическое оформление электрических схем по ЕСКД: Справ. / Сост.: С. Т. Усатенко, М. В. Терехова – К.: ЛВК, 2003. – 216с.
3. Чиликин М. Г. Общий курс электропривода / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – М. : Энергоиздат, 1981. – 576с.
4. Фотиев М.М. Электропривод и электрооборудование металлургических цехов / М. М. Фотиев. – М. : Металлургия, 1990. – 352с.
5. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В. А. Елисеева. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 616с.
6. Справочник по электрическим машинам, в 2-х т., т.1 / Под общей ред. Копылова И. П. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 456с.
7. Загірняк М. В. Електричні машини : підручник / М.В. Загірняк, Б. І. Невзлін. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – К. : Знання, 2009. – 399с.
8. Яцун М. А. Електричні машини : Навчальний посібник / М. А. Яцун. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2001. – 428 с.
9. Півняк Г. Г. Електричні машини: Навчальний посібник / Г. Г. Півняк, В. П. Довгань, Ф. П. Шкрабець. – Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2003. - 327с.
10. Кайман М. М. Электрические машины / М. М. Кайман. – М. : Высшая школа, 2002. – 469 с.
11. Шкрабець Ф. П. Електротехніка, основи електроніки та мікропроцесорної техніки. Навчальний посібник / Ф. П. Шкрабець, Д. В. Ципленков, Ю. В. Куваєв та ін. – Дніпропетровськ. НГУ, 2004. – 512 с.
12. Василега П. О. Электропривод рабочих машин [Текст] : навч. посібник для вnz / П. О. Василега, Д. В. Муріков. - Суми : Унів. книга, 2006. - 229 с.
13. Электропривод [Текст]: підручник / Ю. М. Лавріненко, О. С. Марченко, П. І. Савченко та ін. ; ред. Ю. М. Лавріненко. - 2-ге вид., перероб. і доп. - К. : Ліра-К, 2009. - 503 с.
14. Електричні машини та електропривод побутової техніки [Текст]: підручник для вnz / ред. Д. Б. Головка, М. Г. Попович. - 2-ге вид., стереотип. - К. : Либідь, 2004. - 351 с.