

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра “Системи електричної тяги”

**ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ
ЗА ПОТУЖНІСТЮ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання контрольної роботи
з дисципліни**

***«СУЧАСНІ ДЖЕРЕЛА АВТОНОМНОГО, РЕЗЕРВНОГО ТА
ГАРАНТОВАНОГО ЖИВЛЕННЯ»***

Харків 2010

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри СЕТ 26 січня 2009 р., протокол № 5.

Рекомендуються для магістрів спеціальності «Електричні системи та комплекси транспортних засобів».

Укладачі:

доц. О.І.Акімов,
проф. С.П. Калініченко,
асист. В.В. Панченко

Рецензент

проф. І.К. Колесник

ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ
ЗА ПОТУЖНІСТЮ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання контрольної роботи
з дисципліни

*«СУЧАСНІ ДЖЕРЕЛА АВТОНОМНОГО, РЕЗЕРВНОГО ТА
ГАРАНТОВАНОГО ЖИВЛЕННЯ»*

Відповідальний за випуск Акімов О.І.

Редактор Буранова Н.В.

Підписано до друку 25.02.09 р.

Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,5. Обл.-вид.арк. 1,75.

Замовлення № Тираж 50. Ціна

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК № 2874 від. 12.06.2007 р.

Друкарня УкрДАЗТу,

61050 , Харків - 50, майдан Фейербаха, 7

ЗМІСТ

1 Загальні вказівки	4
2 Вибір електродвигунів за потужністю	5
3 Вибір електродвигунів за потужністю у тривалому Режимі	6
4 Вибір електродвигунів за потужністю при роботі в короткочасному режимі	13
5 Вибір електродвигунів за потужністю при роботі в повторно-короткочасному режимі	15
6 Перевірка електродвигуна на перевантаження	17
7 Вибір основних параметрів апаратури керування Електроприводами	18
8 Порядок виконання контрольної роботи	19
Список літератури	22
Додаток А	
Форма титульного аркуша контрольної роботи	23
Додаток Б	
Варіанти контрольної роботи	24
Додаток В	
Основні технічні дані двигунів, контакторів і теплових реле	25

1 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Ускладнення систем електропостачання, зростання електричних навантажень ставлять перед інженерами-електриками відповідні задачі. Серед них багато таких, що вимагають глибоких теоретичних знань у галузі електроенергетики. Одна з них – вибір електродвигунів за потужністю.

Робота студентів над розв'язанням цієї задачі є вагомим ланкою в закріпленні, поглибленні й узагальненні знань, що одержуються ними при вивченні дисципліни «Сучасні джерела автономного, резервного та гарантованого живлення» та суміжних дисциплін.

Вибір потужності джерел систем електропостачання взагалі і електродвигунів, що входять до складу пристроїв гарантованого живлення, які вивчаються в даній дисципліні, зокрема, завжди являє собою актуальну задачу. Більш того, робота побудована таким чином, що дозволяє поширити цей вибір на будь-які двигуни. Тому всі прийняті в роботі рішення мають відповідати вимогам надійного, якісного й економічного електропостачання тягових і районних споживачів.

Вказівки щодо вибору потужності електродвигунів для різних режимів їх роботи містяться в тексті даної роботи.

Контрольну роботу необхідно оформити у вигляді пояснювальної записки з кресленнями, що виконані згідно з вимогами державних стандартів. Титульний аркуш цієї записки оформлюється за зразком, наведеним у додатку А.

Під час розв'язання задачі необхідно вказувати найменування кожної розрахункової операції, далі записувати розрахункову формулу у загальному вигляді, після цього через знак рівняння записувати її числовий вираз і результат. У разі потреби пояснень сформулювати їх коротко і самостійно. Точність розрахунків має бути не нижче 0,1%.

Загальний обсяг завдання не повинен перевищувати декількох сторінок.

В кінці роботи наводиться список використаної літератури, ставиться підпис і дата.

2 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ЗА ПОТУЖНІСТЮ

Вибір потужності електродвигунів необхідно проводити у повній відповідності з навантаженням і режимом роботи двигуна. Якщо обраний електродвигун більшої потужності, ніж це необхідно, то збільшуються капітальні витрати і зменшується у більшості випадків його ККД. Для асинхронних електродвигунів, крім того, знижується коефіцієнт потужності.

Якщо потужність електродвигуна занижена, то температура його окремих частин перевищить допустимі за нормами величини, що призводить до зниження терміну служби електродвигуна, до його передчасної відмови. Наприклад, термін служби електродвигуна скорочується удвічі при підвищенні температури ізоляції класу В проти норми на 8°C [7].

Потужність електродвигуна, вказана заводом-виготівником (на його щитку і в каталозі), розрахована на використання його при температурі довкілля $+40^{\circ}\text{C}$. При меншій температурі допустиме граничне навантаження може бути декілька вище номінального, а при температурі, більшій 40°C , допустиме навантаження має бути менше номінального.

Вибір потужності електродвигунів вимагає також розрахунку навантаження привода не лише при усталеній роботі, але і в періоди перехідних режимів. З цією метою звичайно будуються так звані навантажувальні діаграми, під якими розуміють зміни обертового моменту, потужності і струму електродвигуна в часі.

В кожному випадку електродвигун, вибраний відповідно до заданої навантажувальної діаграми, має бути повністю завантажений і при цьому повинен працювати, не перегріваючись понад допустимих границь. Він повинен також забезпечувати нормальну роботу при перевантаженнях і мати достатній пусковий момент.

У переважній більшості випадків вибір потужності електродвигуна здійснюється за нагрівом, а потім він перевіряється за навантажувальною здатністю

$$M_{max} \leq K_{II} M_H, \quad (1)$$

де M_{max} – максимальне значення моменту на валу двигуна;
 K_{II} – коефіцієнт перевантаження двигуна.

Для машин постійного струму при номінальному збудженні за умовами комутації $K_{II} \approx 1,5$. Для асинхронних двигунів тривалого режиму $K_{II} = 1,7 - 2,2$.

При виборі потужності двигуна за умовами нагрівання розрізняють три основні режими роботи: тривалий (довгочасний), короткочасний і повторно-короткочасний.

3 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ЗА ПОТУЖНІСТЮ У ТРИВАЛОМУ РЕЖИМІ

Тривалим режимом роботи електродвигуна вважається такий режим, при якому період роботи настільки великий, що температура електродвигуна при незмінній температурі довкілля досягає усталеного значення. Навантаження виробничого механізму може бути як незмінним, так і змінним за величиною. Відповідно до цього застосовують два різних способи вибору електродвигуна.

1 Навантаження механізму, що приводиться до руху електродвигуном, незмінне

В даному випадку вибір потужності електродвигуна здійснюється таким чином.

Визначають потужність на валу виробничого механізму і вибирають по каталогу двигун відповідної номінальної потужності. Під номінальною потужністю, що вказується в каталозі або паспорті електродвигуна, розуміється потужність на валу, яку електродвигун може тривало розвивати, не перегріваючись вище допустимої за нормами температури.

Як приклад наведемо формули для підрахунку потужності електродвигунів механізмів, що працюють

тривалий час з постійним навантаженням, а саме: двигунів насоса і вентилятора.

Потужність електродвигуна насоса визначається продуктивністю насоса, висотою нагнітання і всмоктування, а також опором труб:

$$P = \frac{V\gamma(H + \Delta H)}{\eta_{нас} \eta_{пер}} \cdot 10^{-3}, (2)$$

де V - продуктивність насоса, м³/с;

γ - питома вага перекачуваної рідини, Н/м³;

H - розрахункова висота подачі, м;

ΔH - падіння напору в магістралях, м;

$\eta_{нас}, \eta_{пер}$ - ККД насоса і передачі від двигуна до насоса відповідно.

Розрахункова висота подачі дорівнює:

$$H = H_1 + H_2,$$

де H_1 – висота всмоктування, тобто відстань від рівня рідини до осі насоса;

H_2 – висота нагнітання, тобто відстань від осі насоса до найбільш високого пункту споживання.

Значення ККД для різних типів насосів наведені в таблиці 1. ККД передачі залежить від характеру зчленування двигуна з насосом. Якщо крильчатка насоса знаходиться на одному валу з двигуном, то $\eta_{пер} = 1$; якщо є проміжний редуктор, то $\eta_{пер} = 0,7 \div 0,9$.

Таблиця 1 – Значення ККД для різних типів насосів

Тип насоса	ККД
Поршневі насоси	0,8-0,9
Відцентрові насоси високого тиску	0,3-0,8
Відцентрові насоси низького тиску	0,3-0,6

Потужність електродвигуна вентилятора визначається продуктивністю і напором, створюваним вентилятором:

$$P = \frac{V H}{\eta_{\text{нас}} \eta_{\text{пер}}} \cdot 10^{-3}, (3)$$

де V – кількість повітря, що нагнітається (продуктивність), м³/с;
 H – сумарний напір, Н/м²;
 $\eta_{\text{вен}} \cdot \eta_{\text{пер}}$ – ККД вентилятора і передачі відповідно.

На практиці зазвичай напір вимірюється в міліметрах водяного стовпа, причому 1 мм вод. ст. відповідає 9,81 Н/м².

У таблиці 2 наведені значення напору і ККД для різних типів вентиляторів.

Таблиця 2 – Значення напору і ККД для різних типів вентиляторів

Тип вентилятора	Напір, мм вод. ст.	ККД
Крильчаті вентилятори	4-10	0,2-0,35
Відцентрові вентилятори низького тиску	100	0,3-0,5
Відцентрові вентилятори високого тиску	400	0,3-0,8

На підставі розрахунку, проведеного за виразами (2) або (3), по каталогу вибирається двигун найближчої більшої номінальної потужності.

2 Навантаження механізму змінюється в процесі роботи за певним законом

В даному випадку завдання вибору потужності електродвигуна стає складнішим.

Вибір електродвигуна лише за найбільшим або найменшим навантаженням був би неправильним, оскільки призводив би до завищеної або заниженої потужності. Не можна вибирати електродвигун і за середнім значенням навантаження, оскільки при цьому не враховується квадратична залежність між змінними втратами і струмом електродвигуна. Тому для вибору потужності електродвигуна при змінному навантаженні користуються одним з двох способів:

- спосіб середніх втрат;

- спосіб еквівалентних величин.

Оскільки розрахунок за способом середніх втрат копіткий і трудомісткий, то найчастіше застосовується спосіб еквівалентних величин (струму, моменту і потужності двигуна).

Для визначення еквівалентних величин необхідно мати навантажувальну діаграму електропривода. Нехай відома залежність $I=f(t)$, зображена на рисунку 1.

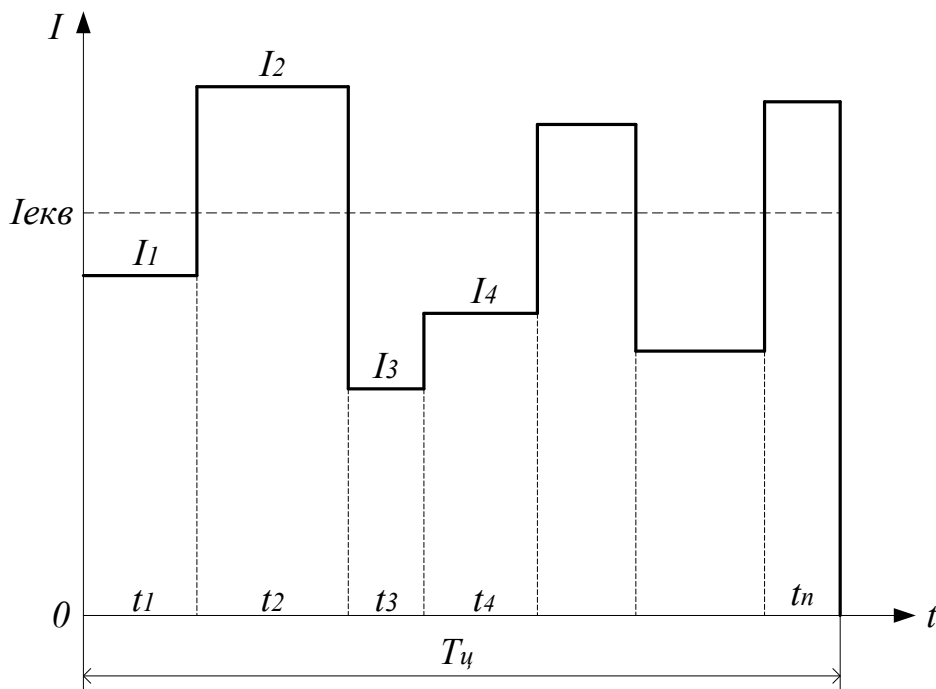


Рисунок1 – Навантажувальна діаграма електропривода при роботі у тривалому режимі із змінним циклічним навантаженням

Обирати електродвигун за потужністю P_2 , відповідній найбільшому струму I_2 , було б неправильним, оскільки на ділянках t_1 , t_3 і інших навантаження менше, електродвигун на цих ділянках був би недовикористаний за потужністю і в цілому нагрівався б до температури, меншої, ніж гранично допустима. Тому електродвигун потрібно вибирати за потужністю, відповідною еквівалентному струму $I_{екв}$. Цей струм визначають ґрунтуючись на тому, що середні втрати потужності при роботі із змінним навантаженням мають дорівнювати втратам потужності при роботі з еквівалентним навантаженням:

$$\Delta P_{cep} = \Delta P_{екв}. \quad (4)$$

Дійсно, лише при виконанні цієї умови в електродвигуні виділяється рівна кількість тепла за весь цикл як при роботі із змінним навантаженням, так і при роботі з еквівалентним, і отже, в обох випадках він нагріється до однакової температури.

Величина еквівалентного струму визначається при таких допущеннях:

- втрати в сталі і на тертя в електродвигуні, які практично не залежать від навантаження, постійні протягом всього робочого періоду;

- активний опір обмоток у всіх режимах роботи електродвигуна практично незмінний і дорівнює R .

Тоді середні втрати потужності за цикл:

$$\Delta P_{cep} = \frac{\Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 + \dots + \Delta P_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}, \quad (5)$$

Підставимо формулу (5) у тотожність (4) і замінимо втрати потужності сумою постійних і змінних втрат:

$$\frac{\Delta P_{1пост} t_1 + \Delta P_{1зм} t_1 + \Delta P_{2пост} t_2 + \Delta P_{2зм} t_2 + \dots + \Delta P_{nпост} t_n + \Delta P_{nзм} t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} = i$$

$$i \Delta P_{екв.пост} + \Delta P_{екв.зм}. \quad (6)$$

Вочевидь, постійні втрати, не залежні від навантаження, однакові на будь-якій ділянці навантажувальної діаграми і дорівнюють постійним втратам при роботі з еквівалентним навантаженням. Позначимо ці втрати через $\Delta P_{пост}$. Тоді можна записати:

$$\Delta P_{1пост} = \Delta P_{2пост} = \dots = \Delta P_{n.пост} = \Delta P_{екв.пост} = \Delta P_{пост}. \quad (7)$$

Змінні втрати пропорційні квадрату струму навантаження на кожній ділянці графіка, а при еквівалентному навантаженні пропорційні квадрату еквівалентного струму:

$$\Delta P_{1.3M} = I_1^2 R; \Delta P_{2.3M} = I_2^2 R \dots \Delta P_{n.3M} = I_n^2 R; \Delta P_{екв.3M} = I_{екв}^2 R. \quad (8)$$

Підставивши в рівняння (6) вирази (7) і (8), запишемо його у такому вигляді:

$$\frac{\Delta P_{ном}(t_1+t_2+\dots+t_n)}{t_1+t_2+\dots+t_n} + \frac{(I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n)R}{t_1+t_2+\dots+t_n} = \dot{i}$$

$$\dot{i} \Delta P_{ном} + I_{екв}^2 R. \quad (9)$$

Виконаємо наступні перетворення: скоротимо перший член лівої частини рівняння на $t_1+t_2+\dots+t_n$, віднімемо від обох частин рівняння $\Delta P_{ном}$, розділимо обидві частини рівняння на R . У результаті отримаємо:

$$\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} = I_{екв}^2;$$

звідси

$$I_{екв} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \quad (10)$$

Користуватися методом еквівалентного струму при виборі електродвигуна за потужністю практично неможливо, оскільки доки не вибраний електродвигун, невідомий його струм і навантажувальна діаграма $I=f(t)$. Тому зазвичай застосовують метод еквівалентного моменту. Формула для визначення еквівалентного моменту аналогічна формулі (10):

$$M_{екв} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \quad (11)$$

Аналогія ґрунтується на пропорційності між моментом і струмом (при незмінному магнітному потоці) і припущенні, що електромагнітний момент приблизно дорівнює моменту на валу.

Для визначення значень моментів електродвигуна M_1, M_2, \dots, M_n потрібна навантажувальна діаграма $M=f(t)$. Її можна побудувати за даними механізму, що приводиться до руху електродвигуном, визначивши значення статичних моментів

на окремих ділянках навантажувальної діаграми за величиною навантаження на механізм. У даному випадку визначення еквівалентної величини не пов'язане з параметрами електродвигуна. Це і складає основну цінність методу еквівалентного моменту. Цей метод можна вважати досить точним для асинхронних короткозамкнених електродвигунів, якщо вони працюють при навантаженні, що мало відрізняється від номінального. В інших випадках цей метод служить лише для попереднього вибору електродвигуна за потужністю. Визначивши $M_{екв}$, задаються середньою частотою обертання електродвигуна $n_{ср}$, знаходять відповідну розрахункову потужність і за цими даними вибирають по каталогу електродвигун тривалого режиму роботи. Потім, знаючи параметри електродвигуна і залежність $I=f(M)$ для нього, будують навантажувальну діаграму $I=f(t)$. Після цього визначають еквівалентний струм і порівнюють його з номінальним струмом I_H вибраного електродвигуна. Якщо $I_{екв} \leq I_H$, то електродвигун за нагрівом вибраний правильно. Якщо $I_{екв} > I_H$, то слід вибрати наступний за потужністю електродвигун.

Якщо врахувати, що момент і потужність є пропорційними величинами ($P=M \omega_g$) і практично зміною швидкості двигуна можна знехтувати, то можна записати формулу для еквівалентної потужності

$$P_{екв} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \quad (12)$$

Метод еквівалентного моменту непридатний для двигунів, в яких потік не залишається постійним (наприклад, для двигунів послідовного збудження).

Метод еквівалентної потужності, окрім вказаних обмежень, не можна застосовувати для електродвигунів, в яких швидкість у процесі роботи значно змінюється. Характер зміни потужності в пускових і гальмівних режимах не відображає умов нагріву двигуна, оскільки на графіку дається лише корисна потужність і не враховуються втрати при пуску і гальмуванні. Тому формула (12) справедлива

для графіка навантаження двигуна, що не має ні пауз, ні холостого ходу.

4 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ЗА ПОТУЖНІСТЮ ПРИ РОБОТІ В КОРОТКОЧАСНОМУ РЕЖИМІ

Короткочасним режимом роботи електродвигуна називається такий режим, при якому в робочий період часу його температура не встигає досягти усталеного значення, а пауза настільки тривала, що його температура знижується до температури довкілля. Такий режим роботи зустрічається, наприклад, у приводах поворотного залізничного круга, розвідних мостів, шлюзів і т. ін.

Якщо застосувати для роботи в цьому режимі електродвигун, номінальна тривала потужність якого дорівнює короткочасній потужності, то він при короткочасній роботі виявиться недовикористаним за нагрівом, оскільки не нагріється до гранично допустимої температури. Для його повного використання потрібно, аби він встигав за час роботи досягти допустимої температури нагріву. Цього можна досягти, якщо застосувати інший електродвигун, номінальна тривала потужність якого менше необхідної короткочасної потужності.

Таким чином, для короткочасної роботи можна вибрати двигун меншої потужності, ніж при тривалій, перевіривши його за перевантажувальною здатністю. Перевантажувальна здатність електродвигуна характеризується коефіцієнтом теплового перевантаження, який показує, в скільки разів втрати при вибраній гранично допустимій короткочасній потужності двигуна перевищують втрати, що відповідають допустимій тривалій потужності останнього:

$$P_T = \frac{\Delta P_K}{\Delta P_H}, (13)$$

де ΔP_K - допустимі втрати при роботі в короткочасному режимі;
 ΔP_H - допустимі втрати при роботі у тривалому режимі.

Виходячи з коефіцієнта теплового перевантаження, можна провести перерахунок потужності двигуна P_H , що відповідає тривалій роботі, на потужність при короткочасному режимі P_K з заданою тривалістю робочого періоду t_p [8]:

$$t_p = T_H \ln \frac{P_T}{P_T - 1}; (14)$$

$$P_K = P_H \sqrt{P_T}. (15)$$

Використання для короткочасної роботи двигунів загальнопромислового призначення, виготовлених для роботи в тривалому режимі, недоцільно.

По-перше, двигуни нормальних серій можуть бути досить повно використані за нагрівом лише при відносно великих значеннях відношення t_p/T_H , де t_p - час роботи двигуна; T_H - його стала часу нагріву. Тому потужність двигуна довелося б вибирати не з умов нагріву, а за умовами допустимого перевантажувального моменту, що призводить до недовикористання двигуна за нагрівом.

По-друге, не всі частини двигуна мають однакові за величиною сталі часу нагріву. При тривалому режимі це неістотно, а при короткочасному режимі окремі елементи двигуна не будуть використані повністю за умовами нагрівання.

Тому для короткочасної роботи випускаються спеціальні електродвигуни з підвищеною перевантажувальною здатністю, приблизно однаковими сталими часу нагріву окремих частин і т.ін. Тривалість їх роботи нормується стандартними значеннями (15, 30, 60 хв), вони повинні вибиратися по каталогу електродвигунів, призначених для короткочасної роботи. При цьому для одного і того ж електродвигуна вказують різну короткочасну потужність при різній тривалості роботи.

Вибір електродвигунів за потужністю зводиться до визначення потужності P_K , яку він повинен розвивати короткочасно, і тривалості робочого періоду t_p . За цими даними в каталозі знаходять електродвигун короткочасного режиму, в якого при $t_{p.н.} \leq t_p$ потужність $P_{к.н.} \geq P_K$, де $t_{p.н.}$ і $P_{к.н.}$ –

номінальні параметри, вказані в каталозі. Якщо впродовж робочого періоду електродвигун працює із змінною потужністю, то спочатку знаходять еквівалентну потужність.

5 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ЗА ПОТУЖНІСТЮ ПРИ РОБОТІ В ПОВТОРНО-КОРОТКОЧАСНОМУ РЕЖИМІ

Повторно-короткочасним режимом роботи називається такий режим, при якому в жодному з періодів роботи температура електродвигуна не досягає усталеного значення, а під час паузи двигун не встигає охолودитися до температури довкілля. Типовим прикладом подібних приводів є крани, ліфти, транспортні пристрої і т. ін.

Вибір електродвигуна за потужністю при роботі в повторно-короткочасному режимі в принципі схожий з аналогічним завданням для короткочасного режиму.

Тому для роботи в повторно-короткочасному режимі слід застосовувати двигуни меншої потужності і габаритів, але з більшою перевантажувальною здатністю і міцністю відносно динамічних зусиль.

Для повторно-короткочасного режиму, так само як і для короткочасного, розраховуються і будуються спеціальні кранові електродвигуни. У каталогах цих електродвигунів наводяться значення повторно-короткочасної потужності при стандартних тривалостях вмикання. Під тривалістю вмикання ($TВ$) розуміється відношення часу роботи електродвигуна до загальної тривалості циклу, %

$$TВ = \frac{t_p}{t_y} \cdot 100\% = \frac{t_p \cdot 100}{t_p + t_o}, (16)$$

де t_o – час паузи.

Нормовані значення $TВ$ складають 15, 25, 40 і 60%.

Один і той самий електродвигун може розвивати при різних $TВ$ різну потужність: чим більше $TВ$, тим вона менша.

Вибір електродвигуна за потужністю зводиться до визначення потужності $P_{пк}$, яку він повинен розвивати на ділянках роботи і до встановлення тривалості вмикання.

Для визначення цих параметрів необхідно мати навантажувальну діаграму електропривода $P=f(t)$ або $M=f(t)$. Якщо тривалість вмикання, знайдена за цією діаграмою, збігається із стандартною, то в каталозі знаходять електродвигун, який при цій TB може віддавати потужність $P_{ПК.Н} \geq P_{ПК}$. Зазвичай дійсна TB відрізняється від стандартної $TB_{СТ}$. У цих випадках потужність $P_{ПК}$ потрібно перерахувати, привести її до потужності $P_{ПК.СТ}$ при $TB_{СТ}$. Вочевидь, при перерахунку від однієї тривалості вмикання до іншої еквівалентні потужності мають бути однакові – в цьому весь сенс перерахунку: при будь-якій TB електродвигун повинен нагріватися до однакової температури перегріву. Тому відповідно до формули (12):

$$P_{екв} = \sqrt{\frac{P_{ПК}^2 \cdot t_{p1}}{t_{p1} + t_{01}}} = \sqrt{\frac{P_{ПК.СТ}^2 \cdot t_{p2}}{t_{p2} + t_{02}}}. \quad (17)$$

Оскільки

$$\frac{t_{p1}}{t_{p1} + t_{01}} = TB_1, \quad a \quad \frac{t_{p2}}{t_{p2} + t_{02}} = TB_{СТ},$$

то з рівняння (17) можна отримати

$$P_{ПК} \sqrt{TB_1} = P_{ПК.СТ} \sqrt{TB_{СТ}},$$

Звідки

$$P_{ПК.СТ} = P_{ПК} \sqrt{\frac{TB_1}{TB_{СТ}}}. \quad (18)$$

Таким чином, якщо $TB \neq TB_{СТ}$, то знаходять $P_{ПК.СТ}$ за формулою (18), підставляючи в неї $P_{ПК}$ і TB , узяті з навантажувальної діаграми, і $TB_{СТ}$, найближчу до TB . Потім по каталогу вибирають електродвигун, потужність якого $P_{ПК.Н} \geq P_{ПК.СТ}$ при $TB_{СТ}$.

Якщо навантаження електродвигуна впродовж відрізка роботи змінне або якщо цикл складається з декількох відрізків роботи з паузами, то для визначення повторно-короткочасної потужності $P_{ПК}$ потрібно скористатися формулами, аналогічними виразам (10), (11). В усьому

іншому вибір електродвигуна за каталогом виконується так само, як у попередніх випадках.

6 ПЕРЕВІРКА ЕЛЕКТРОДВИГУНА НА ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ

В усіх випадках змінного навантаження у тривалому, короткочасному і повторно-короткочасному режимах після вибору електродвигуна за нагрівом слід перевірити його на перевантаження. Це необхідно тому, що в навантажувальній діаграмі може бути відрізок роботи дуже короткий за часом, але з навантаженням, що значно перевищує навантаження на решті відрізків. Через нетривалість роботи на цьому відрізку його вплив на розрахунок потужності електродвигуна за нагрівом неістотний, але навантаження, що відповідає цій ділянці, може виявитися для електродвигуна непереборним. Допустиме навантаження електродвигунів постійного струму лімітується їх комутаційною здатністю, а асинхронних електродвигунів – величиною їх критичного моменту.

Перевірка на перевантаження полягає в порівнянні найбільшого за перевантажувальною діаграмою струму або моменту з відповідними гранично допустимими значеннями, вказаними в каталогах електродвигунів. При перевірці мають бути дотримані умови:

- для електродвигунів постійного струму:

$$\frac{I_{max}}{I_H} \leq K_{n.доп.i}; \quad (19)$$

- для асинхронних електродвигунів:

$$\frac{M_{max}}{M_H} \leq K_{n.доп.м}, \quad (20)$$

де I_{max} і M_{max} – найбільший струм і момент, узяті з навантажувальної діаграми;

$K_{n.доп.i}$ і $K_{n.доп.м}$ – коефіцієнти допустимого перевантаження за струмом і моментом.

Якщо при перевірці електродвигуна на перевантаження виявляється, що вказані вище умови не дотримуються, доводиться вибирати наступний за потужністю електродвигун, хоча за нагрівом він буде в цьому випадку недовикористаний.

7 ВИБІР ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ АПАРАТУРИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ

В процесі експлуатації можлива заміна електричних апаратів і інших елементів схем внаслідок виходу останніх з ладу. Вибір параметрів нової апаратури повинен проводитися так, щоб дія схеми не порушувалася, а електропривод після відновлення мав ті самі основні якості.

Вибір контакторів проводиться за родом струму; за кількістю полюсів; за відповідністю головних і допоміжних контактів; за номінальною силою струму; за напругою втягувальної котушки; за комутаційною здатністю, яка характеризується найбільшим значенням струму (гранична розривна здатність), найбільшим піком струму (гранична здатність вмикання і термічна стійкість); за режимом роботи (тривалий, переривчасто-тривалий, короткочасний і повторно-короткочасний).

Силові контролери характеризуються номінальним струмом, напругою, числом кіл з дугогасінням і без дугогасіння і межею регулювання реле максимального струму, якщо таке входить у конструкцію контролера.

Вибір командоапаратів проводиться залежно від величини тривалого струму, максимального допустимого струму вмикання, величини розривного струму при індуктивному навантаженні, допустимої частоти вмикання за годину, числа контактів, напруги і виконання. Кінцеві вимикачі характеризуються також необхідним зусиллям натиснення на штифт і ролик.

Електромагнітні реле вибираються за числом контактів, за родом струму, за напругою втягувальної котушки і за комутаційною здатністю (струмами вмикання і відмикання).

Для реле максимального струму додатковим критерієм є межа регулювання уставки на струм спрацьовування.

Реле часу характеризується уставкою часу спрацьовування. Для випадку визначення уставки реле часу при пуску спочатку визначають час розгону електропривода на пускових характеристиках. Уставка часу реле має бути менше знайденого часу розгону на величину часу спрацьовування контактора прискорення відповідного ступеня.

Теплові реле вибираються за номінальним струмом кола, що захищається, і комутаційною здатністю контактів.

Вибір опорів здійснюється за такими параметрами: допустимою силою струму, режимом роботи і величиною омичного опору.

8 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

1 Побудувати графік навантаження відповідно до вихідних даних конкретного варіанта контрольної роботи (варіанти контрольної роботи подані в таблиці Б.1).

2 Визначити величину сумарного еквівалентного моменту графіка навантаження за формулою

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + M_3^2 t_3 + M_4^2 t_4 + M_5^2 t_5}{\gamma t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + \gamma t_5}}$$

де M_1, \dots, M_5 – моменти прямолінійних ділянок графіка навантаження, $\gamma=0,75$ – коефіцієнт, що враховує погіршення тепловіддачі при пуску і гальмуванні двигуна.

3 Визначити тривалість включення *ТВ1* за формулою (16).

4 Визначити попереднє значення потужності двигуна

$$P_{\text{пк}} = \frac{M_{\text{екв}} n}{9550},$$

де n – частота обертання двигуна згідно з варіантом завдання, об/хв.

5 У разі, якщо розрахункова величина тривалості вмикання відрізняється від стандартної, вибирають найближче стандартне її значення і перераховують потужність двигуна

$$P_{пк.ст} = P_{пк} \sqrt{\frac{TB_1}{TB_{ст}}},$$

де TB_1 – розрахункова величина тривалості вмикання, визначена в п.3;

$TB_{ст}$ – найближче стандартне значення тривалості вмикання.

6 За $P_{пк.ст}$, з каталогу (див. таблицю В.1) обрати двигун, найближчий більший за потужністю.

7 Визначити дійсну частоту обертання вибраного двигуна

$$n_d = n_1(1-s),$$

де $n_1 = \frac{60f}{P}$ – синхронна частота обертання обраного двигуна, об/хв;

f – частота змінного струму, що живить двигун;

P – число пар полюсів обраного двигуна (див. додаток, таблиця В.1);

s – ковзання двигуна (див. таблицю В.1).

8 Уточнити значення потужності двигуна

$$P_y = P_{пк.см} \frac{n_d}{n_1}.$$

Якщо значення потужності двигуна P_d не задовольняє умові $P_d \geq P_y$, то необхідно з каталогу узяти наступний за потужністю двигун.

9 За вибраною потужністю P_d визначити номінальний момент двигуна

$$M_n = \frac{9550 P_d}{n_d}.$$

10 Перевірити двигун на перевантаження за моментом

$$K_n = \frac{M_{\max}}{M_n} \leq K_{n.\text{доп}},$$

де M_{\max} – максимальне значення моменту згідно із завданням;
 $K_{n.\text{доп}}$ – допустиме значення коефіцієнта перевантаження для вибраного двигуна, подане в додатку (таблиця В.1).

Якщо коефіцієнт перевантаження більше допустимого, необхідно вибрати наступний за потужністю двигун і повторити розрахунок у межах пп. 7-10.

11 Визначити споживану двигуном потужність

$$P_{\text{сп}} = \frac{P_{\text{д}}}{\eta},$$

де η - ККД двигуна, заданий у каталозі (таблиця В.1).

12 Визначити номінальний струм двигуна

$$I_{\text{д}} = \frac{P_{\text{сп}}}{\sqrt{3}U_n},$$

де U_n - лінійна напруга мережі, рівна 380В.

13 Вибрати необхідні комутаційні електричні апарати, і за $I_{\text{д}}$ і рядом струмів теплових реле (див. таблиці В.2, В.3) визначити струм спрацьовування захисної апаратури.

14 Накреслити схему керування двигуном.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
- 2 Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация промышленных механизмов. – М.: Энергия, 1980.
- 3 Чиликин М.Г. Теория автоматизированного электропривода. – М.: Энергия, 1979.
- 4 Соколов М.М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов. – М.: Энергия, 1976.

- 5 Соколов М.М., Липатов Д.Н. Электропривод и электроснабжение промышленных предприятий. – М.-Л.: Энергия, 1965.
- 6 Хализев Г.П. Электрический привод. – М.: Высшая школа, 1977.
- 7 Куликов А.А. Основы электропривода. – К.: Высшая школа, 1977.
- 8 Головин Ю.К., Ицкович Ю.Л. Судовые электрические приводы. – М.: Транспорт, 1974.
- 9 Масандилов Л.Б., Москаленко В.В. Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей. – М.: Энергия, 1978.
- 10 Комар М.А. Основы электропривода и аппараты управления. – М.: Энергия, 1968.
- 11 Акимов А.И. Электросиловое оборудование. Руководство к лабораторным и практическим занятиям. – Харьков: ХВВКУ, 1979. – Ч.1.
- 12 Южаков Б.Г. Технология и организация обслуживания и ремонта устройств электроснабжения. – М.: Маршрут, 2004.

Додаток А

Форма титульного аркуша контрольної роботи

Українська державна академія залізничного транспорту

Кафедра «Системи електричної тяги»

Контрольна робота
«Вибір електродвигунів за потужністю»
Варіант №

Студент _____
(прізвище, ініціали)

Група _____
(номер групи)

Керівни
к контрольної роботи

Підпис керівника роботи _____
« » _____ 200

Харків 200
Додаток Б
Варіанти контрольної роботи

Таблиця Б.1 – Варіанти контрольної роботи

Номер варіан -та	M ₁ , Н·м	M ₂ , Н·м	M ₃ =M ₄ , Н·м	M ₅ , Н·м	t ₁ , с	t ₂ , с	t ₃ , с	t ₄ , с	t ₅ , с	t ₀ , с	n, об/хв
1	20	120	50	60	50	80	120	100	20	1000	900
2	30	110	50	40	50	80	110	100	30	900	900
3	40	100	60	30	50	80	100	90	40	1200	900
4	50	90	70	20	50	80	90	90	50	800	900
5	60	80	60	40	50	80	80	110	60	1200	900
6	70	80	50	90	50	80	70	120	70	900	900
7	80	90	50	70	50	80	60	130	80	1000	700
8	90	100	50	40	50	80	50	140	90	1000	900
9	100	120	40	30	50	80	40	150	100	1400	900
10	20	100	70	50	60	70	30	160	110	1500	900
11	30	90	60	40	60	70	40	170	40	1000	900
12	40	110	70	30	60	70	50	100	30	1200	900
13	50	100	70	60	60	70	60	110	30	800	700
14	60	90	70	50	60	70	70	120	20	900	900
15	70	80	70	60	60	70	80	130	20	800	900
16	80	100	70	30	60	70	90	140	20	1400	900
17	90	110	70	40	60	70	100	90	100	1300	900

18	100	110	60	40	60	70	110	80	90	1200	900
19	20	110	50	30	70	60	120	70	80	1100	900
20	30	100	50	80	70	60	130	60	20	1000	900

Додаток В
Основні технічні дані двигунів, контакторів і теплових реле

Таблиця В.1 – Каталог двигунів

Тип двигуна	P_D , кВт	S , %	ККД, %	$K_{п\ доп}$
MT-11-6	2,2	11,5	64,0	2,3
MT-12-6	3,5	9,0	70,5	2,5
MT-21-6	5,0	6,0	74,5	2,9
MT-22-6	7,5	5,5	78,5	2,8
MT-31-6	11,0	4,7	82,5	3,1
MT-31-8	7,5	6,4	77,5	2,6
MT-41-8	11,0	4,8	81,0	2,9
MT-42-8	16,0	4,2	82,5	3,0
MT-51-8	22,0	3,6	84,5	3,0
MT-52-8	30,0	3,3	86,0	3,0
MT-61-10	30,0	4,3	84,6	3,3
MT-62-10	45,0	3,8	87,5	3,2
MT-63-10	60,0	3,8	88,5	2,9
MT-71-10	80,0	3,0	89,5	3,3
MT-72-10	100,0	2,7	89,5	3,3
MT-73-10	125,0	2,5	90,5	3,4
MTK-11-6	2,2	11,7	68,5	2,6
MTK-12-6	3,5	12,5	70,5	2,6

МТК-21-6	5,0	9,0	75,0	3,1
МТК-22-6	7,5	9,5	77,5	3,1
МТК-31-6	11,0	8,0	81,0	3,4
МТК-31-8	7,5	9,1	78,0	3,0
МТК-41-8	11,0	8,7	79,0	3,2
МТК-42-8	16,0	8,7	80,5	3,3
МТК-51-8	22,0	7,7	82,5	3,1
МТК-52-8	28,0	7,3	83,5	3,1
Примітка – Остання цифра в позначенні двигуна – кількість пар полюсів (р)				

Таблиця В.2 – Основні технічні дані контакторів

Параметр	Тип контактора							
	ПМИО	П6	ПМИ1	ПМИ2	ПА300	КНТО	КНТ1	КНТ2
Номінальний струм, А	3	6,6	10	25	40	10	25	60
Номінальна напруга, В	380	380	380	380	380	380	380	380
Допустимий струм у тривалому режимі, А	10	10	10	25	40	10	25	60
Кількість головних контактів:								
замикальних	4	4	5	3	3	3	3	3
розмикальних	4	0	0	0	0	0	0	0
х								
Кількість блок-контактів:								
замикальних	0	0	0	2	2	2	1	2
розмикальних	0	0	2	2	2	1	2	2
х								

Таблиця В.3 – Теплові реле

Параметр	Серія реле			
	ТРТ	ТРП	ТРН	ТРА
Номінальний струм, А	1,75-550	1-150	0,5-35	7-200
Номінальна напруга, В	500	500	500	500
Кількість полюсів	1	1	2	1
Кількість контактів	1	2	1	1
Уставка струму спрацьовування, %	±15	±25	±25	±15
Примітка – Ряд струмів теплових реле (в амперах): 0,5; 1,0; 1,75; 2,5; 3,5; 5,0; 7,0; 9,0; 11,5; 14,5; 18; 22; 28; 35; 45; 56; і.т.д.				