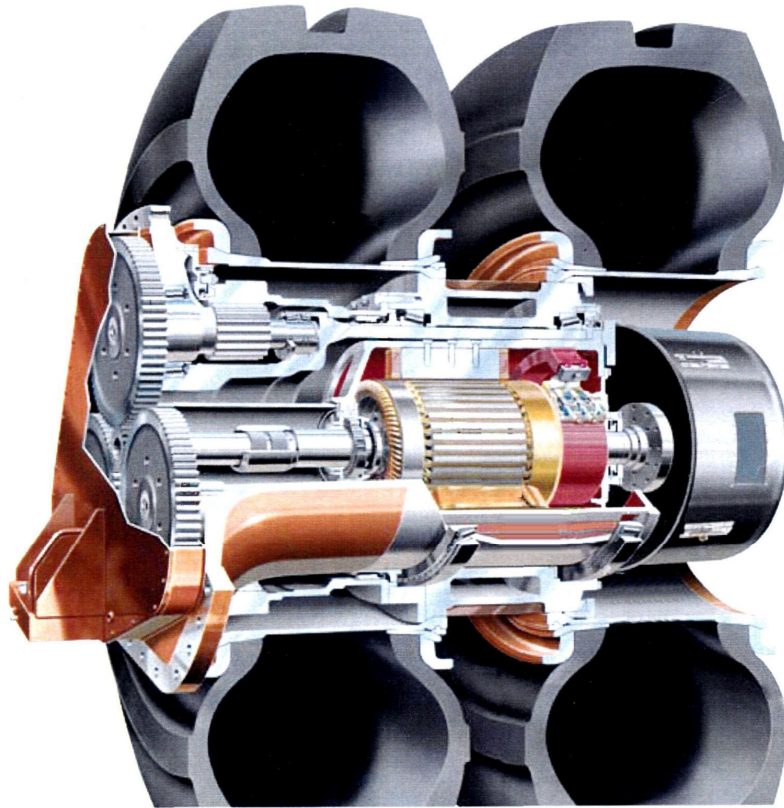


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

А.В. Гнатов



СПЕЦІАЛЬНІ ПИТАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА АТЗ

РОБОЧА ПРОГРАМА ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання контрольної роботи для студентів заочного навчання
за напрямом підготовки «електромеханіка» 6.050702

Затверджено методичною
радою університету,
протокол №__ від _____

Харків 2009

УДК 621.3

Спеціальні питання автоматизованого електропривода АТЗ

Робоча програма та методичні вказівки до виконання контрольної роботи для студентів заочного навчання за напрямом підготовки «Електротехніка» 6.050702

/ А.В. Гнатов. – Х.: ХНАДУ, 2009. – 42 с.

Робоча програма та методичні вказівки до виконання контрольної роботи для студентів заочного навчання з дисципліни «Спеціальні питання автоматизованого електропривода АТЗ» містить завдання до контрольної роботи та теоретичний матеріал, необхідний для осмисленого її виконання студентами і вивченні даної дисципліни. При цьому контрольна робота складається з двох структурних частин і виконується студентом у відповідності до заданого варіанту.

Ілюстрацій – 13, таблиць – 7, бібліографія – 10 найменувань.

Загальне редагування виконане кандидатом технічних наук, доцентом В.В.Тарасовою.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| 1. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ. РОБОЧА ПРОГРАМА..... | 4 |
| 2. СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ | 7 |
| 2.1. Основні поняття | 7 |
| 2.2. Електричні виконавчі механізми | 8 |
| 2.3. Електроприводи промислових роботів | 12 |
| 3. ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ..... | 17 |
| 3.1. Нагрівання електродвигунів | 17 |
| 3.2. Номінальні режими роботи двигуна..... | 20 |
| 3.3. Чинники, що впливають на вибір двигуна | 22 |
| 3.4. Вибір двигуна по потужності | 24 |
| 4. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКУ ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНІВ ТА ЇХ ВИБІР ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ..... | 28 |
| 5. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ..... | 33 |
| 6. ОФОРМЛЕННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ | 36 |
| ДОДАТОК А Технічні данні асинхронних двигунів..... | 37 |
| ЛІТЕРАТУРА..... | 42 |

1. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ. РОБОЧА ПРОГРАМА

Мета контрольної роботи – перевірка рівня теоретичних знань з пройденого матеріалу по дисципліні „Спеціальні питання автоматизованого електропривода АТЗ”. Перевірка практичних навичок розв’язання інженерних задач.

Кожен студент відповідно до виданого завдання повинен самостійно виконати контрольну роботу і відобразити в ній такі питання:

– відповісти на поставлене питання по теорії автоматизованого електроприводу згідно свого варіанту;

– згідно з заданими початковими даними провести розрахунок та вибір двигуна для автоматизованого електроприводу.

ЗМІСТ ПРОГРАМИ

ВСТУП. Мета та задачі учбової дисципліни, структура її побудування та послідовність вивчення. Предмет та об'єкт дослідження, основні терміни та визначення. Форми звітності. Організація самостійної роботи студентів.

Блок змістових модулів (розділ) № 1

Системи автоматизованого електроприводу

Змістовий модуль (тема) 1.1

Електроприводи для систем автоматичного управління

Основні поняття. Електричні виконавчі механізми. Структурна схема електричного виконавчого механізму, його складові частини та принцип дії. Електроприводи промислових роботів. Електроприводи дискретної дії. Автоматизований електропривод на базі модуля «мотор-палець» і модуля «мотор-рука».

Змістовий модуль (тема) 1.2

Вибір двигуна для автоматизованого електроприводу

Нагрівання електродвигунів. Режим теплової рівноваги. Постійна часу нагрівання. Основні класи нагрівостійкості ізоляції електродвигунів. Номінальні режими роботи двигуна. Класифікація електродвигунів за способом охолодження. Чинники, що впливають на вибір двигуна. Вибір двигуна по потужності. Коефіцієнт перевантаження двигуна по моменту. Еквівалентний струм двигуна.

Блок змістових модулів (розділ) № 2
Двигуни автоматизованого електроприводу

Змістовий модуль (тема) 2.1

Автоматизований електропривод з асинхронним двигуном

Автоматизований електропривод з асинхронними двигунами з коротко замкнутим ротором. Автоматизований електропривод з асинхронними двигунами з фазним ротором. Автоматизований електропривод з асинхронними двигунами спеціального призначення. Автоматизований електропривод з лінійним асинхронними двигунами. Електропривод з однофазним асинхронним двигуном. Автоматизований електропривод з конденсаторним асинхронним двигуном. Автоматизований електропривод з однофазним асинхронним двигуном з екранованими полюсами.

Змістовий модуль (тема) 2.2

Автоматизований електропривод з синхронним двигуном

Автоматизований електропривод з синхронним двигуном. Автоматизований електропривод з синхронним двигуном з постійними магнітами. Автоматизований електропривод з синхронним реактивним двигуном. Автоматизований електропривод з синхронним гістерезисним двигуном. Автоматизований електропривод з синхронним реактивно-гістерезисним двигуном.

Змістовий модуль (тема) 2.3

Автоматизований електропривод з спеціальними двигунами

Автоматизований електропривод з безконтактними двигунами постійного струму. Автоматизований електропривод з кроковим двигуном. Автоматизований електропривод з вентильним двигуном. Схема управління та принцип дії автоматизованого електропривода в гібридних автомобілях.

Блок змістових модулів (розділ) № 3

Системи автоматизованого управління електроприводом

Змістовий модуль (тема) 3.1

Системи автоматизованого управління електроприводом

Автоматизований електропривод з схемою релейно-контактного управління електродвигунами. Автоматизований електропривод з безконтактними перетворювачами напруги. Автоматизований електропривод змінного струму з частотним управлінням. Автоматизований електропривод з

програмним управлінням. Автоматизований електропривод, з функцією стеження.

ВИСНОВОК. Огляд вивченого матеріалу. Перспективи розвитку учбової дисципліни. Шляхи самостійного удосконалення знань в галузі електромеханіки.

2 СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

2.1 Основні поняття

Система автоматичного управління об'єктом призначена для зміни за заданою програмою або підтримки на певному рівні якого-небудь параметра цього об'єкту. Наприклад, система автоматичного управління просторовим положенням робочого органу (керма автомобіля, літака, судна) або система для підтримки температури в салоні автомобіля і т.п. Така система складається з декількох взаємозв'язаних пристроїв, охоплених колом зворотного зв'язку (рис. 1.1): пристрою, який задає сигнал **ЗП**, управляючого пристрою **УП** і виконавчого пристрою **ВП**. Виконавчий пристрій складається з підсилювача потужності **П** і електричного виконавчого механізму **ЕВМ**. Управляючий електричний сигнал U_c , що поступає на вхід виконавчого пристрою, посилюється і подається на електричний виконавчий механізм **ЕВМ**, в якому він перетворюється в механічне переміщення регулюючого органу **РО** об'єкту, який управляється.

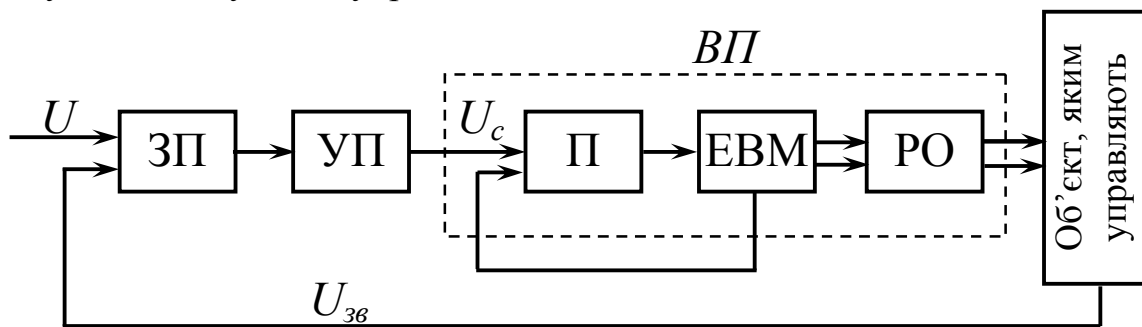


Рисунок 1.1 – Структурна схема системи автоматичного управління

Таким чином, функцію електроприводу в системі автоматичного управління виконує *електричний виконавчий механізм*. Основний елемент електричного виконавчого механізму – перетворювач електричного сигналу в механічне переміщення. В виді таких елементів застосовують електромагніти і електродвигуни. Електромагніти (соленоїди) з якорем, що втягується, дозволяють достатньо просто перетворювати електричний сигнал в поступальний рух робочого органу. Звичайно виконавчі механізми з електромагнітами працюють в дискретному (релейному) режимі, переміщаючи регулюючий орган з одного крайнього положення в інше («відкрито – закрито»). Найбільше застосування в системах автоматичного управління отримали електродвигуни, що забезпечують безперервне (гнучке) управління регулюючим органом.

Промисловий робот є системою автоматичного управління, виконавчий пристрій якого перетворить електричні управляючі сигнали в механічне переміщення якої-небудь деталі. При цьому електромагнітний

момент, що розвивається електродвигуном, через редуктор впливає на механічну «руку» робота, звану маніпулятором.

Специфіка роботи електроприводу в системах автоматичного управління, включаючи промислові роботи, полягає в тому, що він практично завжди працює в перехідному режимі. Тому до електродвигунів виконавчих механізмів цих систем пред'являються підвищені вимоги до їхніх динамічних властивостей.

В деяких системах управління підвищеної точності використовують **ЕВМ** з малоінерційними виконавчими двигунами (асинхронні двигуни з порожнистим немагнітним ротором, двигуни постійного струму з печатним або гладким якорем і т. п.).

2.2 Електричні виконавчі механізми

Електричний виконавчий механізм – це силовий елемент системи автоматичного управління, який переміщає регулюючий орган відповідно до управляючих сигналів цієї системи.

Регулюючі органи – це пристрої, здатні змінювати режим роботи регульованого об'єкту. Приклади регулюючих органів: різного роду заслінки, вентиля, клапани і інші стопорні і регулюючі елементи, здатні змінювати кількість енергії або робочої речовини, що поступає в об'єкт управління. Механічне переміщення регулюючого органу може бути обертовим (в межах одного або декількох оборотів) або поступальним.

Електричний виконавчий механізм (рис. 1.2) складається з електродвигуна **М**; гальмівного пристрою **ЕГ**; редуктора **Р**, що знижує частоту обертання, а в деяких механізмах ще і перетворюючого обертовий рух в поступальний; датчиків зворотного зв'язку **ДЗЗ**; кінцевих вимикачів **КВ**. Крім того, **ЕВМ** має штурвал ручного управління **РУ**, що дозволяє уручну встановлювати регулюючий орган **РО** в необхідне положення (при монтажі і регулюванні **ЕВМ**). Положення регулюючого органу можна контролювати по покажчику на корпусі **ЕВМ**, а також дистанційно за допомогою приладу **П**, підключеного до датчика зворотного зв'язку **ДОС**. Крім перерахованих **ЕВМ** можуть містити і інші елементи. Наприклад, датчик зворотного зв'язку по швидкості, в виді якого використовуються тахогенератори.

Розглянемо докладніше призначення деяких елементів **ЕВМ**. *Електродвигун* – основний елемент **ЕВМ**. Переважно у виконавчих механізмах використовують асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором, оскільки вони найбільш прості, дешеві і надійні в порівнянні з двигунами інших типів.

Залежно від принципу роботи управляючого пристрою УП, системи автоматичного управління (див. рис. 1.1) **ЕВМ** розділяють на два види: виконавчі механізми постійної і змінної швидкості.

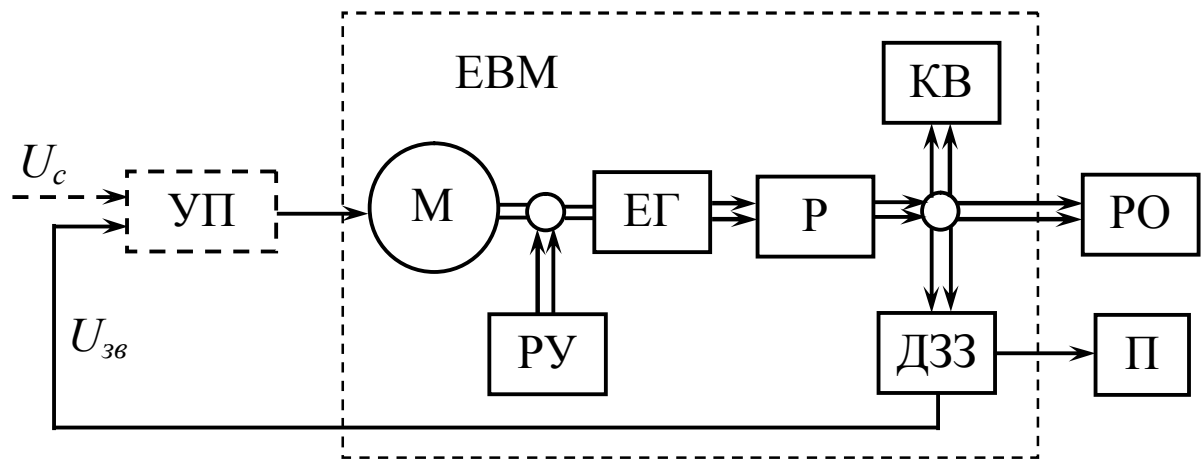


Рисунок 1.2 – Структурна схема електричного виконавчого механізму

У виконавчих механізмах постійної швидкості частота обертання ротора двигуна незмінна, а величина механічного переміщення регулюючого органу визначається тривалістю імпульсу управляючого сигналу U_c . Такий режим роботи дозволяє застосовувати у виконавчих механізмах трифазні асинхронні двигуни загальнопромислового призначення серій АОЛ або 4А або ж асинхронні конденсаторні двигуни (див. додаток А). Ці двигуни мають високі енергетичні показники, надійні в експлуатації, мають мінімальні габаритні розміри, масу і вартість. Проте такі виконавчі механізми не забезпечують достатньо високої точності регулювання.

У виконавчих механізмах змінної швидкості частота обертання ротора двигуна регулюється величиною напруги управляючого сигналу, і їх застосовують в системах автоматичного управління, що вимагають високої точності регулювання. Двигун такого виконавчого механізму повинен бути керованим. В виді таких двигунів використовуються виконавчі двигуни, частота обертання яких регулюється величиною напруги, що підводиться до обмотки управління. Такі двигуни в порівнянні з некерованими мають великі габаритні розміри, масу і вартість і гірші енергетичні показники. В системах автоматичного управління загальнопромислового призначення переважно застосовуються ЕВМ постійній швидкості (наприклад, склопідйомники).

Гальмівний пристрій служить для фіксованої зупинки регулюючого органу механізму після припинення подачі управляючого сигналу і для усунення самоходу (якщо в механізмі застосований асинхронний конденсаторний двигун). Найбільш широко в електричних виконавчих механізмах застосовуються фрикційні гальма з електромагнітним управлінням. На рис. 1.3 показаний пристрій такого гальма. Сердечник електромагніту 5 з котушкою укріплений на важелі 4, що спирається на пружину 6, а якір 10 цього електромагніту встановлений на важелі 1. Пружина 6 підтискає важіль 4 до гайки 7, а пружина 9 через важіль 1 підтискає гальмівну колодку 2 до шківу 3. Зусилля пружини 9 регулюється

гайкою 8. При подачі напруги на обмотку електромагніту яркір 10 притягується до сердечника, пружина 9 стискається, гальмівна колодка 2 відходить від шківів 3 і відбувається розгальмовування механізму. При знятті напруги з обмотки електромагніту пружина 9 притискує колодку 2 до шківів 3, тобто відбувається гальмування механізму, що виключає переміщення його регулюючого органу.

Датчики зворотного зв'язку по положенню служать для отримання електричного сигналу зворотному зв'язку $U_{зв}$, значення якого визначається просторовим положенням регулюючого органу механізму. В механізмі таких датчиків звичайно два: сигнал з одного з них подається на управляючий пристрій УП, де він, підсумовуючись з управляючим сигналом U_c , коректує роботу двигуна відповідно до просторового положення регулюючого органу механізму, а сигнал з іншого датчика подається на дистанційний показчик положення регулюючого органу.

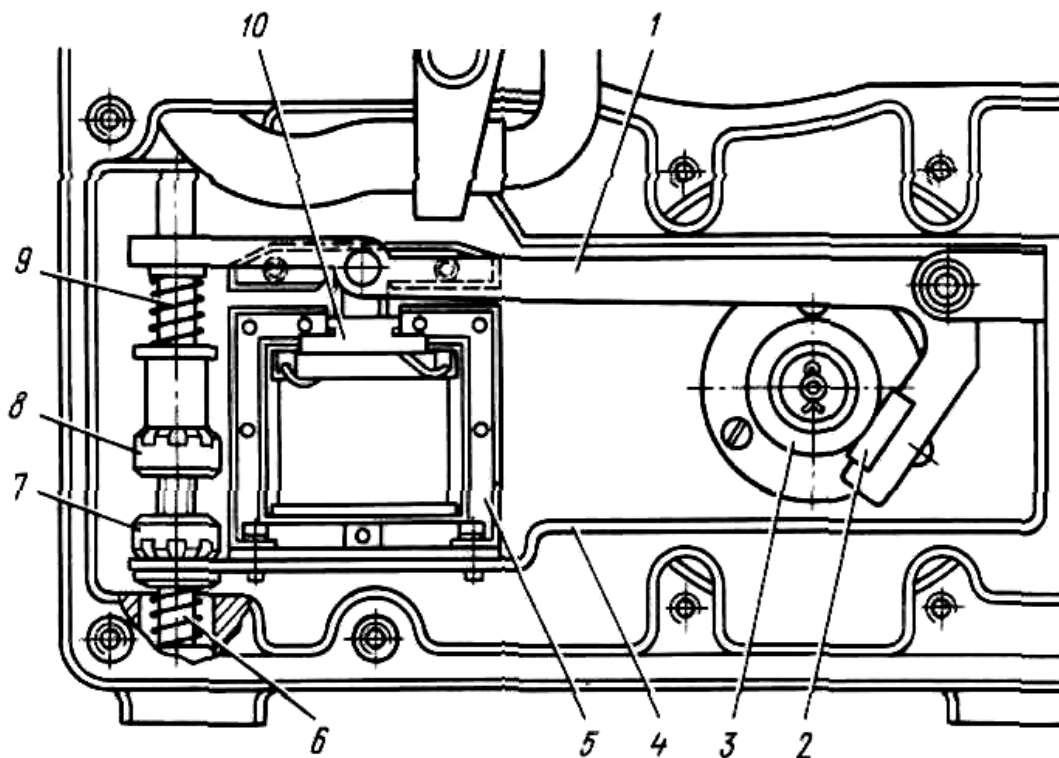


Рисунок 1.3 – Устрій електромагнітного гальма

Датчики зворотного зв'язку по положенню використовують датчики двох типів: реостатні і індукційні. **Реостатний датчик** – це реостат, включений по схемі потенціометра. Положення движка цього датчика відповідає просторовому положенню регулюючого органу механізму.

Основний недолік реостатних датчиків – наявність контакту, що ковзає, який знижує надійність ЕВМ через можливе підгоряння контакту або порушення його через окислення. Більш надійні **індукційні датчики**. Такий датчик складається з двох котушок, включених по диференціальній схемі.

Усередині катушок переміщається сердечник, зв'язаний через профільний кулачок з вихідним валом механізму. Робочий хід цього сердечника 5 мм. При симетричному розташуванні сердечника щодо катушок напруги на висновках обох катушок однакові. При зсуві сердечника від цього положення напруги на катушках стають неоднаковими. Завдяки використуванню кулачка спеціального профілю напруги на катушках змінюються прямо пропорційно куту повороту вихідного валу виконавчого механізму. Датчики зворотного зв'язку вмонтовуються в окремому блоці спільно з кінцевими вимикачами. При підході регулюючого органу механізму до одного з крайніх положень спрацьовують **кінцеві вимикачі**, що відключають електродвигун.

Наявність у виконавчому механізмі контактних елементів помітно знижує його надійність через підгоряння або залипання контакту. Прагнення підвищити надійність ЕВМ привело до створення безконтактних виконавчих механізмів, що не містять в своїх колах контактів, що розмикаються або ковзають. В таких механізмах немає кінцевих вимикачів, а для обмеження крайніх положень вихідного органу механізму застосовані механічні упори. При підході до одного з крайніх положень регулюючий орган механізму стопориться упором. Специфіка роботи безконтактних виконавчих механізмів пред'являє до електродвигуна додаткову вимогу – можливість його роботи в режимі короткого замикання, коли ковзання $s = 1$. В виді таких двигунів використовуються асинхронні конденсаторні двигуни серії ДАУ. Однофазне живлення двигуна спрощує схему управляючого пристрою і самого механізму за рахунок скорочення кількості управляючих елементів. Двигуни серії ДАУ не бояться перевантаження, оскільки для них режим короткого замикання є одним з можливих робочих режимів. Така властивість цих двигунів забезпечується оптимальним вибором форми механічної характеристики, відповідної номінальному ковзанню $s_{ном} \approx 20\%$. При цьому пусковий момент двигуна рівний максимальному, тобто критичне ковзання $s_{кр}=1$

Промисловістю виготовляються різноманітні електричні виконавчі механізми, призначені для роботи в системах загальнопромислової автоматики і системах спеціального призначення. Наприклад, виконавчі механізми типу МЭО (однообертові, тобто з обертальним рухом вихідного органу в межах одного оберту), типу МЕМ (багатообертові, для управління регулюючими органами з гвинтовим шпинделем), типу МЕР (прямохідні, з поступальним рухом вихідного органу).

В табл. 1.1 приведені технічні дані деяких виконавчих механізмів постійної швидкості типу МЭО.

Основу виконавчого механізму типу МЭО (рис. 1.4) складає редуктор, на корпусі 4 якого кріпиться: електродвигун 1, блок датчиків зворотного зв'язку по положенню 3, електромагнітне гальмо 6. Штурвал 5 служить для ручної зупинки регулюючого органу механізму 7. Механізм підключається в схему автоматичного управління за допомогою штуцерного вводу 2.

Таблиця 1.1 – Технічні дані виконавчих механізмів постійної швидкості типу МЭО

| Типорозмір | Номінальний момент, що крутить, Н·м | Час повного ходу, с | Хід вихідного валу, об | Тип двигуна | Вага, кг |
|-------------------|-------------------------------------|---------------------|------------------------|-------------|----------|
| МЭО-40/25-0,63 | 40 | 25 | 0,63 | ДАУ-10С | 20 |
| МЭО-100/25-0,63 | 100 | 25 | 0,63 | ДАУ-25П | 30 |
| МЭО-250/63-0,63 | 250 | 63 | 0,63 | ДАУ-25П | 30 |
| МЭО-250/25-0.63К | 250 | 25 | 0,63 | 4АА56А4 | 95 |
| МЭО-630/63-0,63 | 630 | 63 | 0,63 | ДАУ-63П | 95 |
| МЭО-630/160-0.63К | 630 | 160 | 0,63 | 4АА56А4 | 95 |

Примітка. Буква К в позначенні типорозміру вказує, що механізм контактний.

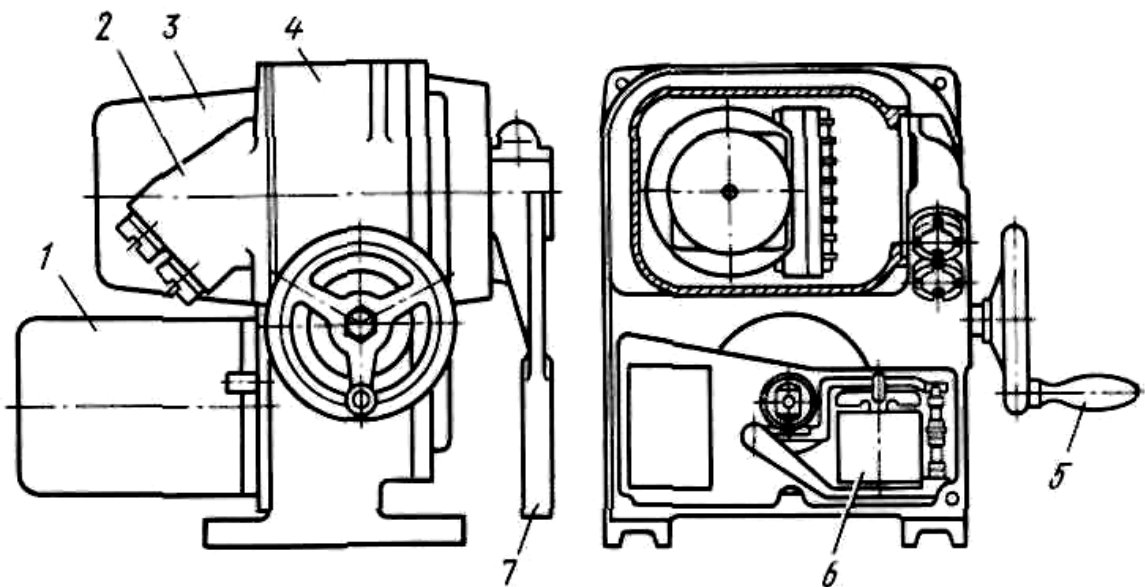


Рисунок 1.4 – Загальний вид безконтактного виконавчого механізму типу МЭО

На рис. 1.5 показана принципова схема безконтактного **ЕВМ**, в якому як приводний двигун **М** застосований асинхронний конденсаторний двигун серії ДАУ. Обмотка збудження **ОВ** цього двигуна через конденсатор **С** включена в сіть змінного струму на напругу 220 В, а обмотка управління **ОУ** разом з обмоткою електромагнітного гальма **ЕГ** підключена до управляючого пристрою **УП**. Туди ж підведені виводи індукційного датчика **ДИ1**. Виводи датчика **ДИ2** підключені до дистанційного показчика положення вихідного органу **ДПП**. Привід регулюючого органу **РО** здійснюється через редуктор **Р**.

2.3 Електроприводи промислових робіт

Електричний привід в промислових роботах за останні роки одержує все більш широке застосування, в тому числі і в автомобільній техніці (особливо при її зборці і обслуговуванні), що пояснюється рядом його переваг в порівнянні з гідро- і пневмоприводами. Електроприводи прості в експлуатації, мають більш низький рівень шуму, в них відсутні трубопроводи.

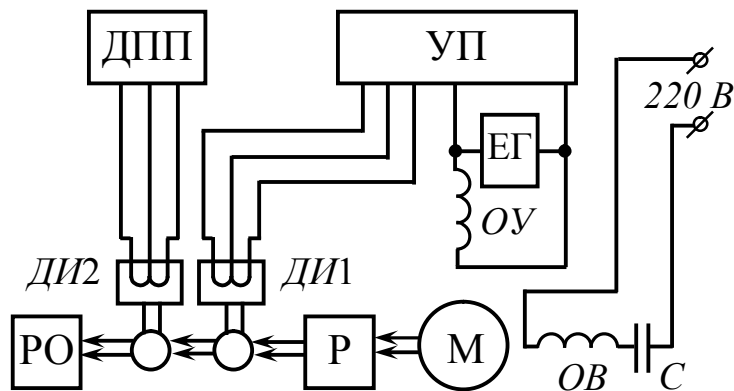


Рисунок 1.5 – Принципова схема безконтактного ЕВМ

В промислових роботах застосовуються електроприводи *дискретної (релейної) і безперервної дії*. **Електроприводи дискретної дії**, не регульовані в процесі роботи, найбільш прості і складаються з редуктора і електродвигуна, що включається в мережу за допомогою реле або пускача. Граничне положення вихідного органу робота з таким приводом фіксується або упором (якщо двигун допускає роботу на «упор»), або кінцевим вимикачем. Передача руху від двигуна до робочого органу здійснюється через редуктор, що знижує частоту обертання і збільшує обертаючий момент, а іноді ще й перетворює обертальний рух в поступальний за допомогою передачі «гвинт-гайка» або рейкової. В **електроприводах безперервної дії** застосовують електродвигуни з регулюванням їх частоти обертання, наприклад, двигуни постійного струму незалежного збудження, що мають добрі регульовальні властивості. Одна із специфічних особливостей роботи електроприводу промислового робота – змінне навантаження на валу двигуна. Щоб швидкість переміщення виконавчого органу робота в умовах змінного навантаження залишалася практично незмінною, необхідно застосовувати в електроприводі або двигун з жорсткою механічною характеристикою, або використовувати в схемі управління двигуном блок стабілізації частоти обертання. Висока точність переміщення виконавчого органу забезпечується застосуванням в електроприводі *крокових двигунів*. В цьому випадку точність відтворення роботом заданих рухів визначається величиною кроку двигуна.

Для промислових робіт, призначених для автоматизації операцій по переміщенню деталей і вузлів, доцільно застосовувати модулі. Модулі можна

встановлювати окремо або компонувати з них нескладні конструкції промислових роботів. Показові приклади таких модулів – модуль «мотор-палець» і модуль «мотор-рука» [2]. Ці модулі прості по конструкції і складаються з асинхронного двигуна, суміщеного з редуктором, і вихідного штока, що виконує поступальний рух.

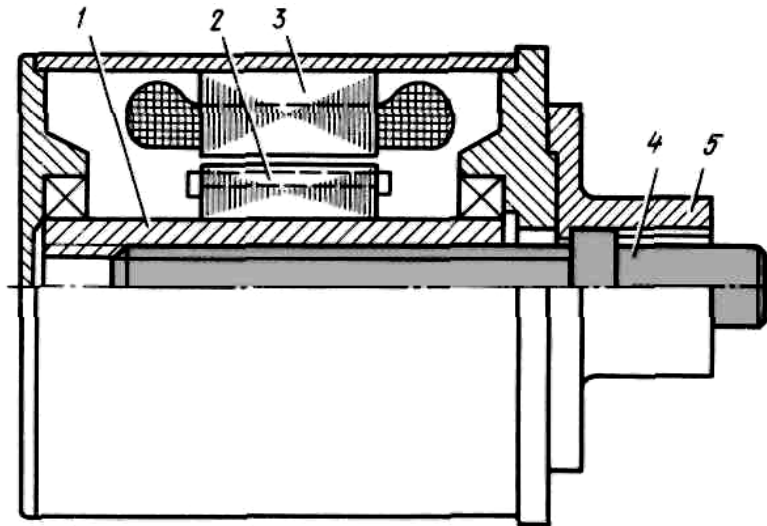


Рисунок 1.6 – Устрій модулю «мотор-палець»

Модуль «мотор-палець» (рис. 1.6) виконується на зусилля 50 – 200 Н з ходом штока 15 – 50 мм. Статор 3 цього модуля має обмотку, при включенні якої в мережі створюється магнітне поле, що обертається. На зовнішній поверхні полого валу 1 розташований сердечник ротора 2 з короткозамкнутою обмоткою. На внутрішній поверхні валу 1 і зовнішній поверхні штока 4 є різьба. При цьому шток 4 угвинчується в полий вал 1, як гвинт в гайку. При включенні двигуна обертовий рух ротора 2 перетворюється в поступальний рух штока 4. Внутрішній отвір фланця 5 має паз шпони, що запобігає обертанню штока 4. При підході штока до крайніх положень зусилля на штоку демпфуються пружинами, розташованими або безпосередньо в модулі, або зовні нього. Якщо необхідно зафіксувати крайні положення штока, то застосовують кінцеві вимикачі, що розташовуються зовні модуля. На базі модуля «мотор-палець» при додаванні затискного механізму, що приводиться в дію вихідним штоком модуля, виготовляється захватний пристрій, призначений для захоплення деталі при її транспортуванні. Наприклад, в захватному клиновому механізмі (рис. 1.7) деталь 5 захоплюється кліщами 4, які приводяться в дію клином 2, закріпленим на штоку 1 модуля «мотор-палець». Для захоплення деталі шток 1 подають вперед і клин 2, який просувається між роликами 3, затискає кліщами 4 деталь 5. При русі штока назад клин звільняє кліщі, які під дією пружини розтискаються.

Модуль «мотор-рука» виконується на робочі зусилля до 10 кН з ходом, штока до 800 мм. Принцип дії цього модуля аналогічний дії модуля «мотор-палець», але конструктивно відрізняється через значне зусилля і великий хід

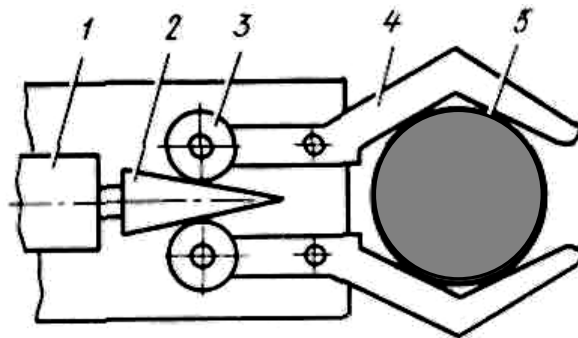


Рисунок 1.7 – Устрій захватного клинового механізму

штока. Ротор 3 трифазного асинхронного двигуна (рис. 1.8) через редуктор 4 обертає ходовий гвинт 7. Гайка 6 переміщається по ходовому гвинту і приводить в поступальний рух вихідний шток 1. Тарільчаті пружини 5 запобігають ударам штока в його крайніх положеннях. Гальмо 2 фрикційним типом з електромагнітним управлінням запобігає вільне пересування ротора при відключенні двигуна. Кінцеві вимикачі розташовують зовні модуля.

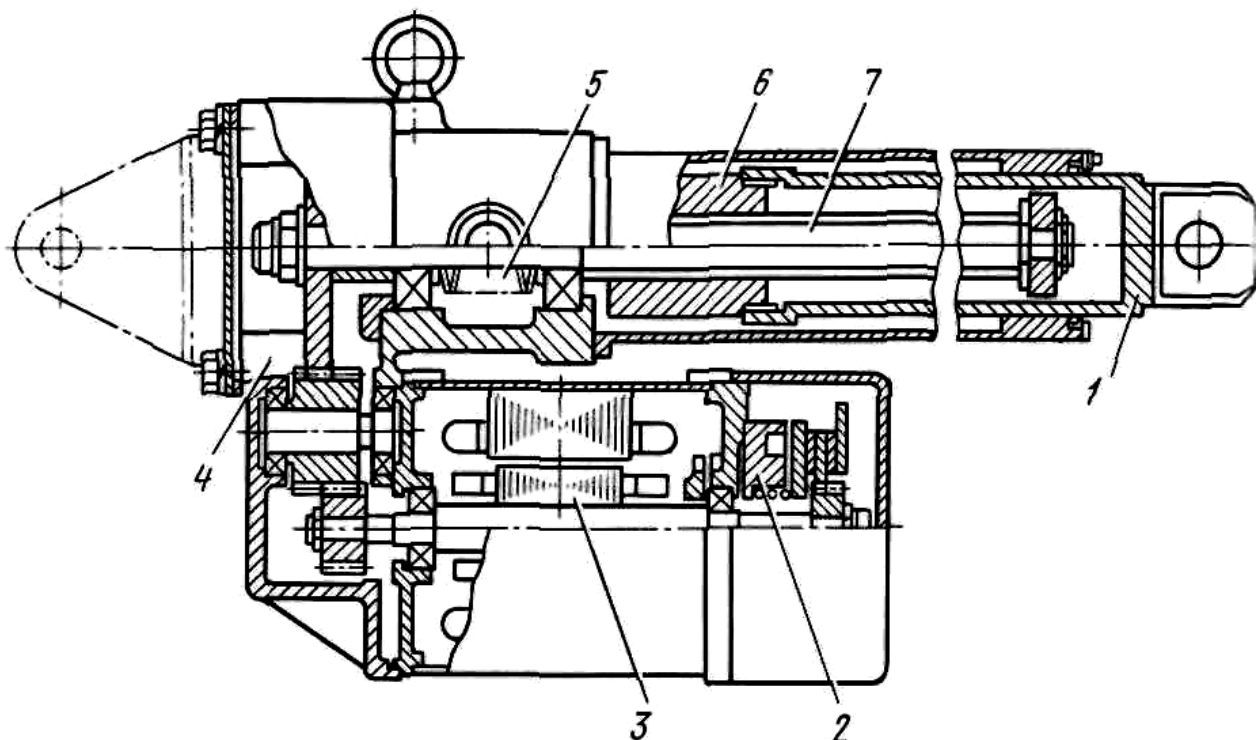


Рисунок 1.8 – Устрій модулю «мотор-рука»

Для подальшого удосконалення модуля в ньому застосовують два двигуни на різні частоти обертання або один, двохшвидкісний двигун: при наближенні штока до заданої точки двигун перемикається на меншу частоту обертання, що сприяє більш точній фіксації штока в заданій точці. Для перемикання двигуна з однієї частоти обертання на іншу використовують шляховий перемикач. Перспективно також використовувати в електроприводі промислових роботів *лінійні асинхронні двигуни*.

Застосування двигунів постійного струму в електроприводі промислових роботів забезпечує добре регулювання частоти обертання і обертаючого моменту. Особливий інтерес представляють двигуни, які збуджуються постійними магнітами, мають найпростішу схему з'єднання і мінімальні габарити. Застосування двигунів постійного струму має ще і ту перевагу, що дозволяє виконати промисловий робот автономним, забезпечивши його акумуляторною батареєю. Переважно в автомобілях в якості електроприводу використовують двигуни постійного струму.

Контрольні питання

1. Яка особливість роботи електроприводу в системі автоматичного управління?
2. З яких елементів складається електричний виконавчий механізм?
3. Які двигуни використовуються в електроприводі промислових роботів. Переваги кожного.
4. Пояснити устрій та принцип дії модулів «мотор-палець», «мотор-рука».
5. Пояснити принцип роботи безконтактного ЕВМ.
6. Пояснити особливості роботи електроприводу дискретної і безперервної дії.
7. Пояснити принцип роботи електромагнітного гальма.
8. Який основний недолік реостатних датчиків?
9. Які існують види датчиків зворотного зв'язку?
10. Пояснити принцип роботи пристрою захватного клинового механізму.
11. Дати визначення системі автоматизованого управління. Які пристрої входять до її структурної схеми?

3 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

3.1 Нагрівання електродвигунів

Всі види втрат потужності в двигуні перетворюються в теплоту, яка частково віддається в навколишнє середовище, а частково йде на нагрівання двигуна. Якщо умовно вважати, що нагрів відбувається рівномірно по всьому об'єму двигуна, а теплота однаково розсівається по всій його поверхні, то рівняння теплового балансу буде мати вид:

$$Qdt = G_{\text{дв}}cd\tau + S\lambda\tau dt \quad (3.1)$$

де Qdt – кількість теплоти, що виділяється в двигуні за час dt ;

$G_{\text{дв}}cd\tau$ – кількість теплоти, що витрачається на нагрівання двигуна;

$G_{\text{дв}}$ – маса двигуна;

c – питома теплоємність, що визначає кількість теплоти, необхідну для нагрівання 1 кг речовини на 1°C ;

τ – перевищення температури двигуна над температурою Θ_1 навколишнього середовища;

$S\lambda\tau dt$ – кількість теплоти, що розсіюється з поверхні двигуна в навколишній простір;

S – площа поверхні двигуна, з якою розсіюється теплота;

λ – коефіцієнт теплового розсіяння, що є кількістю теплоти, що розсіюється з одиниці поверхні в 1 с при перевищенні температури на 1°C . В початковий період роботи двигун має температуру, практично не відмінну від температури навколишнього середовища, тобто $\tau \approx 0$. В цьому випадку $S\lambda\tau dt \approx 0$ і вся теплота, що виділяється в двигуні, йде на підвищення його температури. У міру підвищення температури двигуна кількість теплоти, що розсіюється в навколишнє середовище, збільшується. Коли перевищення температури двигуна над температурою навколишнього середовища досягне $\tau_{\text{ст}} = \Theta_{\text{ст}} - \Theta_1$ (де $\Theta_{\text{ст}}$ – стала температура двигуна), то вся теплота, що виділяється в двигуні, розсіватиметься в навколишнє середовище. При цьому подальше підвищення температури двигуна припиниться, $d\tau = 0$ і наступить режим *теплової рівноваги*:

$$Qdt = S\lambda\tau_{\text{ст}} dt. \quad (3.2)$$

З виразу (3.2) витікає, що $\tau_{\text{ст}}$ не залежить від маси двигуна, а визначається кількістю теплоти, що виділяється в двигуні в одиницю часу, площею охолодження і коефіцієнтом теплового розсіяння λ .

Залежність перевищення температури двигуна τ над температурою навколишнього середовища від часу t виражається залежністю:

$$\tau = \tau_{cm} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_n}} \right) \quad (3.3)$$

де $e = 2,718$ – основа натуральних логарифмів;
 T_n – стала часу нагрівання.

Крива нагрівання $\tau = f(t)$, зображена у відповідності з виразом (3.3), показує, що електродвигун досягає сталої температури тільки після закінчення досить довгого проміжку часу (рис. 3.1). Провівши дотичну до кривої нагрівання $\tau = f(t)$, в її початковій частині отримаємо відрізок, рівний в масштабі температур постійної нагрівання T_n , що представляє собою час, за який двигун нагрівається до температури, рівної $0,632 \tau_{cm}$. Якщо припиниться нагрівання двигуна, наприклад, при відключенні двигуна від мережі, то рівняння теплового балансу запишемо у вигляді:

$$0 = G_{\delta\sigma} c d\tau + S\lambda\tau dt,$$

або

$$-G_{\delta\sigma} c d\tau = S\lambda\tau dt, \quad (3.4)$$

тобто випромінювання теплоти з поверхні двигуна відбувається за рахунок накопиченої в ньому теплоти, тому двигун починає охолоджуватися.

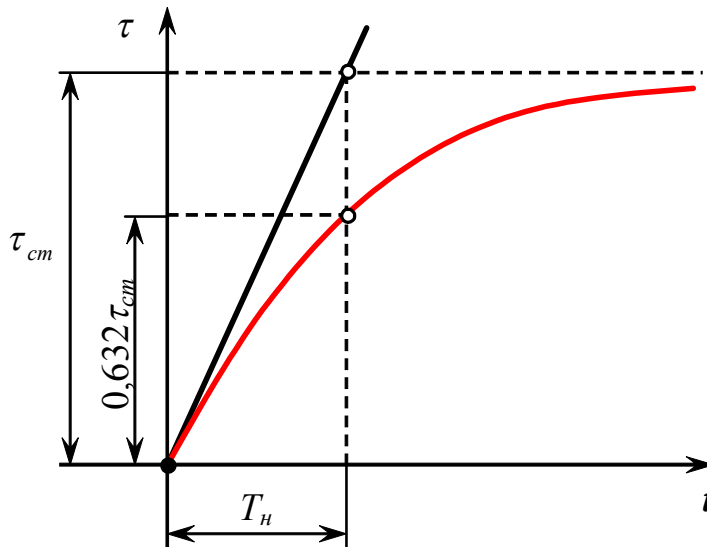


Рисунок 3.1 – Графік нагріву електродвигуна

Зміна температури в процесі охолодження двигуна відбувається згідно виразу:

$$\tau = \tau_{cm} e^{-\frac{t}{T_n}}. \quad (3.5)$$

Найбільш чутлива до перегріву електрична ізоляція обмоток двигуна. Під дією високих температур відбувається теплове старіння ізоляції, яке супроводиться погіршенням її ізоляційних і механічних властивостей.

Електроізоляційні матеріали, що використовуються в електричних машинах, *поділяються на шість класів нагрівостійкості*. Нижче приведені класи нагрівостійкості і відповідні їм допустимі граничні температури нагріву, при яких ізоляція надійно працює тривалий час (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Класи нагрівостійкості ізоляції

| Клас нагрівостійкості ізоляції | A | E | B | F | H | C |
|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------|
| Гранично допустима температура, °C | 105 | 120 | 130 | 155 | 180 | більше 180 |

Практичне застосування в двигунах сучасних серій має ізоляція класів *B, F і H*.

Клас нагрівостійкості A. В нього входять бавовняні тканини, пряжа, папір і волоконні матеріали з целюлози і шовку, просочені або занурені в рідкий електроізоляційний матеріал. Гранично допустима температура 105°C.

Клас нагрівостійкості E. Деякі синтетичні органічні плівки, а також відповідні даному класу інші матеріали. Гранично допустима температура 120°C.

Клас нагрівостійкості B. Він включає матеріали з слюди, азбесту і скловолокна, що містять органічні пов'язані речовини. Гранично допустима температура 130°C.

Клас нагрівостійкості F. Ті ж матеріали, як в класі *B*, які застосовуються в поєднанні з синтетичними зв'язуючими і просочуючими складами. Гранично допустима температура 155°C.

Клас нагрівостійкості H. Ті ж матеріали, але в поєднанні з кремнеорганічними зв'язуючими і просочуючими складами. Гранично допустима температура 180°C.

Клас нагрівостійкості C. Слюда, керамічні матеріали, скло, кварц, які застосовуються без зв'язуючих речовин або з неорганічними зв'язуючими речовинами. Гранично допустима температура більш 180°C і обмежується фізичними, хімічними або електричними властивостями матеріалу.

Перевищення вказаних температур неприпустимо, оскільки це веде до руйнування ізоляції і скорочення терміну служби двигунів.

Сильний перегрів двигуна може негативно вплинути і на інші його частини (колектор, підшипники і т. д.). Встановлені гранично допустимі перевищення температури різних частин електричних машин (ГОСТ 183–74). При цьому за температуру навколишнього середовища приймається температура 40°C. Виходячи з цього, температура нагріву якої-небудь частини двигуна при відомій температурі перегріву дорівнює:

$$Q_{уст} = \tau_{ст} + 40. \quad (3.6)$$

За способом охолодження електродвигуни розділяють на двигуни з природним охолодженням і двигуни з штучним охолодженням (рис. 3.2).

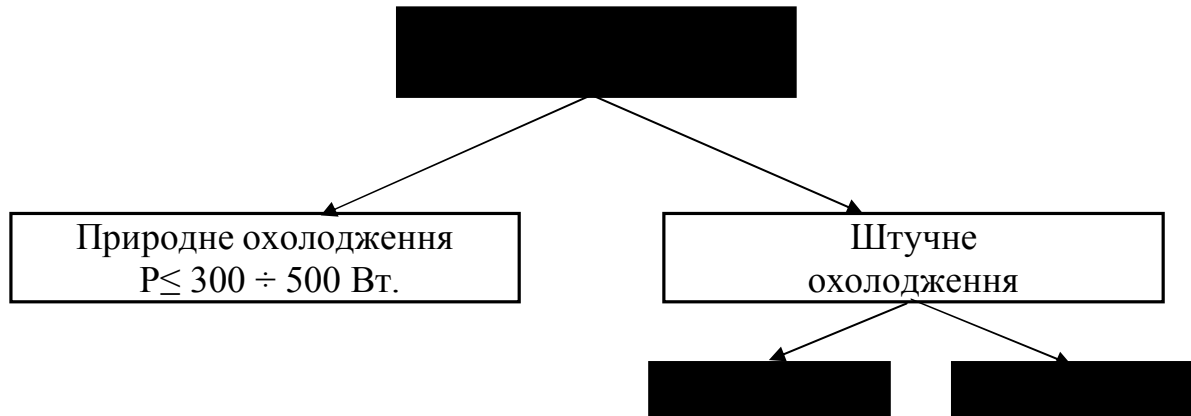


Рисунок 3.2 – Класифікація електродвигунів за способом охолодження

Двигуни з природним охолодженням не мають вентиляторів або яких-небудь інших пристроїв, що сприяють інтенсивному охолодженню. З природним охолодженням виготовляють двигуни потужністю не більше 300 – 500 Вт. В електродвигунах з штучним охолодженням на валу розташований відцентровий вентилятор. В процесі роботи двигуна вентилятор обертається і створює рух повітря, що охолоджує нагріті частини двигуна. Вентиляція буває (рис. 3.2) зовнішньою (коли повітря, що охолоджує обдуває зовнішню поверхню двигуна) і внутрішньою (коли повітря, що охолоджує проходить через внутрішню порожнину машини).

3.2 Номінальні режими роботи двигуна

Згідно ГОСТ 183–74 існує три основні номінальні режими роботи двигуна, які розрізняються характером зміни навантаження:

1) **тривалий номінальний режим** – режим роботи при незмінному номінальному навантаженні $P_{ном}$, який продовжується стільки часу, що температура нагріву всіх частин машини досягає сталих значень. Діаграма навантаження тривалого номінального режиму показана на рис. 3.3, а. Умовне позначення режиму $S1$;

2) **короткочасний номінальний режим** – режим роботи, при якому періоди незмінного номінального навантаження чередуються з періодами відключення двигуна. При цьому періоди навантаження двигуна t_n настільки короткочасні, що температури всіх частин двигуна не досягають сталих значень, а періоди відключення двигуна настільки тривалі, що всі частини

двигуна встигають охолочитися до температури навколишнього середовища (рис. 3.3, б). Умовне позначення режиму S2;

3) **повторно-короткочасний номінальний режим** – режим роботи, при якому короткочасні періоди номінального навантаження двигуна t_n чередуються з періодами відключення двигуна (паузами) t_n , причому за період навантаження перевищення температури всіх частин не встигає досягти сталих значень, а за час паузи частини двигуна не встигають охолочитися до температури навколишнього середовища. Загальний час роботи двигуна в повторно-короткочасному режимі розділяється на цикли t_u , що періодично повторюються $t_u = t_n + t_n$. Умовне позначення режиму S3. При повторно-короткочасному режимі роботи двигуна графік його нагрівання має вид пілкоподібної кривої (рис. 3.3, в). При досягненні двигуном сталих значень температури відповідних повторно-короткочасному режиму $\tau_{см.к}$, температура перегріву двигуна продовжує коливатися від τ_{min} до τ_{max} , при цьому вона менше сталої температури перегріву при номінальному тривалому режимі роботи $\tau_{см}$.

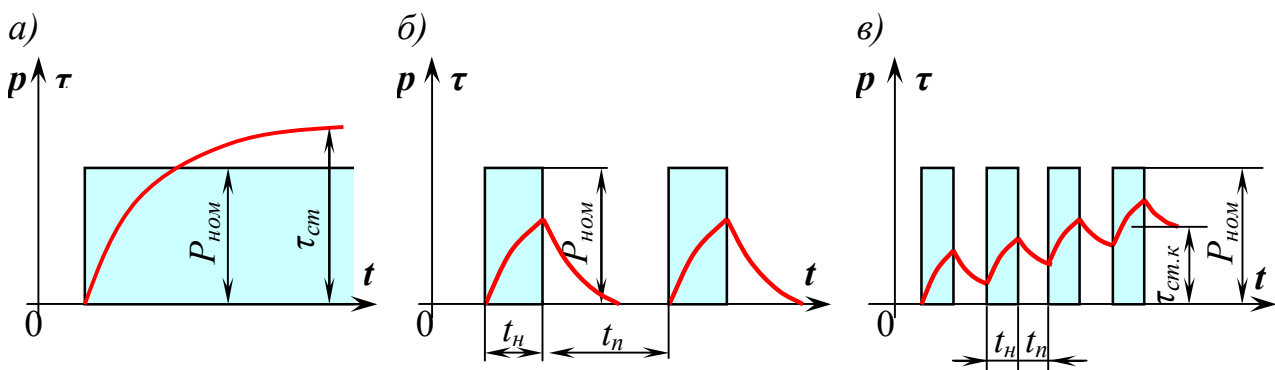


Рисунок 3.3 – Діаграми навантажень електродвигунів при тривалому (а), короткочасному (б), і повторно-короткочасному номінальних режимах (в)

Повторно-короткочасний режим характеризується відносною тривалістю включення %:

$$ПВ = \left(\frac{t_n}{t_u} \right) \cdot 100. \quad (3.7)$$

Згідно ГОСТ 183–74 передбачені номінальні повторно-короткочасні режими з ПВ 15, 25, 40, 60%. Для тривалого режиму ПВ – 100%.

Оскільки при номінальних короткочасному і повторно-короткочасному режимах температура перегріву двигуна нижче, ніж при номінальному тривалому режимі, то при перемиканні двигуна з тривалого в повторно-короткочасний режим роботи корисна потужність двигуна може бути збільшений при ПВ = 60% на 30%, при ПВ = 40% на 60%, при ПВ = 25% в два рази, при ПВ = 15% в 2,6 рази.

Окрім розглянутих трьох номінальних режимів є ще шість повторно-короткочасних і змішаних режимів.

3.3 Чинники, що впливають на вибір двигуна

Вибір двигуна до електроприводу полягає у визначенні типу двигуна і його номінальних даних: потужності, номінальних значень напруги і частоти обертання, перевантажувальної здатності і т.п. Правильний вибір приводного двигуна забезпечує електроприводу тривалу надійну роботу у всіх заданих режимах. Вибір двигуна пов'язаний із задоволенням ряду вимог, які визначаються параметрами мережі живлення, способом монтажу двигуна, зовнішніми умовами його експлуатації, режимом роботи електроприводу.

Параметри мережі живлення визначають вибір типу двигуна (постійного або змінного струму, однофазний або трифазний) і його номінальну напругу.

Спосіб монтажу і зовнішні умови експлуатації визначають конструкцію двигуна (двигун на лапах або фланцевого кріплення, закритого або захищеного виконання) і його кліматичне виконання (для помірного, холодного, тропічного клімату і т. п.).

Режим роботи електроприводу визначає вимоги до динамічних і статичних властивостей двигуна. Вимоги до динамічних властивостей двигуна залежать від частоти пуску і гальмування, характеру прикладення навантаження до двигуна і його зняття. Наприклад, при частих пусках і гальмуванні потрібен двигун з малим моментом інерції ротора (якоря), тобто з невеликим маховим моментом GD^2 (де G і D – відповідно маса ротор і його зовнішній діаметр).

Статичні властивості двигуна оцінюються механічною характеристикою, тобто залежністю частоти обертання n від електромагнітного моменту M або струму якоря I_a . Залежно від виду механічної характеристики всі електродвигуни розділяють на три групи:

1) *електродвигуни з абсолютною жорсткою механічною характеристикою*, що має вид прямої, паралельної осі абсцис (рис. 3.4, а, пряма 1). Таку механічну характеристику мають синхронні двигуни, у яких частота обертання у всьому діапазоні допустимих моментів навантажень залишається постійною;

2) *електродвигуни з жорсткою механічною характеристикою*, у яких збільшення моменту навантаження на валу супроводиться незначним зменшенням частоти обертання. Таку характеристику мають асинхронні двигуни загального призначення (рис. 3.4, а, крива 2) і двигуни постійного струму незалежного (паралельного) збудження (рис. 3.4, б), пряма 1);

3) *електродвигуни з м'якою механічною характеристикою*, у яких із зростанням навантаження частота обертання зменшується в значній мірі. Таку характеристику мають асинхронні двигуни з підвищеним активним опором в

колі обмотки ротора. Наприклад, асинхронні виконавчі двигуни (рис. 3.4, а, пряма 3), двигуни постійного струму послідовного збудження (рис. 3.4, б, крива 2) і паралельного збудження з додатковим резистором в колі якоря (рис. 3.4, б), пряма 3).

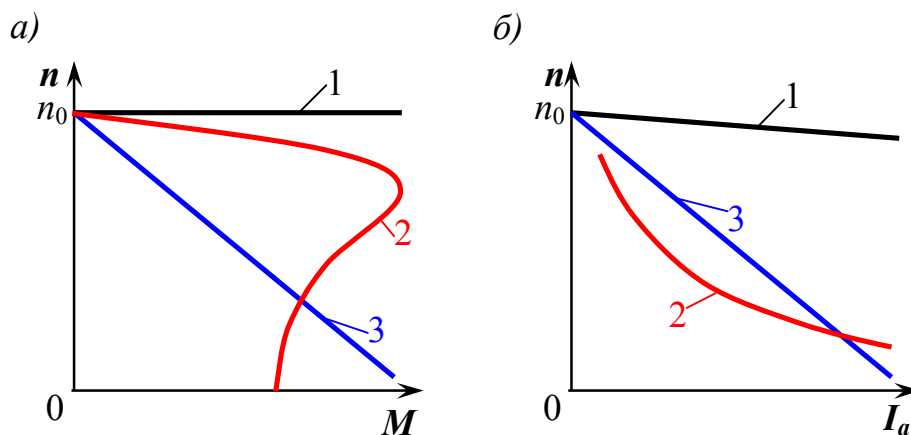


Рисунок 3.4 – Механічні характеристики асинхронного і синхронного двигунів (а) і електромеханічні характеристики двигунів постійного струму (б)

Вибір типу двигуна слід починати з розгляду питання про можливість використання трифазного асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором, оскільки ці двигуни найбільш прості по конструкції, надійні, мають високі енергетичні показники.

Недоліки цих двигунів: невеликий пусковий момент і великий пусковий струм, який в 5 – 7 раз перевищує номінальне значення робочого струму.

В електроприводі великої потужності виправдовується застосування трифазних синхронних двигунів, що мають найвищі енергетичні показники (ККД і коефіцієнт потужності). При необхідності регулювання частоти обертання слід розглянути питання про доцільність застосування в електроприводі трифазного асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором спільно з регульованим перетворювачем частоти, трифазного асинхронного двигуна з фазним ротором, або двигуна постійного струму незалежного збудження.

Основні недоліки двигунів постійного струму: необхідність в джерелі постійного струму, підвищена вартість, необхідність в систематичному обслуговуванні в процесі експлуатації, знижена надійність через часті неполадки у щіточно-колекторному вузлі, неможливість установки у вибухово- і пожежонебезпечних середовищах, завади радіоприйому, для послаблення яких доводиться застосовувати спеціальні заходи. Проте двигуни постійного струму перевершують асинхронні двигуни з коротко-замкнутим ротором по регульовальних і пускових властивостях.

3.4 Вибір двигуна по потужності

При виборі двигуна по потужності слід прагнути, щоб номінальна потужність двигуна була достатньо близька до необхідної потужності. Вибір двигуна з номінальною потужністю, яка набагато перевищує потрібну, призводить до того, що двигун протягом всього періоду експлуатації працює недовантаженим, а отже, з низькими значеннями ККД і коефіцієнта потужності, що веде до невиправданих експлуатаційних витрат, при цьому зростають габаритні розміри, маса і вартість електроприводу. Визначаючи необхідну номінальну потужність приводного двигуна, спочатку обчислюють його розрахункову потужність $P_{роз}$. Методика визначення $P_{роз}$ залежить від режиму роботи електроприводу.

Якщо режим роботи електроприводу тривалий з постійним моментом навантаження, то розрахункова потужність приводного двигуна (кВт) дорівнює:

$$P_{роз} = M_c \omega \cdot 10^{-3} = 0,105 \cdot 10^{-3} \cdot M_c n_2, \quad (3.8)$$

де M_c – статичний момент, Н·м;

n_2 – частота обертання валу двигуна, об/хв.

По каталогу на електродвигуни прийнятого принципу дії з урахуванням напруги і частоти обертання вибирають двигун з номінальною потужністю, яка на 10 – 20% перевищує розрахункову, тобто $P_{ном} = (1,1 \div 1,2) P_{роз}$.

Якщо режим роботи електроприводу повторно-короткочасний, то розрахункова потужність двигуна $P_{роз}$ вибирається залежно від відносної тривалості, як показано нижче (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Розрахункова потужність двигуна для повторно-короткочасний режиму роботи

| ПВ, % | 15 | 25 | 40 | 60 |
|------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| $P'_{роз}$ | $0,4 P_{роз}$ | $0,5 P_{роз}$ | $0,62 P_{роз}$ | $0,77 P_{роз}$ |

Примітка: $P_{роз}$ – розрахункова потужність двигуна для тривалого режиму роботи (3.8).

Вибраний тип двигуна слід перевірити на перевантажувальну здатність і на величину початкового пускового моменту. Мінімально допустиме значення перевантажувальної здатності двигуна $\lambda = \frac{M_{max}}{M_{ном}} \geq 1,5$ (якщо за умов роботи електроприводу не потрібне ще більше значення перевантажувальної здатності).

В таблиці 3.3 приведені значення коефіцієнтів миттєвого перевантаження двигунів.

Короткочасне перевантаження двигунів постійного струму визначається умовами комутації на колекторі, а асинхронних і синхронних двигунів – їх максимальним електромагнітним моментом.

Таблиця 3.3 – Значення коефіцієнтів миттєвого перевантаження двигунів

| Тип двигуна | Коефіцієнт перевантаження по моменту |
|---|---|
| Двигуни постійного струму | 2 (для спеціальних типів до 3 – 4) |
| Асинхронні двигуни з контактними кільцями | 2 – 2,5 |
| Асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором нормального виконання | 1,7 – 2,5 |
| Короткозамкнуті двигуни з подвійною кліткою або з глибоким пазом | 1,7 – 2,6 |
| Синхронні двигуни | 2 – 2,5 (для спеціальних типів до 3 – 4) |
| Колекторні двигуни змінного струму | 2 – 2,5 |

Якщо режим роботи електроприводу тривалий із змінним навантаженням, то навантаження на валу двигуна змінне, тобто статичний момент електроприводу змінюється в часі. При цьому у приводному двигуні має місце несталий тепловий процес (рис. 3.5), оскільки в різні відрізки часу t_1, t_2, t_3 втрати потужності неоднакові. Графік нагрівання двигуна $\tau = f(t)$, в цьому режимі має вид ламаної кривої лінії.

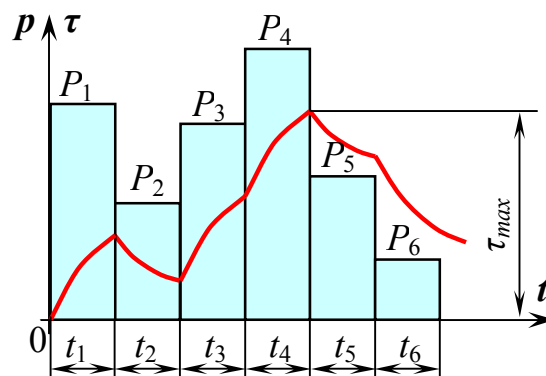


Рисунок 3.5 – Графік змінного навантаження електродвигуна

Для визначення необхідної номінальної потужності приводного двигуна в цьому режимі поступають таким чином. Спочатку визначають попереднє розрахункове значення потужності двигуна, кВт:

$$P'_{роз} = \frac{(P_1 + P_2 + \dots)}{n_1}, \quad (3.9)$$

де $P_1, P_2 \dots$ – потужності на валу двигуна в різні відрізки часу, кВт;

n_1 – кількість відрізків часу, відповідних різним потужностям на валу двигуна.

По отриманому значенню $P'_{роз}$, заздалегідь вибирають приводний двигун, номінальна потужність якого на 10 – 20% перевищує $P'_{роз}$, тобто $P'_{ном} = (1,1 \div 1,2)P'_{роз}$. Потім, користуючись технічними даними вибраного типу двигуна, визначають уточнене значення розрахункової потужності $P_{роз}$. Для цього використовують метод *еквівалентного струму*, заснований на тому, що електричні втрати двигуна пропорційні квадрату струму навантаження, тобто $\sum P_{зм} = c_p I^2$, де c_p – коефіцієнт пропорційності між струмом навантаження двигуна і потужністю змінних втрат. Скориставшись графіком змінного навантаження двигуна (рис. 3.5), запишемо формулу для розрахунку сумарних втрат енергії за весь час роботи електроприводу:

$$\sum W_{зм} = (\sum P_{ном} + c_p I_1^2) t_1 + (\sum P_{ном} + c_p I_2^2) t_2 + (\sum P_{ном} + c_p I_3^2) t_3 + \dots + (\sum P_{ном} + c_p I_n^2) t_n; \quad (3.10)$$

де $\sum P_{ном}$ – сумарні втрати двигуна, рівні сумі магнітних і механічних втрат;

I_1, I_2, I_3, \dots – струми, які споживаються двигуном у відрізки часу t_1, t_2, t_3, \dots – відповідно.

Якби приводний двигун працював протягом часу t з постійним навантаженням, то втрати енергії в ньому визначались би виразом:

$$\sum W_{ном} = (\sum P_{ном} + c_p I_{екв}^2) t; \quad (3.11)$$

де $I_{екв}$ – еквівалентний струм двигуна, працюючи з яким при постійному навантаженні двигун за час t нагрівається до такої ж температури, як і при роботі із змінним навантаженням за той же час.

Таким чином, втрати енергії в двигуні при роботі з тривалим змінним навантаженням згідно графіку навантаження за час t , рівні втратам енергії цього ж двигуна, що працює з постійним навантаженням і струмом $I_{екв}$, тобто $\sum W_{зм} = \sum W_{ном}$. Використовуючи вирази (3.10) і (3.11), після відповідних перетворень отримаємо вираз для еквівалентного струму (А):

$$I_{екв} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + I_3^2 t_3 + \dots + I_n^2 t_n}{t}}. \quad (3.12)$$

Струм $I_{екв}$ не повинен перевищувати номінальний струм заздалегідь вибраного двигуна ($I_{екв} \leq I_{ном}$). Якщо ця умова не виконується, то слід вибрати тип двигуна з більшою номінальною потужністю.

Метод еквівалентного струму при визначенні номінальної потужності приводного двигуна припускає постійність магнітних і механічних

втрат $\sum P_{\text{вост}} = \text{const}$. Якщо ж двигун працює при магнітних і механічних втратах, які змінюються, то метод дає значну помилку. Це відноситься, наприклад, до двигунів з послідовним збудженням, в яких зміна струму якоря супроводиться зміною магнітного потоку, а отже, і зміною величини магнітних втрат.

Вибраний по каталогу двигун слід перевірити на перевантажувальну здатність, тобто переконатися, що найбільший момент навантаження, визначуваний діаграмою (рис. 3.5) навантаження, не порушить стійкої роботи двигуна. При цьому необхідно врахувати можливі пониження напруги в мережі живлення. Двигун також потрібно перевірити по величині початкового пускового моменту з урахуванням як статичного моменту навантаження, так і динамічного моменту.

Докладніше розрахунок потужності і вибір приводних електродвигунів приведені четвертому розділі.

При виборі приводного електродвигуна слід мати на увазі спосіб монтажу і виконання двигуна по виду захисту: горизонтальне або вертикальне розташування валу, монтаж двигуна на лапах або за допомогою фланця на передньому підшипниковому щиті, закрите або захищене виконання, або ж двигун вибухозахищеного виконання.

При виборі асинхронних двигунів слід скористатися каталогом на трифазні асинхронні двигуни серії 4А, а при виборі двигуна постійного струму – каталогом на машини постійного струму серії 2П. Двигуни вказаних серій є найбільш вдосконаленими по своїм техніко-економічним показникам і широко застосовуються у всіх галузях народного господарства. Якщо ж двигуни вказаних серій не задовольняють вимогам, що пред'являються, то слід вибрати двигун якої-небудь серії спеціального призначення.

Контрольні питання

1. Що називають електроприводом і з яких елементів він складається?
2. Яка дія динамічного моменту на роботу електроприводу?
3. Як розрахувати необхідну потужність двигуна при різних режимах його роботи?
4. Коли настає режим теплової рівноваги?
5. Поясніть основні складові рівняння теплового балансу.
6. Який графік нагрівання має електродвигун?
7. Дайте визначення сталій часу нагріву?
8. Охарактеризуйте класи нагрівостійкості електроізоляційних матеріалів.
9. Які існують номінальні режими роботи електродвигунів?
10. На які групи поділяються електродвигуни в залежності від виду механічної характеристики?

4. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКУ ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНІВ ТА ЇХ ВИБІР ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Задача № 1. Для приводу виконавчого механізму, що управляє положенням заслонки трубопроводу для СТО автотранспортних засобів, необхідно вибрати трифазний асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором на напругу U_1 , В. Режим роботи двигуна короткочасний: періоди роботи з моментом навантаження на валу M_c , Н·м при частоті обертання n_2 , об/хв. тривалістю t_n , хв., які чергують з паузами, за час яких двигун охолоджується до температури навколишнього середовища (див. рис. 3.3, б). Перевантажувальна здатність повинна бути не менше λ .

Розв'язання. Потужність на валу двигуна в період навантаження:

$$P_n = 0,105 \cdot 10^{-3} M_c n_2, \text{ кВт.}$$

З урахуванням короткочасного режиму заздалегідь вибираємо трифазний асинхронний двигун типу (наприклад) 4А80А4УЗ з номінальними даними: $P_{ном}$, кВт, $n_{ном}$, об/хв, $\eta_{ном}$, $\cos \varphi_1$ λ .

Номінальний момент навантаження двигуна:

$$M_{ном} = \frac{9,55 \cdot 10^3 P_{ном}}{n_{ном}}, \text{ Н·м.}$$

Номінальний струм в обмотці статора двигуна:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном} \cdot 10^3}{3U_1 \eta_{ном} \cos \varphi_1}, \text{ А.}$$

По робочих характеристиках двигуна визначаємо значення ККД η_n і коефіцієнта потужності, відповідні навантаженню P_n , кВт.

Перевантажувальна здатність двигуна при моменті навантаження M_c , Н·м:

$$\lambda_c = \frac{M_{max}}{M_c} = \frac{\lambda}{\frac{M_c}{M_{ном}}}$$

Отже, перевантажувальна здатність задовольняє (не задовольняє) умовам задачі. Якщо не задовольняє, тоді необхідно вибрати інший двигун більшої потужності.

Втрати двигуна в номінальному режимі:

$$\sum P_{ном} = P_{ном} \left(\frac{1 - \eta_{ном}}{\eta_{ном}} \right), \text{ кВт.}$$

Втрати двигуна в режимі перевантаження (P_n , кВт):

$$\sum P_n = P_n \left(\frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right), \text{ кВт.}$$

Стала часу нагрівання двигуна, що працює в короткочасному режимі (T_n , хв.) для потужності P_n , кВт, дорівнює:

$$T_n = \frac{t_n}{\ln \frac{\sum P_n}{\sum P_n - \sum P_{ном}}}, \text{ хв.}$$

Струм в обмотці статора двигуна при навантаженні P_n , кВт:

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{3U_1 \eta_n \cos \varphi_n}.$$

Допустима тривалість роботи двигуна в режимі з навантаженням P_n , кВт:

$$t_{дон} = \frac{T_n (I_n^2 + I_{ном}^2)}{I_n^2 - I_{ном}^2},$$

Оскільки $t_n < t_{дон}$, то двигун типу 4А80А4У3 можна використовувати і короткочасному режимі. Якщо ця умова не виконується, то необхідно вибрати інший двигун.

Задача № 2. Виробничий механізм працює в повторно-короткочасному режимі (див. рис. 3.3, в), при цьому період навантаження t_n , с, а період відключення (паузи) t_n , с. Статичний момент навантаження на валу двигуна M_c , Н·м при частоті обертання n_2 , об/хв. Перевантажувальна здатність двигуна повинна бути не менше λ . Мережа живлення трифазна, напруга U_1 , В. Необхідно розрахувати потужність і вибрати по каталогу трифазний асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором.

Розв'язання. Відносна тривалість включення:

$$ПВ = \left(\frac{t_n}{t_u} \right) \cdot 100 = \left(\frac{t_n}{t_n + t_n} \right) \cdot 100, \%$$

Приймаємо ПВ = 15% (чи 25%, 40%, 60% в залежності від отриманого результату).

Розрахункова потужність двигуна при тривалому режимі роботи (3.8):

$$P_{роз} = M_c \omega \cdot 10^{-3} = 0,105 \cdot 10^{-3} \cdot M_c n_2, \text{ кВт.}$$

Розрахункова потужність двигуна ($P'_{роз}$, кВт) при повторно-короткочасному режимі обирається з табл. 3.2 згідно з отриманою величиною ПВ %.

Приймаємо трифазний асинхронний двигун типу (наприклад) 4А90L6У3 з номінальними даними: $P_{ном}$, кВт, $n_{ном}$, об/хв, $\eta_{ном}$, $\cos \varphi_1$ λ .

Номінальний момент навантаження двигуна:

$$M_{ном} = \frac{9,55 \cdot 10^3 P_{ном}}{n_{ном}}, \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Перевантажувальна здатність двигуна при моменті навантаження M_c , Н·м:

$$\lambda_c = \frac{M_{max}}{M_c} = \frac{\lambda}{\frac{M_c}{M_{ном}}}.$$

Робимо висновок, задовольняє, чи не задовольняє вибраний двигун умовам задачі по перевантажувальній здатності. У випадку, якщо не задовольняє, приймаємо двигун типу (наприклад) 4А100L6У3 з номінальними даними: $P_{ном}$, кВт, $n_{ном}$, об/хв, $\eta_{ном}$, $\cos \varphi_1$ λ .

Номінальний момент двигуна:

$$M_{ном} = \frac{9,55 \cdot 10^3 P_{ном}}{n_{ном}}, \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Перевантажувальна здатність двигуна при M_c , Н·м:

$$\lambda_c = \frac{M_{max}}{M_c} = \frac{\lambda}{\frac{M_c}{M_{ном}}}.$$

Знов робимо висновок, чи задовольняє умові задачі вибраний двигун. У випадку, якщо не задовольняє, вибираємо інший двигун.

Задача № 3. Виробничий механізм працює в тривалому режимі з змінним навантаженням (див. рис. 3.5). Значення статичних моментів M_c і частот обертання n_2 , відповідних інтервалам часу t_1, \dots, t_6 . Мережа живлення трифазна, напругою U_1 , В. Перегрузочная здатність при найбільшому навантаженні повинна бути не менше λ . Необхідно розрахувати потужність і вибрати по каталогу трифазний асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором.

Розв'язання. Значення потужності на валу двигуна в різні інтервали часу:

$$P_{роз} = M_c \omega \cdot 10^{-3} = 0,105 \cdot 10^{-3} \cdot M_c n_2, \text{ кВт.}$$

$$P_{роз.1} = \dots, \text{ кВт; } \dots, P_{роз.6} = \dots, \text{ кВт.}$$

Попереднє розрахункове значення потужності двигуна (3.9) при числі інтервалів часу $n_t = 6$:

$$P'_{роз} = \frac{(P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6)}{6}, \text{ кВт.}$$

Попереднє значення номінальної потужності двигуна:

$$P'_{роз} = 0,1 P_{роз}, \text{ кВт.}$$

Заздалегідь вибираємо трифазний асинхронний двигун типу (наприклад) 4А100S4У3 з номінальними даними: $P_{ном}$, кВт, $n_{ном}$, об/хв, $\eta_{ном}$, $\cos \varphi_1$ λ .

По робочих характеристиках двигуна визначаємо значення ККД (η_x) і коефіцієнту потужності ($\cos \varphi_{1x}$) для заданих інтервалів навантаження.

Струми в обмотках статора двигуна при заданих інтервалах навантаження:

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{3U_1 \eta_n \cos \varphi_n}, \text{ А.}$$

Еквівалентне значення струму в обмотці статора двигуна згідно виразу(3.12) дорівнює:

$$I_{екв} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + I_3^2 t_3 + \dots + I_n^2 t_n}{t}}, \text{ А.}$$

де $t = \sum t_x$ хв.

Номинальний (фазний) струм в обмотці статора вибраного двигуна дорівнює:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном} \cdot 10^3}{3U_1 \eta_{ном} \cos \varphi_1}, \text{ А.}$$

Оскільки $I_{екв} < I_{ном}$, то заздалегідь прийнятий тип двигуна задовольняє режиму роботи виробничого механізму. У випадку, якщо умова не виконується, вибираємо інший двигун.

Номинальний момент навантаження двигуна:

$$M_{ном} = \frac{9,55 \cdot 10^3 P_{ном}}{n_{ном}}, \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Перевантажувальна здатність двигуна при найбільшому навантаженні $M_{н4}$, Н·м рівна:

$$\lambda_{с4} = \frac{M_{max}}{M_{н4}} = \frac{\lambda}{\frac{M_{н4}}{M_{ном}}}.$$

Порівнюємо отримане значення з умовами задачі. Якщо величина перенавантажувальної здатності перевищує ту, що вимагається по умові задачі, то двигун вибрано вірно. Якщо не перевищує, вибираємо інший двигун.

5. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Робота складається з двох частин:

1. Розкриття питання по теорії автоматизованого електроприводу згідно варіанту, табл. 5.1.

2. Розв'язання поставленої задачі (згідно варіанту) по вибору двигуна для автоматизованого електропривода, табл. 5.2.

Таблиця 5.1 – Питання по теорії автоматизованого електроприводу до першої частини контрольної роботи

| № варіанту | Зміст питання |
|------------|--|
| 1 | Властивості автоматизованого електроприводу з асинхронними двигунами спеціального призначення. |
| 2 | Властивості автоматизованого електроприводу з асинхронними двигунами з коротко замкнутим ротором. |
| 3 | Властивості автоматизованого електроприводу з асинхронними двигунами з фазним ротором. |
| 4 | Властивості автоматизованого електроприводу з двигуном постійного струму послідовного збудження. |
| 5 | Властивості автоматизованого електроприводу з двигуном постійного струму незалежного збудження. |
| 6 | Властивості автоматизованого електроприводу з однофазним асинхронним двигуном. |
| 7 | Властивості автоматизованого електроприводу з конденсаторним асинхронним двигуном. |
| 8 | Властивості автоматизованого електроприводу з однофазним асинхронним двигуном з екранованими полюсами. |
| 9 | Властивості автоматизованого електроприводу з синхронним двигуном. |
| 10 | Властивості автоматизованого електроприводу з синхронним двигуном з постійними магнітами. |
| 11 | Властивості автоматизованого електроприводу з синхронним реактивним двигуном. |
| 12 | Властивості автоматизованого електроприводу з синхронним гістерезисним двигуном. |
| 13 | Властивості автоматизованого електроприводу з синхронним реактивно-гістерезисним двигуном. |
| 14 | Властивості автоматизованого електроприводу з безконтактними двигунами постійного струму. |
| 15 | Властивості автоматизованого електроприводу з безконтактними перетворювачами напруги |
| 16 | Властивості автоматизованого електроприводу змінного струму з частотним управлінням. |
| 17 | Властивості автоматизованого електроприводу з програмним управлінням. |
| 18 | Властивості автоматизованого електроприводу, з функцією стеження. |
| 19 | Основні види схем керування автоматизованим електроприводом. |

Закінчення таблиці 5.1

| № варіанту | Зміст питання |
|---------------|---|
| 20 | Властивості автоматизованого електроприводу з схемою релейно-контактного управління електродвигунами. |
| 21 | Властивості автоматизованого електроприводу з кроковим двигуном. |
| 22 | Властивості автоматизованого електроприводу з вентиляним двигуном. |
| 23 | Властивості автоматизованого електроприводу з лінійним асинхронним двигуном. |
| 24 | Принцип роботи автоматизованого електропривода з вентиляним двигуном на прикладі електрообладнання автомобіля Toyota (Prius). |
| 25 | Основні схеми та принцип дії автоматизованого електроприводу для склопідйомників автомобілів. |
| 26 | Схеми вмикання, статичні характеристики і режими роботи асинхронного двигуна в автоматизованому електроприводі. |
| 27 | Автоматизований електропривод, як основний силовий агрегат в системі «мотор-колесо». |
| 28 | Основні схеми управління автоматизованим електроприводом в автомобілі. |
| 29 | Властивості автоматизованого електроприводу з синхронним двигуном електромагнітного збудження. |
| 30 | Схема управління та принцип дії автоматизованого електропривода в гібридних автомобілях. |

Для написання другої частини контрольної роботи необхідно виписати з табл. 5.2 зміст задачі та її початкові умови згідно свого варіанту.

На підставі отриманих початкових даних провести розрахунки та вибрати електродвигун для автоматизованого електроприводу.

Порядок розрахунків при виборі двигуна приведений четвертому розділі.

Таблиця 5.2 – Початкові данні до другої частини контрольної роботи

| Варіант | № задачі (розділ 4) | U_1 , В | M_c , Н·м | n_2 , об/хв | t_n , хв. | t_n , хв. | λ |
|---------|------------------------|--------------|----------------|------------------|----------------|----------------|-----------|
| 1 | 1 | 220 | 10 | 1400 | 1,5 | - | 1,4 |
| 2 | 2 | 220 | 35 | 930 | 0,5 | 1,7 | 1,3 |
| 3 | 1 | 220 | 8 | 900 | 1,3 | - | 1,4 |
| 4 | 2 | 220 | 7 | 800 | 0,6 | 1,7 | 1,3 |
| 5 | 1 | 220 | 6 | 1400 | 1,1 | - | 1,2 |
| 6 | 2 | 220 | 5 | 1000 | 1 | 2,1 | 1,2 |
| 7 | 1 | 220 | 11 | 900 | 1,5 | - | 1,2 |
| 8 | 2 | 220 | 30 | 800 | 0,5 | 1,7 | 1,2 |
| 9 | 1 | 220 | 11 | 1000 | 1,3 | - | 1,4 |
| 10 | 2 | 220 | 12 | 1400 | 0,8 | 1,9 | 1,5 |
| 11 | 1 | 220 | 13 | 2800 | 1,1 | - | 1,6 |
| 12 | 2 | 220 | 14 | 800 | 1 | 1,5 | 1,4 |
| 13 | 1 | 220 | 15 | 900 | 1,5 | - | 1,5 |

Закінчення таблиці 5.2

| Варіант | № задачі (розділ 4) | U_1 , В | M_c , Н·м | n_2 , об/хв | t_n , хв. | t_n , хв. | λ |
|---------|------------------------|--------------|----------------|------------------|----------------|----------------|-----------|
| 14 | 2 | 220 | 16 | 1000 | 1,4 | 2 | 1,6 |
| 15 | 1 | 220 | 27 | 1400 | 1,3 | - | 1,4 |
| 16 | 2 | 220 | 28 | 2900 | 1,2 | 1,5 | 1,5 |
| 17 | 1 | 220 | 29 | 2800 | 1,1 | - | 1,6 |
| 18 | 2 | 220 | 30 | 800 | 1 | 1,3 | 1,4 |
| 19 | 1 | 220 | 31 | 900 | 1,5 | - | 1,5 |
| 20 | 2 | 220 | 32 | 1000 | 0,4 | 0,8 | 1,6 |
| 21 | 1 | 220 | 33 | 1400 | 1,3 | - | 1,4 |
| 22 | 2 | 220 | 34 | 2900 | 1,2 | 1,5 | 1,5 |
| 23 | 1 | 220 | 35 | 2800 | 1,1 | - | 1,6 |
| 24 | 2 | 220 | 36 | 800 | 1 | 1,3 | 1,4 |
| 25 | 1 | 220 | 37 | 900 | 1,5 | - | 1,5 |
| 26 | 2 | 220 | 38 | 1000 | 1,4 | 1,4 | 1,6 |
| 27 | 1 | 220 | 39 | 1400 | 1,3 | - | 1,6 |
| 28 | 2 | 220 | 40 | 2900 | 1,2 | 1,3 | 1,7 |
| 29 | 1 | 220 | 41 | 2800 | 1,1 | - | 1,8 |
| 30 | 2 | 220 | 42 | 2950 | 1 | 1,6 | 1,8 |

6. ОФОРМЛЕННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

При виконанні контрольної роботи рекомендується використовувати:

- літературу [2 – 7, 10] – для першого розділу;
- літературу [2, 9, 10] – для другого та третього розділу;
- конспект лекцій.

Результати виконання контрольної роботи представити у виді розрахунково-пояснювальної записки, виконаної відповідно до державного стандарту на виконання технічної документації.

Розрахункову частину роботи рекомендується виконувати в середовищі пакета прикладних програм "MathCAD" або Microsoft Office Excel.

Графічні побудови проводити на міліметровому папері розміру А4 з відповідною рамкою та основним надписом. Графічний матеріал додається до контрольної роботи у виді додатків.

Додаток А
ТЕХНІЧНІ ДАННІ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Таблиця А.1 – Технічні данні деяких типів асинхронних двигунів

| Тип двигуна | $P_{ном}$, кВт | $n_{ном}$, об/хв | $\eta_{ном}$ | $\cos \varphi_1$ | λ |
|-------------------|-----------------|-------------------|--------------|------------------|-----------|
| Серія 4А | | | | | |
| 4АПА80-06У2 | 0,37 | 940 | 0,65 | 0,65 | 2,2 |
| 4АПА80А6У2 | 0,55 | 930 | 0,66 | 0,62 | 2,2 |
| 4АПА90L6У2 | 1,1 | 930 | 0,71 | 0,74 | 2,2 |
| 4А80А4У3 | 1,1 | 1420 | 0,75 | 0,81 | 2,2 |
| 4А90L6У3 | 1,5 | 935 | 0,75 | 0,81 | 2,2 |
| 4А100L6У3 | 2,2 | 950 | 0,75 | 0,81 | 2,2 |
| 4А100S4У3 | 3,0 | 1435 | 0,82 | 0,83 | 2,4 |
| Інші серії | | | | | |
| A71A2 | 0,75 | 3000 | 0,74 | 0,83 | 2,7 |
| A71B2 | 1,1 | 3000 | 0,77 | 0,86 | 2,8 |
| A80A2 | 1,5 | 3000 | 0,79 | 0,87 | 3,0 |
| A80B2 | 2,2 | 3000 | 0,82 | 0,87 | 3,4 |
| A90L2 | 3,0 | 3000 | 0,82 | 0,86 | 3,2 |
| A100S2 | 4,0 | 3000 | 0,82 | 0,84 | 3,2 |
| A100L2 | 5,5 | 3000 | 0,84 | 0,86 | 2,2 |
| A112M2 | 7,5 | 3000 | 0,87 | 0,89 | 3,2 |
| A132M2 | 11,0 | 3000 | 0,88 | 0,88 | 3,5 |
| AIP160S2 | 15,0 | 3000 | 0,88 | 0,86 | 3,2 |
| AIP160M2 | 18,5 | 3000 | 0,90 | 0,88 | 3,2 |
| A180S2 | 22,0 | 3000 | 0,905 | 0,89 | 3,5 |
| A180M2 | 30,0 | 3000 | 0,92 | 0,89 | 3,5 |
| A200M2 | 37,0 | 3000 | 0,91 | 0,88 | 3,2 |
| A200L2 | 45,0 | 3000 | 0,925 | 0,90 | 3,3 |
| A225M2 | 55,0 | 3000 | 0,935 | 0,90 | 4,0 |
| A250S2 | 75,0 | 3000 | 0,94 | 0,89 | 4,0 |
| A250M2 | 90,0 | 3000 | 0,945 | 0,91 | 4,0 |
| A280S2 | 110,0 | 3000 | 0,94 | 0,90 | 4,0 |
| A280M2 | 132,0 | 3000 | 0,94 | 0,90 | 3,0 |
| A315S2 | 160,0 | 3000 | 0,95 | 0,92 | 2,7 |
| A71A4 | 0,55 | 1500 | 0,70 | 0,78 | 2,0 |
| A71B4 | 0,75 | 1500 | 0,73 | 0,74 | 2,5 |
| A80A4 | 1,1 | 1500 | 0,77 | 0,80 | 2,6 |
| A80B4 | 1,5 | 1500 | 0,785 | 0,80 | 2,8 |
| A90L4 | 2,2 | 1500 | 0,78 | 0,82 | 2,6 |
| A100S4 | 3,0 | 1500 | 0,78 | 0,80 | 3,0 |
| A100L4 | 4,0 | 1500 | 0,84 | 0,82 | 3,0 |
| A112M4 | 5,5 | 1500 | 0,87 | 0,85 | 3,0 |
| A132S4 | 7,5 | 1500 | 0,88 | 0,83 | 3,2 |
| A132M4 | 11,0 | 1500 | 0,88 | 0,84 | 3,3 |
| AIP160S4 | 15,0 | 1500 | 0,89 | 0,87 | 2,9 |
| AIP160M4 | 18,5 | 1500 | 0,90 | 0,89 | 2,9 |

Продовження таблиці А.1

| Тип двигуна | $P_{ном}$, кВт | $n_{ном}$, об/хв | $\eta_{ном}$ | $\cos \varphi_1$ | λ |
|-------------|-----------------|-------------------|--------------|------------------|-----------|
| A180S4 | 22,0 | 1500 | 0,91 | 0,88 | 2,8 |
| A180M4 | 30,0 | 1500 | 0,91 | 0,89 | 3,0 |
| A200M4 | 37,0 | 1500 | 0,92 | 0,87 | 3,5 |
| A200L4 | 45,0 | 1500 | 0,92 | 0,87 | 3,2 |
| A225M4 | 55,0 | 1500 | 0,925 | 0,87 | 3,4 |
| A250S4 | 75,0 | 1500 | 0,925 | 0,90 | 3,2 |
| A250M4 | 90,0 | 1500 | 0,93 | 0,86 | 3,5 |
| A280S4 | 110,0 | 1500 | 0,93 | 0,88 | 3,3 |
| A280M4 | 132,0 | 1500 | 0,93 | 0,91 | 2,7 |
| A80A6 | 0,75 | 1000 | 0,71 | 0,70 | 2,4 |
| A80B6 | 1,1 | 1000 | 0,72 | 0,72 | 2,4 |
| A90L6 | 1,5 | 1000 | 0,72 | 0,71 | 2,8 |
| A100L6 | 2,2 | 1000 | 0,76 | 0,71 | 3,1 |
| A112MA6 | 3,0 | 1000 | 0,83 | 0,79 | 2,6 |
| A112MB6 | 4,0 | 1000 | 0,84 | 0,80 | 2,6 |
| A132S6 | 5,5 | 1000 | 0,83 | 0,82 | 2,5 |
| A132M6 | 7,5 | 1000 | 0,845 | 0,77 | 3,1 |
| AIP160S6 | 11,0 | 1000 | 0,87 | 0,82 | 2,9 |
| AIP160M6 | 15,0 | 1000 | 0,89 | 0,82 | 3,0 |
| A180M6 | 18,5 | 1000 | 0,89 | 0,86 | 3,0 |
| A200M6 | 22,0 | 1000 | 0,87 | 0,84 | 2,5 |
| A200L6 | 30,0 | 1000 | 0,895 | 0,86 | 2,7 |
| A225M6 | 37,0 | 1000 | 0,905 | 0,84 | 3,0 |
| A250S6 | 45,0 | 1000 | 0,925 | 0,81 | 2,5 |
| A250M6 | 55,0 | 1000 | 0,91 | 0,73 | 2,8 |
| A280S6 | 75,0 | 1000 | 0,926 | 0,80 | 2,8 |
| A280M6 | 90,0 | 1000 | 0,93 | 0,89 | 3,6 |
| A315S6 | 110,0 | 1000 | 0,94 | 0,88 | 3,5 |
| AIP80-06Y2 | 0,25 | 850 | 0,66 | 0,76 | 1,6 |
| AIP80-06Y2 | 0,37 | 850 | 0,675 | 0,78 | 1,6 |
| A90LA8 | 0,75 | 750 | 0,67 | 0,60 | 2,3 |
| A90LB8 | 1,1 | 750 | 0,72 | 0,68 | 2,4 |
| A100L8 | 1,5 | 750 | 0,75 | 0,71 | 2,5 |
| A112MA8 | 2,2 | 750 | 0,75 | 0,75 | 2,3 |
| A112MB8 | 3,0 | 750 | 0,78 | 0,73 | 2,3 |
| A132S8 | 4,0 | 750 | 0,79 | 0,76 | 1,9 |
| A132M8 | 5,5 | 750 | 0,80 | 0,76 | 2,1 |
| AIP160S8 | 7,5 | 750 | 0,86 | 0,73 | 2,4 |
| AIP160M8 | 11,0 | 750 | 0,87 | 0,75 | 2,4 |
| A180M8 | 15,0 | 750 | 0,865 | 0,76 | 2,7 |
| A200M8 | 18,5 | 750 | 0,88 | 0,80 | 2,5 |
| A200L8 | 22,0 | 750 | 0,885 | 0,77 | 2,5 |
| A225M8 | 30,0 | 750 | 0,90 | 0,79 | 3,0 |
| A250S8 | 37,0 | 750 | 0,915 | 0,84 | 2,5 |
| A250M8 | 45,0 | 750 | 0,895 | 0,69 | 2,0 |
| A280S8 | 55,0 | 750 | 0,922 | 0,80 | 3,2 |

Продовження таблиці А.1

| Тип двигуна | $P_{ном}$, кВт | $n_{ном}$, об/хв | $\eta_{ном}$ | $\cos \varphi_1$ | λ |
|-------------|-----------------|-------------------|--------------|------------------|-----------|
| A280M8 | 75,0 | 750 | 0,925 | 0,84 | 2,7 |
| AIP160M12 | 5,5 | 500 | 0,75 | 0,58 | 2,1 |
| A180MA12 | 7,0 | 500 | 0,845 | 0,58 | 2,6 |
| A180MB12 | 9,0 | 500 | 0,82 | 0,64 | 2,0 |
| A200M12 | 11,0 | 500 | 0,83 | 0,61 | 2,5 |
| A200LA12 | 13,0 | 500 | 0,83 | 0,65 | 2,0 |
| A200LB12 | 15,0 | 500 | 0,84 | 0,61 | 3,0 |
| A225M12 | 18,5 | 500 | 0,84 | 0,69 | 2,5 |
| AIP 56 A2 | 0,18 | 2730 | 0,65 | 0,78 | 2,2 |
| AIP 56 A4 | 0,12 | 1350 | 0,58 | 0,66 | 2,2 |
| AIP 56 B2 | 0,25 | 2730 | 0,66 | 0,79 | 2,2 |
| AIP 56 B4 | 0,18 | 1350 | 0,60 | 0,68 | 2,2 |
| AIP 63 A2 | 0,37 | 2730 | 0,72 | 0,86 | 2,2 |
| AIP 63 A4 | 0,25 | 1320 | 0,65 | 0,67 | 2,2 |
| AIP 63 A6 | 0,18 | 860 | 0,56 | 0,62 | 2,2 |
| AIP 63 B2 | 0,55 | 2730 | 0,75 | 0,85 | 2,2 |
| AIP 63 B4 | 0,37 | 1320 | 0,68 | 0,7 | 2,2 |
| AIP 63 B6 | 0,25 | 860 | 0,59 | 0,62 | 2,2 |
| AIP 71 A2 | 0,75 | 2815 | 0,74 | 0,83 | 2,7 |
| AIP 71 A4 | 0,55 | 1410 | 0,70 | 0,78 | 2,0 |
| AIP 71 A6 | 0,37 | 920 | 0,65 | 0,63 | 2,3 |
| AIP 71 B2 | 1,1 | 2800 | 0,77 | 0,86 | 2,8 |
| AIP 71 B4 | 0,75 | 1415 | 0,73 | 0,74 | 2,5 |
| AIP 71 B6 | 0,55 | 920 | 0,69 | 0,68 | 2,2 |
| AIP 71 B8 | 0,25 | 690 | 0,58 | 0,6 | 1,9 |
| AIP 80 A2 | 1,5 | 2835 | 0,79 | 0,87 | 3,0 |
| AIP 80 A4 | 1,1 | 1420 | 0,77 | 0,8 | 2,6 |
| AIP 80 A6 | 0,75 | 930 | 0,71 | 0,7 | 2,4 |
| AIP 80 A8 | 0,37 | 700 | 0,59 | 0,62 | 2,2 |
| AIP 80 B2 | 2,2 | 2820 | 0,82 | 0,87 | 3,2 |
| AIP 80 B4 | 1,5 | 1420 | 0,78 | 0,8 | 2,8 |
| AIP 80 B6 | 1,1 | 930 | 0,72 | 0,72 | 2,4 |
| AIP 80 B8 | 0,55 | 700 | 0,60 | 0,62 | 2,4 |
| AIP 90 L2 | 3,0 | 2835 | 0,82 | 0,86 | 3,2 |
| AIP 90 L4 | 2,2 | 1390 | 0,78 | 0,82 | 2,6 |
| AIP 90 L6 | 1,5 | 925 | 0,76 | 0,71 | 2,8 |
| AIP 90 LA8 | 0,75 | 705 | 0,67 | 0,6 | 2,3 |
| AIP 90 LB8 | 1,1 | 705 | 0,72 | 0,68 | 2,4 |
| AIP 100 S2 | 4,0 | 2820 | 0,82 | 0,84 | 3,2 |
| AIP 100 S4 | 3,0 | 1395 | 0,78 | 0,8 | 3,0 |
| AIP 100 L2 | 5,5 | 2860 | 0,84 | 0,86 | 2,2 |
| AIP 100 L4 | 4,0 | 1425 | 0,84 | 0,82 | 3,0 |
| AIP 100 L6 | 2,2 | 925 | 0,76 | 0,71 | 3,1 |
| AIP 100 L8 | 1,5 | 705 | 0,75 | 0,71 | 2,5 |
| AIPM 112 M2 | 7,5 | 2895 | 0,87 | 0,89 | 3,2 |
| AIPM 112 M4 | 5,5 | 1450 | 0,87 | 0,85 | 3,0 |

Продовження таблиці А.1

| Тип двигуна | $P_{ном}$, кВт | $n_{ном}$, об/хв | $\eta_{ном}$ | $\cos \varphi_1$ | λ |
|--------------|-----------------|-------------------|--------------|------------------|-----------|
| АИРМ 112 МА6 | 3,0 | 960 | 0,83 | 0,79 | 2,6 |
| АИРМ 112 МВ6 | 4,0 | 960 | 0,84 | 0,8 | 2,6 |
| АИРМ 112 МА8 | 2,2 | 705 | 0,75 | 0,75 | 2,3 |
| АИРМ 112 МВ8 | 3,0 | 700 | 0,78 | 0,73 | 2,3 |
| АД 132 S4 | 7,5 | 1455 | 0,88 | 0,83 | 3,2 |
| АД 132 S6 | 5,5 | 950 | 0,83 | 0,82 | 2,5 |
| АД 132 S8 | 4,0 | 710 | 0,79 | 0,76 | 1,9 |
| АД 132 М2 | 11,0 | 2890 | 0,88 | 0,88 | 3,5 |
| АД 132 М4 | 11,0 | 1440 | 0,88 | 0,84 | 3,3 |
| АД 132 М6 | 7,5 | 960 | 0,845 | 0,77 | 3,1 |
| АД 132 М8 | 5,5 | 710 | 0,80 | 0,76 | 2,1 |
| АИР 160 S2 | 15,0 | 2940 | 0,88 | 0,86 | 3,2 |
| АИР 160 S4 | 15,0 | 1460 | 0,89 | 0,87 | 2,9 |
| АИР 160 S6 | 11,0 | 970 | 0,87 | 0,82 | 2,9 |
| АИР 160 S8 | 7,5 | 730 | 0,86 | 0,73 | 2,4 |
| АИР 160 М2 | 18,5 | 2940 | 0,90 | 0,88 | 3,2 |
| АИР 160 М4 | 18,5 | 1460 | 0,90 | 0,89 | 2,9 |
| АИР 160 М6 | 15,0 | 970 | 0,89 | 0,82 | 3,0 |
| АИР 160 М8 | 11,0 | 730 | 0,87 | 0,75 | 2,4 |
| А 180 S2 | 22,0 | 2940 | 0,905 | 0,89 | 3,5 |
| А 180 S4 | 22,0 | 1460 | 0,91 | 0,88 | 2,8 |
| А 180 М2 | 30,0 | 2940 | 0,92 | 0,89 | 3,5 |
| А 180 М4 | 30,0 | 1460 | 0,91 | 0,89 | 3,0 |
| А 180 М6 | 18,5 | 970 | 0,89 | 0,86 | 3,0 |
| А 180 М8 | 15,0 | 730 | 0,865 | 0,76 | 2,7 |
| АД 200 М2 | 37,0 | 2950 | 0,915 | 0,88 | 3,2 |
| АД 200 М4 | 37,0 | 1460 | 0,92 | 0,87 | 3,5 |
| АД 200 М6 | 22,0 | 970 | 0,78 | 0,84 | 2,5 |
| АД 200 М8 | 18,5 | 730 | 0,905 | 0,77 | 2,8 |
| АД 200 L2 | 45,0 | 2940 | 0,925 | 0,9 | 3,3 |
| АД 200 L4 | 45,0 | 1460 | 0,92 | 0,87 | 3,2 |
| АД 200 L6 | 30,0 | 970 | 0,895 | 0,86 | 2,7 |
| АД 200 L8 | 22,0 | 730 | 0,885 | 0,77 | 2,5 |
| АД 225 М2 | 55,0 | 2955 | 0,935 | 0,9 | 4,0 |
| АД 225 М4 | 55,0 | 1470 | 0,925 | 0,87 | 3,4 |
| АД 225 М6 | 37,0 | 980 | 0,905 | 0,84 | 3,0 |
| АД 225 М8 | 30,0 | 730 | 0,90 | 0,79 | 3,0 |
| А 250 S2 | 75,0 | 2965 | 0,94 | 0,89 | 4,0 |
| А 250 S4 | 75,0 | 1470 | 0,925 | 0,9 | 3,2 |
| А 250 S6 | 45,0 | 980 | 0,925 | 0,81 | 2,5 |
| А 250 S8 | 37,0 | 735 | 0,915 | 0,84 | 2,5 |
| А 250 М2 | 90,0 | 2960 | 0,945 | 0,91 | 4,0 |
| А 250 М4 | 90,0 | 1470 | 0,930 | 0,86 | 3,5 |
| А 250 М6 | 55,0 | 980 | 0,910 | 0,73 | 2,8 |
| А 250 М8 | 45,0 | 735 | 0,895 | 0,69 | 2,0 |
| А 280 S2 | 110,0 | 2970 | 0,94 | 0,9 | 4,0 |

Закінчення таблиці А.1

| Тип двигуна | $P_{ном}$, кВт | $n_{ном}$, об/хв | $\eta_{ном}$ | $\cos \varphi_1$ | λ |
|--------------|-----------------|-------------------|--------------|------------------|-----------|
| A 280 S4 | 110,0 | 1470 | 0,93 | 0,88 | 3,3 |
| A 280 S6 | 75,0 | 985 | 0,926 | 0,8 | 2,8 |
| A 280 S8 | 55,0 | 740 | 0,922 | 0,8 | 3,2 |
| A 280 M2 | 132,0 | 2970 | 0,94 | 0,9 | 3,0 |
| A 280 M4 | 132,0 | 1470 | 0,93 | 0,91 | 2,7 |
| A 280 M6 | 90,0 | 980 | 0,93 | 0,89 | 3,6 |
| A 280 M8 | 75,0 | 740 | 0,925 | 0,84 | 2,7 |
| A 315 S2 | 160,0 | 2970 | 0,95 | 0,92 | 2,7 |
| A 315 S6 | 110,0 | 980 | 0,94 | 0,88 | 3,5 |
| A 315 M2 | 200,0 | 2975 | 0,95 | 0,94 | 2,8 |
| МТФ 311-6 | 11 | 945 | 0,80 | 0,71 | 3,0 |
| МТН 311-6 | 11 | 940 | 0,80 | 0,71 | 3,0 |
| МТФ 311-8 | 7,5 | 715 | 0,76 | 0,65 | 3,0 |
| МТН 311-8 | 7,5 | 715 | 0,76 | 0,65 | 3,0 |
| МТФ 312-6 | 15 | 955 | 0,82 | 0,74 | 3,0 |
| МТН 312-6 | 15 | 955 | 0,82 | 0,74 | 3,0 |
| МТФ 312-8 | 11 | 705 | 0,785 | 0,74 | 3,0 |
| МТН 312-8 | 11 | 705 | 0,785 | 0,65 | 3,0 |
| МТФ 411-6 | 22 | 965 | 0,86 | 0,76 | 2,8 |
| МТН 411-6 | 22 | 965 | 0,86 | 0,76 | 2,8 |
| МТФ 411-8 | 15 | 710 | 0,83 | 0,62 | 3,2 |
| МТН 411-8 | 15 | 710 | 0,83 | 0,62 | 3,2 |
| МТФ 412-6 | 30 | 970 | 0,87 | 0,79 | 2,8 |
| МТН 412-6 | 30 | 970 | 0,87 | 0,79 | 2,8 |
| МТФ 412-8 | 22 | 720 | 0,83 | 0,7 | 3,0 |
| МТН 412-8 | 22 | 720 | 0,83 | 0,7 | 3,0 |
| 4МТМ 200 LA6 | 22,0 | 960 | 0,86 | 0,76 | 2,8 |
| 4МТМ 200 LA8 | 15,0 | 720 | 0,83 | 0,62 | 3,2 |
| 4МТМ 200 LB6 | 30,0 | 960 | 0,87 | 0,79 | 2,8 |
| 4МТМ 200 LB8 | 22,0 | 720 | 0,83 | 0,7 | 3,0 |
| 4МТМ 225 M6 | 37,0 | 955 | 0,87 | 0,81 | 3,0 |
| 4МТМ 225 M8 | 30,0 | 715 | 0,85 | 0,72 | 2,9 |
| 4МТМ 225 L6 | 55,0 | 955 | 0,88 | 0,81 | 2,9 |
| МКАФ 225 L6 | 55,0 | 970 | 0,88 | 0,81 | 2,9 |
| 4МТМ 225 L8 | 37,0 | 720 | 0,86 | 0,74 | 2,9 |
| МТН 511-6 | 37,0 | 955 | 0,87 | 0,81 | 3,0 |
| МТН 511-8 | 30,0 | 715 | 0,85 | 0,72 | 2,9 |
| МТН 512-6 | 55,0 | 955 | 0,88 | 0,81 | 2,9 |
| МТН 512-8 | 37,0 | 715 | 0,86 | 0,74 | 2,9 |
| 4МТМ 280 S6 | 75,0 | 955 | 0,89 | 0,86 | 3,2 |
| 4МТМ 280 L6 | 110,0 | 970 | 0,91 | 0,85 | 3,5 |
| 4МТМ 280 M8 | 55,0 | 720 | 0,89 | 0,81 | 3,2 |
| 4МТМ 280 L8 | 75,0 | 725 | 0,91 | 0,80 | 3,5 |

ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 183–74 Машины электрические вращающиеся. Общие технические требования. – 24 с.
 2. Кацман М.М. Электрические машины и электропривод автоматических устройств: Учебник для электротехнических специальностей техникумов. – М.: Высшая школа, 1987. – 335 с.
 3. Теория автоматизированного электропривода: Учеб. Пособие для вузов / М.Г. Чиликин, В.И. Ключев, А.С. Сандлер. – М.: Энергия, 1979. – 616 с.
 4. Трехов В.И. Элементы автоматизированного электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 224 с.
 5. Попович М.І. Теорія електроприводу. – Київ: Техніка, 1998. – 462 с.
 6. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 416 с.
 7. Элементы автоматизированного электропривода / М.Г. Попович, В.А. Гаврилюк, О.В. Ковальчук, В.І. Теряев. – К.: УМК ВО, 1990. – 260 с.
 8. Иванов А.А. Справочник по электротехнике. Изд. 5-е, перераб. и доп. – К.: "Вища школа" Головное издательство, 1984. – 304 с.
 9. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / Под ред. Круповича В.И. – М.: Энергоиздат, 1982. – 364 с.
 10. Миллер Е.В. Основы теории электропривода. – М.: Высшая школа, 1968. – 408 с.
-