

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Конспект лекцій з навчальної дисципліни:

«Електропривод і автоматизація»

Підготував: к.т.н. Ярошенко Леонід Вікторович

Лекція №1.

ПРИВОДНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

План

- 1. Роль вітчизняних вчених у розвитку електрифікації сільськогосподарського виробництва;*
- 2. Особливості роботи електрообладнання в умовах сільськогосподарського виробництва;*
- 3. Електропривод та його елементи;*
- 4. Класифікація електроприводів;*
- 5. Приводні характеристики сільськогосподарських машин;*
- 6. Механічні характеристики робочих машин;*
- 7. Механічні характеристики електродвигунів.*

1. Роль вітчизняних вчених у розвитку електрифікації сільськогосподарського виробництва

Перший в історії електрифікований механізм з електроприводом був створений у 1834 – 1838 рр. академіком Якобі Б.С. у Петербурзі і призначався для приводу у рух катеру на річці Неві. Таким чином батьківщиною першого електродвигуна і першого електроприводу була Російська імперія, до складу якої на той час входила і Україна. Видатний російський електротехнік В.Н. Чикалев здійснив практичні розробки електроприводів для швейної машини у 1882 р. та вентилятора у 1886 р.

Значний вклад у розвиток теорії електроприводу внесли роботи Д.А. Лачинова “Електромеханічна робота”, що були опубліковані у 1880 році у журналі “Электричество”. Ця визначна праця дає можливість вважати датою заснування науки про електроприводи – 1880 рік.

Необхідні принципові передумови розвитку електроприводів змінного струму створили розробки російського інженера М.О. Доліво-Добровольського, який у 1889 році створив систему трифазного струму, асинхронний двигун із короткозамкнутим ротором та із контактними кільцями. Ці роботи визначили новий напрям розвитку електроприводу і відкрили широку дорогу для промислового використання електроенергії.

Реалізація плану електрифікації Радянського Союзу - ГОЭРЛО у 20-х роках, створила умови для широкого використання електроприводу і на теренах України. Визначний вплив на розвиток вітчизняної електротехніки та електропривода мав і створений у 1921 році Державний експериментальний електротехнічний інститут, який у 1929 році був реорганізований у Всесоюзний електротехнічний інститут.

Особливо бурхливо став розвиватись електропривод у роки перших п'ятирічок у зв'язку із загальною індустріалізацією країни. Розвиток теорії та практики електропривода знайшов відображення у працях професорів С.А. Ринкевича, В.К. Потова, Р.А. Аронова, А.Т. Голована, Д.П. Морозова та ін..

2. Особливості роботи електрообладнання в умовах сільськогосподарського виробництва

Робота електрообладнання в умовах тваринницьких ферм має ряд особливостей які необхідно враховувати при його виборі та експлуатації. До цих особливостей можна віднести:

1. Електрообладнання може працювати в різних умовах (у сухих, вологих, вогких, особливо вологих приміщеннях, на відкритому повітрі, у захищених приміщеннях, із підвищеним вмістом аміаку, сірководню, вуглекислого газу при значних коливаннях температури, що призводить до поступового руйнування ізоляції, корозії контактів і конструктивних елементів електро-обладнання) тому апаратуру керування розміщують поза тваринницькими приміщеннями.

2. Приміщення обробляються дезінфекційними розчинами, які хімічно активні.

3. Різна тривалість роботи механізмів і їх приводних електродвигунів:

- кормороздавачі 500 год. на рік;
- вакуумні насоси 1500 год. на рік;
- вентилятори 3000 год. на рік.

4. Ступінь завантаження двигунів коливається від 25 до 100% а деякі працюють при тимчасових перевантаженнях;

5. Широкий діапазон коливань напруги живлення $\Delta U = \pm 5\%$ для комплексів.

6. Низький професійний рівень обслуговуючого персоналу, що призводить до неправильної експлуатації і обслуговування електрообладнання.

7. Невдалі конструкції механізмів, які приводяться у рух електродвигунами (вібрація машин і двигунів, встановлення двигунів на агрегатах що нагріваються, можливість попадання води і т.д.)

Вимоги до електрообладнання потокових ліній.

Схеми автоматичного керування потоковими лініями повинні відповідати наступним вимогам:

1. Робочі машини якими керує електрообладнання повинні мати узгоджену (регульовану) продуктивність та забезпечувати високу якість продукту, що виробляється чи переробляється;

2. Запуску автоматичного електроприводу потокової лінії повинен передувати попереджувальний звуковий або (та) світловий сигнал;

3. Електроприводи усіх машин і механізмів потокової лінії повинні запускатись у послідовності, що направлена проти руху продукції (починаючи із кільця технологічної лінії), а зупинятись у послідовності що співпадає із напрямком руху продукції;

4. При аварійній зупинці однієї із машин, повинні зупинятись без затримки часу усі машини, що працюють на її завантаження та із затримкою часу – усі машини, які працюють на її розвантаження, що необхідно для повного звільнення від продукції;

5. Електричні схеми повинні забезпечувати неможливість неправильного вмикання та вимикання електричних кіл;

6. Для стійкої роботи електроприводів та запобігання недопустимого зниження напруги, схеми послідовного вмикання електроприводів повинні бути розрахованими на гранично допустиму потужність двигунів, що вмикаються одночасно;

7. Схеми керування повинні бути простими і надійними, забезпечувати

надійний захист електродвигунів і проводів (застосування електричних та механічних блокувань);

8. Для запобігання забивання машини продукцією і захисту двигунів (особливо серійних) від холостого ходу при обриві передавальних пасів, необхідно на привідний вал таких машин встановлювати реле контролю швидкості, яке подавало б сигнал для зупинки потокової лінії;

9. Схеми керування повинні забезпечувати максимальну автоматизацію виробничих процесів достатню зручність та гнучкість керування, а також можливість регулювання кутової швидкості валів робочих машин у заданих межах (простий і швидкий перехід на інші режими роботи, можливість керування із декількох місць, контроль за допомогою світлової та звукової сигналізації);

10. У протяжних приміщеннях, кнопки аварійної зупинки повинні встановлюватись у декількох різних місцях;

12. Для налагоджувальних та ремонтних робіт у схемах керування необхідно передбачити деблокувальні режими, які забезпечували б можливість довільного включення двигунів.

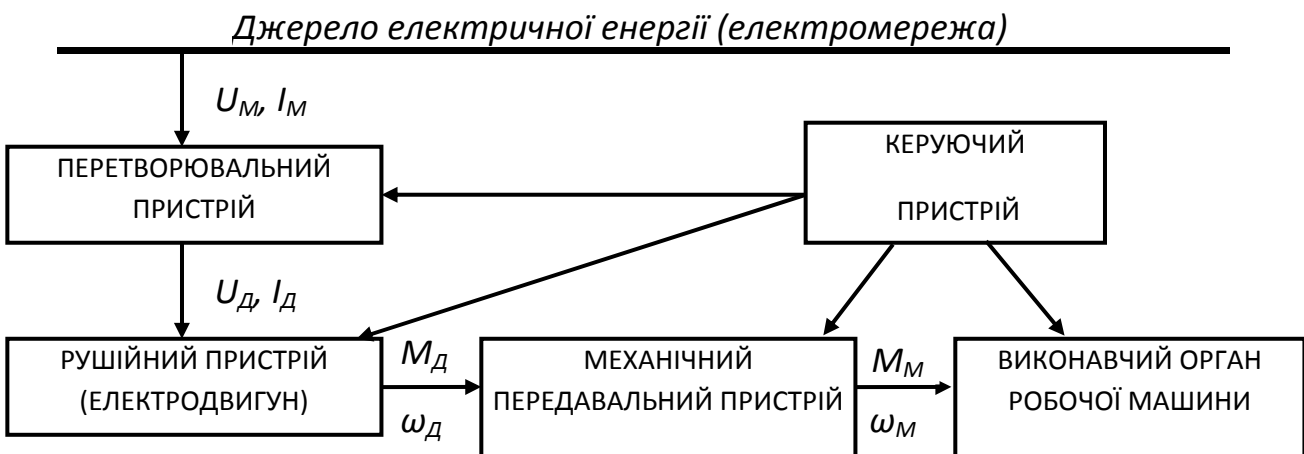
13. Проводи силових електричних кіл повинні розраховуватись за максимальним тривалим робочим струмом, бути достатньо механічно міцними, при цьому спад напруги на них не повинен перевищувати допустимих меж. Ізоляція проводів і кабелів повинна бути розрахована на напругу не нижчу номінальної напруги мережі, і бути стійкою до агресивної дії навколишнього середовища.

3. Електропривод та його елементи

Сільськогосподарське - виробництво використовує різноманітні машини, агрегати та потокові лінії. Ту частину робочої машини або агрегату, яка безпосередньо виконує заданий технологічний процес або операцію, називають *виконавчим органом*. *Привод* - це система пристроїв, призначених для перетворення різних видів енергії у механічну, що використовується для приведення в рух виконавчих органів робочих машин і керування цим рухом.

Електроприводом називають електромеханічну систему, що складається з електродвигуна, перетворювального, передавального й керуючого пристроїв і призначена для приведення в рух виконавчих органів робочих машин та керування цим рухом.

Порівняно з іншими системами приводів, електропривод має такі переваги: високий коефіцієнт корисної дії, надійність, високий рівень автоматизації, екологічна чистота, компактність.



Мал. 1.1. Структурна схема електроприводу

4. Класифікація електроприводів

Сучасні електроприводи класифікують за такими основними ознаками:

1. *За видом руху електродвигуна:*

- обертального руху;
- поступального руху;

2. *За можливістю зміни його напрямку руху:*

- реверсивний;
- неревверсивний;

3. *За причиною зміни параметрів руху:*

- регульовані електроприводи, параметри яких змінюються під впливом керуючого пристрою;
- нерегульовані електроприводи, параметри яких змінюються в результаті збурюючих впливів (зміна навантаження);

4. *За кількістю робочих машин або виконавчих органів однієї робочої машини, які приводяться в рух одним електроприводом:*

- групові електроприводи (*груповим* називають електропривод, який забезпечує рух виконавчих органів кількох робочих машин чи кількох виконавчих органів однієї робочої машини);
- індивідуальні електроприводи, що забезпечує рух одного виконавчого органу робочої машини;

5. *За наявністю зв'язків з іншими електроприводами:*

- незалежні електроприводи - режими роботи яких практично не залежать від режимів роботи інших електроприводів;
- взаємозв'язані електроприводи, в яких два або кілька електроприводів електрично і механічно пов'язані між собою. Розрізняють два види взаємозв'язаних електродвигунів:
 - багатодвигунні - в яких електродвигуни і пристрої працюють разом на загальний вал;
 - електричні вали, в яких забезпечується синхронне обертання двох і більше електродвигунів, вали яких не мають механічного зв'язку.

6. *За рівнем автоматизації керування:*

- неавтоматизовані, усі операції керування якими виконуються з участю людини;
- автоматизовані, у яких людина бере участь у створенні лише початкової керуючої дії;
- автоматичні, у яких керування здійснюється без участі людини;

7. *За видом перетворювального пристрою:*

- вентильні;
- автотрансформаторні;
- з системою генератор - двигун та ін.

8. *За родом механічного передавального пристрою розрізняють:*

- редукторний електропривод;
- без редукторний;
- привод з варіатором;
- з пасовою передачею;
- з фрикційною муфтою.

9. *За родом струму:*

- електроприводи постійного струму, в яких рушійними пристроями є

електродвигуни постійного струму (незалежного, послідовного та змішаного збудження);

- електроприводи змінного струму. Розрізняють два види електроприводів змінного струму:

- *асинхронні*, де рушійними пристроями є асинхронні електродвигуни;
- *синхронні*, в яких рушійними пристроями є синхронні двигуни.

5. Приводні характеристики сільськогосподарських машин

При виборі електроприводу довільної робочої машини чи механізму необхідно знати окрім властивостей самого приводу, також властивості та особливості робочої машини і технологічного процесу у якому ця машина приймає участь. Характеристики робочої машини, які впливають на вибір її приводу отримали узагальнену назву – *привідних характеристик*. До них відносяться: технологічні, кінематичні, енергетичні, механічні, інерційні характеристики та навантажувальні діаграми.

Технологічні характеристики – відображають специфіку даного технологічного процесу та визначають вимоги до електроприводу з точки зору якості продукції (необхідність регулювання режимів роботи, допустимі коливання швидкості, можливість та необхідність автоматизації) та умови роботи електроприводу залежно від характеру навколишнього середовища, роду приміщення (сухе, вологе, опалюване, пожежонебезпечне, вибухо-небезпечне). Вони звичайно подаються у вигляді технологічної схеми, у якій вказується послідовність виконання головних операцій.

Кінематичні характеристики – відображають послідовність передавання руху від двигуна до виконавчого органу робочої машини, швидкісні режими та траєкторії руху окремих механізмів. Їх зображують у вигляді кінематичних схем, де вказують типи передач, передавальні числа та іншу інформацію необхідну для проектування машини.

Енергетичні характеристики – відображають загальну та питому енергоємність технологічного процесу, а також розподіл енергії між окремими вузлами машини.

Інерційні характеристики – визначають величину та характер зміни моменту інерції рухомих частин машини. Величину та ступінь зміни моменту інерції рухомих частин машини необхідно знати для визначення тривалості її запуску та зупинки, а також для оцінки рівномірності її ходу при роботі.

Навантажувальні діаграми машини – це залежність моменту опору - M_O , потужності опору P_O машини та кутової швидкості її робочого валу – ω_M від часу t . Вони відображають характер та режим роботи електропривода.

6. Механічні характеристики робочих машин

Найважливішими характеристиками двигунів і робочих машин є їх механічні характеристики.

Механічною характеристикою робочої машини називають залежність моменту статичних опорів від кутової швидкості її приводного валу $M_O(\omega)$. Механічні характеристики робочих машин описують такою емпіричною формулою:

$$M_O = M_{TP} + (M_{OH} - M_{TP}) \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^x,$$

де M_O - момент опору при швидкості ω , Н·м;

M_{TP} - момент опору тертя в рухомих частинах, який не залежить від швидкості Н·м;

M_{OH} - момент опору при номінальній швидкості – ω_H , Н·м;

x - показник степеня, що характеризує зміну статичного моменту при зміні швидкості.

Незважаючи на різноманітність робочих машин, їх механічні характеристики орієнтовно можна поділити на такі групи:

1. Незалежна від швидкості механічна характеристика
2. Прямолінійно-зростаюча механічна характеристика.
3. Нелінійно-зростаюча (параболічна) механічна характеристика
4. Нелінійно-спадаючі механічні характеристики .

7. Механічні характеристики електродвигунів

Механічною характеристикою електродвигуна обертового руху називають залежність кутової швидкості його вала – ω від електромагнітного обертового моменту M .

Механічні характеристики можуть бути *природними* і *штучними*. *Природною* механічною характеристикою електродвигуна називають залежність швидкості обертання двигуна від створюваного ним моменту при номінальних параметрах мережі живлення (номінальних значеннях напруги і частоти), номінальному магнітному потоці (звичайних схемах включення) і при відсутності додаткових опорів у колі якоря (ротора, статора).

Величина зміни швидкості при зміні моменту різних двигунів неоднакова і залежить від *коефіцієнта жорсткості* β механічної характеристики:

$$\beta = \frac{dM}{d\omega} . \quad (2.2)$$

Коефіцієнт жорсткості β є критерієм для оцінки форми механічної характеристики. Жорсткістю механічної характеристики електродвигуна називають його здатність зберігати свою кутову швидкість постійною при зміні величини моменту.

Контрольні запитання:

1. Що називають приводними характеристиками машин і які вони бувають?
2. Що називають електроприводом?
3. Із яких основних елементів складається електропривод і яке їх призначення?
4. За якими основними ознаками класифікують сучасні електроприводи?
5. Що називають механічною характеристикою робочої машини?

Електродвигуна?

6. Що називають електромеханічною характеристикою електродвигуна?
7. Що таке жорсткість механічної характеристики?
8. Як поділяють механічні характеристики за ступенем жорсткості?

Література:

1. Електропривод: Навчальний посібник/ О.Ю. Синявський, П.І. Савченко, В.В. Савченко, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Ю.М. Хандола, І.П. Ільчов; За ред. О.Ю. Синявського. - К.: Аграр МедіаГруп, 2013.-586 с. ISBN 978-617-646-201-9;
2. Електропривод: підруч. для вузів. Ч.1/О.С. Марченко, Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко, Є.Л. Жулай; за ред. О.С. Марченка. – К. : Урожай, 1995. – 207 с.. – ISBN 5-337-01695-4;
3. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В.Зайцев, О.С.Марченко та ін.; Ред. Є.Л. Жулай. – К. : Вища освіта, 2001. – 288 с.. – ISBN 966-95995-2-0.

Лекція № 2. ДВИГУНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

План

1. Електромеханічні та механічні характеристики двигунів постійного струму;
2. Двигун постійного струму паралельного збудження (шунтовий двигун);
3. Регулювання кутової швидкості двигунів постійного струму паралельного збудження;
4. Режими роботи двигунів постійного струму паралельного збудження;
5. Двигун постійного струму послідовного збудження (серієсний двигун);
6. Регулювання кутової швидкості двигунів постійного струму послідовного збудження;
7. Режими роботи двигунів постійного струму послідовного збудження;
8. Двигун постійного струму змішаного збудження (компаундний).

1. Електромеханічні та механічні характеристики двигунів постійного струму

Якщо двигун постійного струму під'єднати до джерела постійного струму з напругою U , то в обмотці збудження та в обмотці якоря машини появляться струми. В процесі роботи двигуна його якір обертається у магнітному полі, при цьому в обмотці якоря індукуються електрорушійна сила (ЕРС) E :

$$E = k_e \Phi \omega, \quad (3.1)$$

де E – зворотна електрорушійна сила, що індукуються в обмотках якоря при його обертанні;

k_e – постійний коефіцієнт, що залежить від конструкції двигуна;

Φ – магнітний потік одного полюса обмотки збудження;

ω – кутова швидкість якоря.

Для електричного кола якоря двигуна, що працює в усталеному режимі справедливий Другий закон Кірхгофа:

$$U = E + (R_{\text{я}} + R_{\text{п}})I_{\text{я}}, \quad (3.2)$$

де U – напруга на затискачах якоря;

$R_{\text{я}}$ – опір в обмотці якоря;

$R_{\text{п}}$ – величина додаткового (пускорегулювального) опору у колі якоря;

$I_{\text{я}}$ – сила струму в обмотці якоря.

Величину обертового електромагнітного моменту M , що створюється на якорі електродвигуна, можна визначити за законом електромагнітних сил:

$$M = k_M \Phi I_{\text{я}}, \quad (3.3)$$

де k_M – постійний коефіцієнт, що залежить від конструкції двигуна.

Якщо із рівнянь (3.1) та (3.2) визначити кутову швидкість ω , то отримаємо формулу електромеханічної характеристики двигунів постійного струму:

$$\omega = \frac{U - (R_{\text{я}} + R_{\text{п}})I_{\text{я}}}{k_e \Phi}. \quad (3.4)$$

Підставивши у формулу (3.4) значення сили струму із формули (3.3) отримаємо формулу механічної характеристики двигунів постійного струму:

$$\omega = \frac{U}{k_e \Phi} - M \frac{(R_{\text{я}} + R_{\text{п}})}{k_M k_e \Phi^2}. \quad (3.5)$$

2. Двигун постійного струму паралельного збудження (шунтовий двигун)

Характерною особливістю даного двигуна є те, що обмотка збудження ОЗ

включена паралельно до обмотки якоря (див. мал. 3.1), отже струм у цій обмотці (струм збудження) I_3 і її магнітний потік Φ не залежать від навантаження і є величинами постійними (при постійному R_p , якщо не враховувати реакції якоря), отже $I_3 = const$ і $\Phi = const$, звідки, враховуючи формулу (3.3) отримаємо:

$$M = k_1 I_{\text{я}},$$

де $k_1 = k_M \Phi = const$ - постійний коефіцієнт.

Отже обертовий момент шунтового двигуна прямо пропорційний силі струму у якорі:

$$I_{\text{я}} = \frac{U - E}{R_{\text{я}} + R_{\text{ш}}}.$$

На мал. 3.2 приведені механічні характеристики двигуна при різних значеннях опору якірного кола $R_{\text{я}} + R_{\text{ш}}$. Для кожного конкретного двигуна $R_{\text{я}} = const$ і зміна опору якірного кола зумовлюється зміною $R_{\text{ш}}$. Чим більший опір якірного кола, тим м'якша механічна характеристика.

При $M = 0$ і $I_{\text{я}} = 0$ кутова швидкість двигуна ω_0 називається швидкістю ідеального холостого ходу, отже при ω_0 усі характеристики незалежно від опору $R_{\text{я}} + R_{\text{ш}}$ перетинаються в доній точці:

$$\omega_0 = \frac{U}{k_e \Phi}.$$

З механічної характеристики шунтового двигуна видно, що момент який розвиває двигун, автоматично приводиться у відповідність із моментом опору робочої машини. Своєрідним регулятором двигуна тут виступає зворотна електрорушійна сила E . Під дією збільшеного моменту опору робочої машини, зменшується кутова швидкість двигуна і відповідно до формули (3.1) зменшується зворотна ЕРС E , що при постійній напрузі живлення U , призводить до зростання сили струму якоря $I_{\text{я}}$, відповідно до формули (3.2), а отже і обертового моменту двигуна M (відповідно до формули (3.3)). Кутова швидкість понижується рівно на стільки, скільки необхідно для зменшення зворотної ЕРС E та приведення сили струму якоря $I_{\text{я}}$ у відповідність до збільшеного моменту опору машини. Із виразу механічної характеристики видно, що зменшення кутової швидкості при зростанні навантаження тим більше, чим більший опір кола якоря.

Однією із важливих характеристик будь-якого двигуна є його перевантажувальна здатність (здатність двигуна долати пікові навантаження), яка визначається за формулою:

$$\mu_K = \frac{M_{\text{max}}}{M_H},$$

де M_{max} –максимально допустимий момент двигуна.

Шунтові двигуни мають доволі високу перевантажувальну здатність і допускають короткочасні перевантаження у межах $\mu_K = 2 - 2,5$ та 50% перевантаження за струмом протягом 1 хвилини.

3. Регулювання кутової швидкості двигунів постійного струму паралельного збудження

Із формули електромеханічної характеристики двигуна постійного струму (3.4) видно, що кутову швидкість шунтового двигуна можна регулювати шляхом зміни напруги на затискачах двигуна або зміни головного магнітного потоку або зміни опору кола якоря.

Введення додаткового опору у коло якоря. Додатковий опір включають у коло якоря аналогічно пусковому реостату R_{II} , але він повинен бути розрахованим на тривале протікання струму. Збільшення величини додаткового опору у колі якоря R_{II} , при постійних U та Φ , призводить до зростання кута нахилу механічних характеристик α (див. мал. 3.3), що пов'язаний із жорсткістю механічної характеристики залежністю: $\beta = -\arctg\alpha$.

Даний спосіб доволі простий і забезпечує плавне регулювання кутової швидкості у широкому діапазоні (тільки у сторону меншої від номінальної), але має ряд істотних недоліків які обмежують його використання. До цих недоліків можна віднести:

1. При малих навантаженнях кутову швидкість можна регулювати у дуже вузькому діапазоні;
2. При великих значеннях величини додаткового опору - R_{II} робота двигуна дуже нестійка, внаслідок переходу двигуна на м'яку характеристику, коли при зміні навантаження різко змінюється його кутова швидкість;
3. На нагрівання реостату витрачається багато електроенергії $\Delta P = kI_{\text{я}}^2 R_{II}$;
4. Оскільки реостат повинен працювати при високій потужності, то він має великі габаритні розміри та вартість;
5. Зниження кутової швидкості супроводжується зниженням потужності, оскільки $P = M\omega$.

Зміна величини напруги, що підводиться до затискачів двигуна. Регулювання кутової швидкості шунтового двигуна шляхом зміни величини напруги, що підводиться до затискачів двигуна застосовується лише при $I_3 = \text{const}$, а отже при роздільному живленні обмотки якоря та обмотки збудження.

Зміна напруги у колі якоря дозволяє регулювати кутову швидкість вниз від номінальної, оскільки напруга вище від номінальної неприпустима. Даний метод забезпечує плавне та економічне регулювання у широкому діапазоні $n_{\text{max}}/n_{\text{min}} \geq 25$. У даному випадку найбільша кутова швидкість обмежується умовами комутації, а найменша – умовами охолодження двигуна. Ще однією перевагою даного способу регулювання є те, що він дозволяє безреостатний запуск двигуна при пониженій напрузі.

Зміна основного магнітного потоку обмотки збудження. Даний спосіб регулювання у двигуні паралельного збудження здійснюється за допомогою реостату R_P у колі обмотки збудження (див. мал. 3.1). При зменшенні опору цього реостату, зростає струм збудження та магнітний потік обмотки збудження, що відповідно до формули (3.4) призводить до зменшення кутової швидкості. При збільшенні опору R_P кутова швидкість зростатиме. Залежність кутової швидкості від струму збудження називається *регулювальною характеристикою* двигуна $n = f(I_3)$ при $I = \text{const}$ та $U = \text{const}$.

Розглядуваний метод регулювання доволі простий та економічний, оскільки у двигунах паралельного збудження струм $I_3 = (0,01 \dots 0,07)I_{\text{я}}$, а тому втрати у регулювальному реостаті невеликі. При використанні повзункового реостату, регулювання виходить плавним із збереженням потужності постійною, оскільки при зменшенні магнітного потоку зростає кутова швидкість але водночас зменшується обертовий момент і навпаки.

4. Режими роботи двигунів постійного струму паралельного збудження

Гальмування з рекуперацією енергії, полягає у тому, що двигун у період гальмування переводиться у режим генератора, який виробляє електричну енергію і подає її у мережу. Для цього необхідно навести в обмотках якоря зворотну електрорушійну силу більшої величини ніж прикладена до його затискачів напруга мережі, тоді внаслідок того, що $E > U$, струм якоря $I_{\text{я}} = (U - E)/(R_{\text{я}} + R_{\text{п}}) < 0$ прийме від'ємне значення, а це означає перехід двигуна на роботу у режим генератора. Момент двигуна при цьому змінює свій напрям на протилежний. Збільшити зворотну ЕРС E відповідно до (3.1) можна або збільшивши магнітний потік, або збільшивши за допомогою сторонньої сили кутову швидкість якоря вище ω_0 . Перший метод гальмування використовується при гальмуванні деяких металорізальних станків, другий використовується для пригальмовування електропоїздів на схилах.

Механічні характеристики гальмівного режиму із рекуперацією енергії розміщуються у IV квадранті (див. мал. 3.6), являючись природнім продовженням характеристик рушійного режиму для прямого (умовно) попереднього обертання ($\omega_{\text{п}} > 0$), що розміщені у I квадранті. Механічні характеристики гальмівного режиму із рекуперацією енергії при зворотному (умовно) обертанні ($\omega_{\text{п}} < 0$) розміщуються у II квадранті, являючись природнім продовженням характеристик рушійного режиму, які знаходяться у III квадранті.

Гальмування противмиканням відбувається за умов коли обмотки двигуна включені для обертання в одному напрямку, але якір з деяких причин обертається у протилежному напрямку. При цьому можливі два варіанти гальмування:

- гальмівний спуск;
- гальмування зміною полярності якоря на ходу двигуна.

Гальмівний спуск здійснюється у приводах підймальних механізмів, коли двигун включений на підйом вантажу, але вантаж настільки великий, що момент який він створює заставляє привід обертатись в сторону опускання вантажу. Механічні характеристики цього режиму являють собою продовження характеристик рушійного режиму I квадранту у II квадранті (при $\omega_{\text{п}} > 0$), а при попередньому зворотному обертанні (при $\omega_{\text{п}} < 0$) – вони є продовженням механічних характеристик рушійного режиму III квадранту у IV квадранті. Оскільки якір двигуна у даному випадку обертається у сторону протилежну порівняно із нормальним рушійним режимом, то напрям ЕРС E , що індукується в обмотках якоря, співпадатиме із напрямом напруги мережі. Внаслідок цього сила струму у якорі $I_{\text{я}} = (U - E)/(R_{\text{я}} + R_{\text{п}})$ при гальмівному спуску буде значно більшою ніж у рушійному режимі, і тому як для обмеження струму, так і для отримання кожен раз потрібного моменту у коло якоря обов'язково вводять додатковий регульований опір $R_{\text{п}}$.

Гальмування зміною полярності якоря на ходу двигуна найхарактерніший режим противмикання. При переключенні обмотки якоря, у ній змінюється напрям протікання струму, а оскільки напрям магнітного потоку обмотки збудження лишається незмінним, то обертовий момент на якорі змінить свій напрям і буде направленим проти обертання ротора, а отже гальмуватиме його.

Динамічне гальмування. Якщо обмотки якоря працюючого шунтового двигуна відключити від мережі і замкнути на зовнішній опір $R_{\text{х}}$ (див. мал. 3.7), то продовжуючи обертатись за інерцією, він посилатиме струм як у коло обмотки

збудження так і через опір R_x , внаслідок того, що у його обмотках індукватиметься ЕРС E .

5. Двигун постійного струму послідовного збудження (серієсний двигун)

У даному двигуні обмотка збудження включена послідовно до обмотки якоря (див. мал. 3.8), при цьому оскільки через обмотку збудження даного двигуна протікає струм навантаження, то її виготовляють із відносно невеликої кількості витків проводу великого перетину. Залежність магнітного потоку від сили струму $\Phi(I)$ має нелінійний характер і її важко виразити аналітично, тому складно привести точний аналітичний вираз механічної характеристики даного двигуна, але для навантаження меншого за 75% від номінального, поки магнітопровід ненасичений, можна вважати, що магнітний потік серієсного двигуна зростає пропорційно до струму якоря $\Phi = k_M I_A$, але оскільки у даному двигуні $I_A = I_3$ то:

$$M = k_1 I_A^2 = k_2 \Phi^2.$$

Отже обертовий момент серієсного двигуна пропорційний квадрату струму якоря. Якщо у вираз механічної характеристики двигунів постійного струму підставити замість магнітного потоку його значення із наведеної вище формули $\Phi = \sqrt{Mk_3}$ і виконати перетворення, то рівняння механічної характеристики двигунів постійного струму послідовного збудження набуде вигляду:

$$\omega = \frac{U}{\sqrt{Mk_3}} - \frac{(R_A + R_{II})}{k_4}.$$

Вона має гіперболічний характер із великою крутизною в області малих значень моменту, а в області високих значень моменту, внаслідок насичення магнітної системи двигуна, магнітний потік при зростанні навантаження практично не змінюється і залежність близька до лінійної (див. мал. 3.9). Двигуни серієсного типу мають м'яку механічну характеристику і тому при значному зростанні навантаження різко сповільнюються. При різкому зниженні навантаження кутова швидкість двигуна різко зростає (при $M \rightarrow 0 \Rightarrow I_A \rightarrow 0 \Rightarrow \Phi \rightarrow 0 \Rightarrow \omega \rightarrow \infty$) і двигун іде "вразнос". Тому його рекомендується включати при навантаженні $M_0 \geq 0,25M_H$, окрім того забороняється з'єднувати серієсний двигун із робочою машиною за допомогою пасової передачі, оскільки при її обриві або при зіскакуванні паса двигун перейде у холостий режим і піде "вразнос".

Властивість даного двигуна розвивати великий обертовий момент (оскільки двигун має велику перевантажувальну здатність $\mu_K = M_{\max}/M_H = (2,5 \div 3)$) сприяє його широкому використанню у вантажопідіймальних пристроях, у важких металорізальних станках з великими інерційними масами, а також у якості тягових двигунів на транспорті та в інших приводах де можливі часті перевантаження а рівномірність роботи не має великого значення.

6. Регулювання кутової швидкості двигунів постійного струму послідовного збудження

Із виразу електромеханічної характеристики двигунів постійного струму слідує, що всі способи регулювання кутової швидкості шунтового двигуна можуть бути використані і у серієсному двигуні.

Введення додаткового опору у коло якоря. Даний спосіб регулювання кутової швидкості серієсного двигуна здійснюється аналогічно як і у шунтовому двигуні та має такі ж переваги та недоліки. Механічні характеристики серієсного

двигуна при зміні величини додаткового опору у колі його якоря приведені на мал. 3.9.

Зміна величини напруги, що підводиться до затискачів якоря двигуна. Для регулювання кутової швидкості серієсних двигунів малої та середньої потужності можна також використовувати регульований випрямляч, у якому напруга постійного струму змінюється за допомогою автотрансформатора, а для керування двигунами великої потужності доцільно використовувати систему “генератор - двигун”.

Зміна основного магнітного потоку обмотки збудження. Даний спосіб регулювання у двигуні послідовного збудження можна здійснити двома способами: шунтування обмотки збудження за допомогою реостату R_{III} та секціонуванням обмотки збудження.

7. Режими роботи двигунів постійного струму послідовного збудження

Приведеним вище режимом не вичерпуються всі можливості даного двигуна, він як і шунтовий двигун може працювати у гальмівних режимах, що дозволяють швидко загальмовувати робочу машину. Гальмування з рекуперацією енергії для даного двигуна неможливе, оскільки не можливо збільшити його зворотну ЕРС E вище від напруги мережі ні шляхом збільшення магнітного потоку, так як він залежить від струму якоря, ні шляхом збільшення кутової швидкості вище швидкості ідеального холостого ходу ω_0 , оскільки у даного двигуна $\omega_0 \rightarrow \infty$.

Гальмування противмиканням можна здійснити як і для шунтового двигуна двояко:

- гальмівний спуск;
- зміною полярності обмотки якоря чи обмотки збудження на ходу двигуна.

На відміну від шунтових двигунів, у серієсних можна змінювати полярність не тільки якоря, але і обмотки збудження (оскільки вона має невелику кількість витків).

Механічні характеристики режиму гальмівного спуску являють собою продовження характеристик рушійних режимів із квадрантів I і III у квадранти II і IV – відповідно (див. мал. 3.14). Гальмування противмиканням за методом зміни полярності обмоток на ходу двигуна отримуються в результаті перевodu двигуна із механічних характеристик рушійного режиму у I квадранті на механічні характеристики гальмування противмиканням у IV квадранті при попередньому прямому обертанні (при $\omega_{II} > 0$) і з механічних характеристик рушійного режиму у III квадранті на механічні характеристики гальмування противмиканням у II квадранті при попередньому зворотному обертанні (при $\omega_{II} < 0$). Для нормалізації роботи двигуна та приводу у гальмівних режимах противмикання, а також для обмеження струму та величина гальмівного моменту, у коло якоря обов'язково вводять регульований опір.

Динамічне гальмування. Для перевodu серієсного двигуна у режим динамічного гальмування, його обмотки якоря та збудження відключають від мережі і замикають на опір R_x . Динамічне гальмування може відбуватись як при незалежному збудженні (мал. 3.15, а), так і при самозбудженні (мал. 3.15, б). Щоб запобігти розмагнічуванню, при гальмуванні із самозбудженням необхідно змінити полярність якоря або обмотки збудження.

8. Двигун постійного струму змішаного збудження (компаундний)

Двигун змішаного збудження має дві обмотки збудження: послідовну ОЗ1 та паралельну ОЗ2 (див. мал. 3.16.). Формула електромеханічної характеристики має вигляд:

$$\omega = \frac{U - (R_{я} + R_{п})I_{я}}{k_e(\Phi_1 \pm \Phi_2)}, \quad (3.6)$$

де Φ_1 і Φ_2 - магнітні потоки паралельної та послідовної обмоток збудження.

Виходячи із загального рівняння електромеханічної характеристики двигунів постійного струму, механічна характеристика компаундного двигуна має вигляд:

$$\omega = \frac{U}{k_e(\Phi_2 \pm \Phi_1)} - M \frac{(R_{я} + R_{п})}{k_M k_e (\Phi_2 \pm \Phi_1)^2}.$$

Оскільки невідома аналітична залежність магнітного потоку від струму якоря, то побудувати механічну характеристику компаундного двигуна за наведеним виразом неможливо. Паралельна обмотка ОЗ2 забезпечує мінімальний магнітний потік, який при зміні навантаження не змінюється і не допускає двигун до розносу. Даний двигун має м'яку механічну характеристику (див. мал. 3.17), великий пусковий момент та велику перевантажувальну здатність $\mu_k = 2,2 \dots 2,7$ але без небезпечної властивості іти "врознос". Механічні характеристики компаундного двигуна (крива К на мал. 3.17) займають проміжне положення між характеристиками шунтового (крива Ш на мал. 3.17) та серієсного (крива С на мал. 3.17) двигунів. На мал. 3.17 приведена також механічна характеристика компаундного двигуна при неузгодженому включенні обмоток та великій кількості витків послідовної обмотки (крива K_H).

Кутову швидкість компаундного двигуна можна регулювати такими ж способами як і шунтового та серієсного. Щоб змінити напрям обертання двигуна, змінюють напрям протікання струму у колі якоря чи в паралельній обмотці збудження. Компаундні двигуни можуть працювати у тих же гальмівних режимах, що і шунтові двигуни. Однак наявність двох обмоток збудження робить двигун змішаного збудження дорожчим від шунтових і серієсних двигунів, що дещо обмежує його застосування. Двигуни змішаного збудження застосовують звичайно там, де вимагаються значні пускові моменти, швидке прискорення при розгоні, стійка робота і допустиме лиш незначне зменшення кутової швидкості при збільшенні навантаження (прокатні стани, підймальні механізми, насоси, компресори).

Контрольні запитання:

1. Принцип дії ДПС. Від чого залежить ЕРС і електромагнітний момент ДПС?
2. Рівняння механічної та електромеханічної характеристики ДПС НЗ.
3. Який вигляд мають штучні механічні та електромеханічні характеристики ДПС НЗ при зміні опору якорного кола, напруги і магнітного потоку?
4. Як здійснити гальмівні режими ДПС НЗ?
5. Назвіть і охарактеризуйте показники регулювання кутової швидкості електропривода.
6. Якими способами можна регулювати швидкість ДПС НЗ?
7. Охарактеризуйте показники регулювання кутової швидкості ДПС зміною опору кола якоря, напруги на якорі, магнітного потоку.
8. Назвіть джерела електричної енергії, від яких одержують живлення ДПС НЗ при регулюванні зміною напруги. Які їх переваги і недоліки?
9. Проаналізуйте рівняння електромеханічної і механічної характеристик ДПС

ПЗ.

10. В яких гальмівних режимах може працювати ДПС ПЗ?

11. Якими способами можна регулювати швидкість обертання ДПС ПЗ?

12. Проаналізуйте рівняння механічної та електромеханічної характеристики ДПС 33.

13. В яких гальмівних режимах може працювати ДПС 33?

Література:

4. Електропривод: Навчальний посібник/ О.Ю. Синявський, П.І. Савченко, В.В. Савченко, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Ю.М. Хандола, І.П. Ільчов; За ред. О.Ю. Синявського. - К.: Аграр Медіа Груп, 2013.-586 с. ISBN 978-617-646-201-9;

5. Електропривод: підруч. для вузів. Ч.1/О.С. Марченко, Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко, Є.Л. Жулай; за ред. О.С. Марченка. – К. : Урожай, 1995. – 207 с.. – ISBN 5-337-01695-4;

6. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В.Зайцев, О.С.Марченко та ін.; Ред. Є.Л. Жулай. – К. : Вища освіта, 2001. – 288 с.. – ISBN 966-95995-2-0.

ЛЕКЦІЯ № 3

АСИНХРОННІ ДВИГУНИ

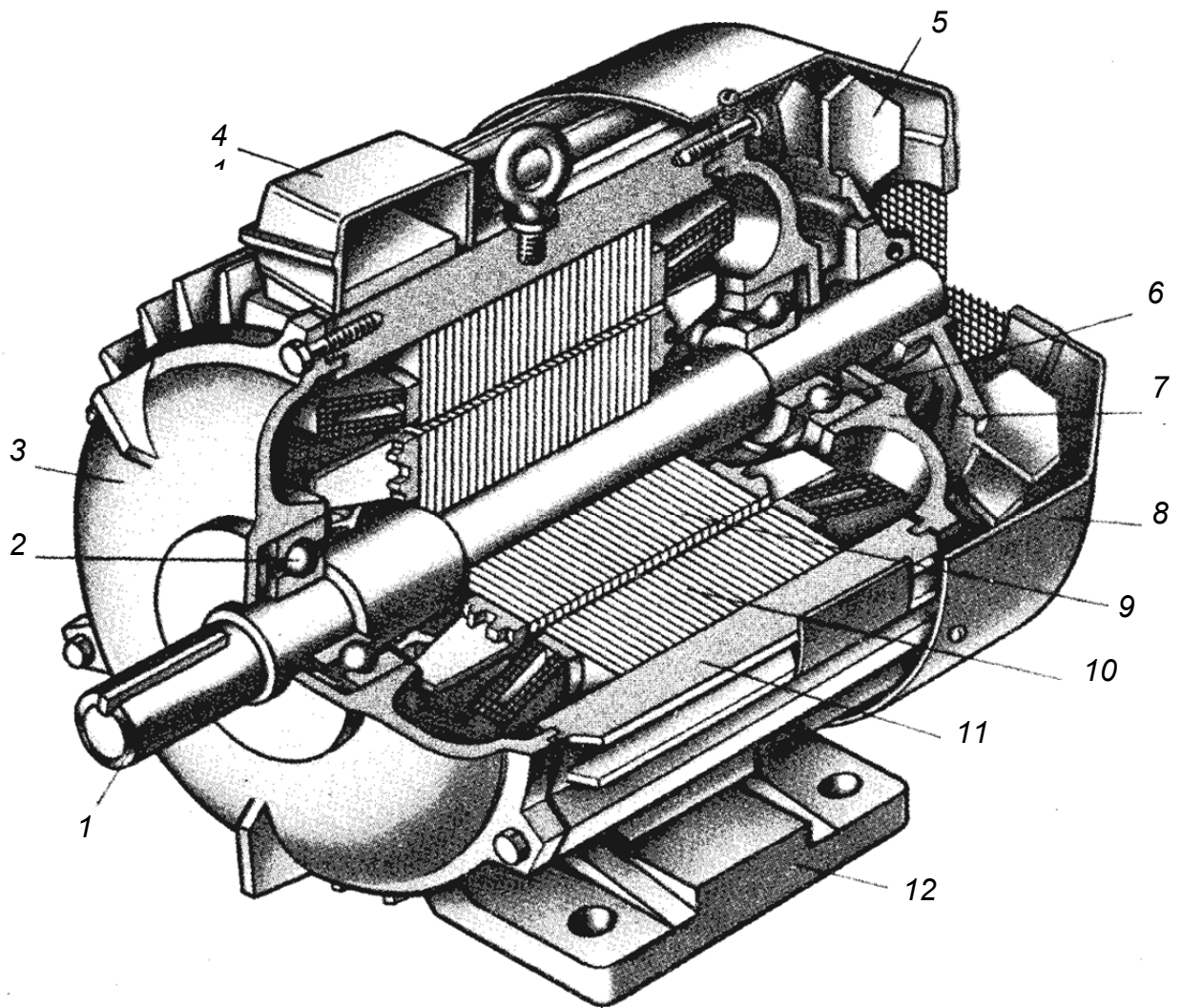
План

- 1. Будова і принцип роботи асинхронного двигуна;*
- 2. Механічна характеристика асинхронного двигуна;*
- 3. Пусковий режим асинхронного двигуна;*
- 4. Регулювання частоти обертання асинхронних двигунів;*
- 5. Режими роботи асинхронних двигунів;*
- 6. Однофазний асинхронний двигун;*
- 7. Робота трифазного асинхронного двигуна в однофазному режимі.*

1. Будова і принцип роботи двигуна

Асинхронний двигун складається з двох основних частин, розділених повітряним зазором: нерухомого статора й обертового ротора. Кожна з цих частин має осердя й обмотку. При цьому обмотка статора включається в мережу і є немовби би первинною, а обмотка ротора – вторинною, тому що енергія в неї надходить з обмотки статора за рахунок магнітного зв'язку між цими обмотками, як у трансформатора.

За своєю конструкцією асинхронні двигуни поділяються на два види: двигуни з короткозамкнутим ротором і двигуни з фазним ротором. Будову *трифазного асинхронного двигуна з коротко-замкнутим ротором* показано на мал. 4.1. Двигуни цього виду мають найбільш широке застосування. Нерухома частина двигуна - статор складається з корпусу 11 та осердя 10 із трифазною обмоткою. Корпус двигуна відливають з алюмінієвого сплаву чи з чавуну або роблять зварним. Розглянутий двигун має закрите обдувне виконання. Тому поверхня його корпусу має ряд повздовжніх ребер, призначення яких полягає в тому, щоб збільшити поверхню охолодження двигуна. У корпусі розташоване осердя 10 статора, що має шихтовану конструкцію: штамповані листи з електро-технічної сталі, яка має найменші втрати на перемагнічування, товщиною 0,3...0,5 мм,



Мал. 4.1 – Будова трифазного асинхронного двигуна з коротко-замкнутим ротором: 1 - вал; 2, 6 - підшипники; 3, 7 - підшипникові щити; 4 - коробка виводів; 5 - вентилятор; 8 - кожух вентилятора; 9 - осердя ротора з короткозамкнутою обмоткою; 10 - осердя статора з обмоткою; 11 - корпус; 12 - лапи

Обертове поле статора зчіплюється як з обмоткою статора, так і з обмоткою ротора і наводить у них ЕРС. Будучи ЕРС самоіндукції, вона діє зустрічно прикладеній до обмотки напрузі й обмежує значення струму в обмотці. Обмотка ротора замкнута, тому ЕРС ротора породжує в стержнях обмотки ротора струми. Взаємодія цих струмів із полем статора створює на роторі електромагнітні сили P_{EM} , напрямок яких визначають за правилом “лівої руки”. Сукупність сил P_{EM} створює на роторі електромагнітний момент M , що приводить його в обертання з частотою $n < n_C$ у сторону обертання поля статора. Величину електромагнітного моменту M можна визначити за залежністю:

$$M = k\Phi I_2 \cos \psi_2, \quad (4.2)$$

де k – постійний коефіцієнт;

Φ – магнітний потік обмоток двигуна;

I_2 – струм в обмотках ротора;

ψ_2 – кут зсуву фаз між струмом I_2 та ЕРС ротора.

Обертання ротора за допомогою вала передається виконавчому механізмові. Таким чином, електрична енергія, що надходить із мережі в обмотку статора, перетворюється в механічну енергію обертання ротора двигуна.

2. Механічна характеристика асинхронного двигуна

Залежність між обертовим моментом асинхронного двигуна та кутовою швидкістю його валу, що називається його *механічною характеристикою*, описується рівнянням, куди входять параметри двигуна. Це рівняння дещо громіздке й незручне у користуванні, тому при практичних розрахунках частіше користуються приблизною формулою Клосса:

$$M = \frac{M_K(2+q)}{\frac{S}{S_K} + \frac{S_K}{S} + q}, \quad (4.4)$$

де M - обертовий момент електродвигуна, Нм;

M_K - критичний момент двигуна, Нм;

S_K - критичне ковзання асинхронного двигуна, що рівне:

$$S_K = S_H(\mu_K + \sqrt{\mu_K^2 - 1});$$

q - допоміжний коефіцієнт, який можна визначити зі співвідношення:

$$q = (1/S_K + S_K - 2\mu_1)/(\mu_1 - 1).$$

Для двигунів значної потужності q приймається рівним нулю.

- допоміжний каталожний коефіцієнт μ_1 , що рівний:

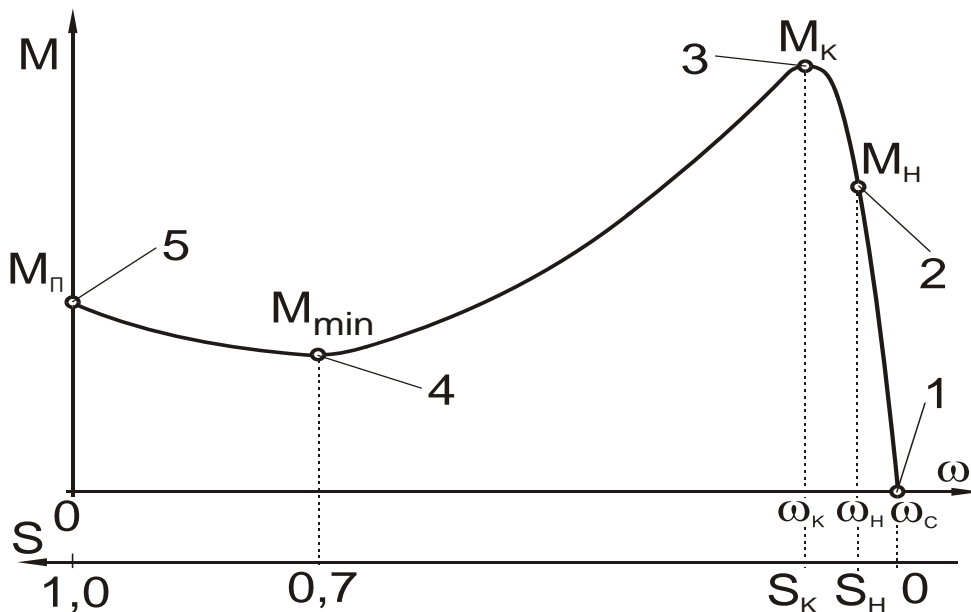
$$\mu_1 = \mu_K / \mu_P,$$

де μ_P - кратність пускового моменту двигуна;

μ_K - перевантажувальна здатність двигуна;

S_H - номінальне ковзання двигуна, що рівне:

$$S_H = (\omega_C - \omega_H) / \omega_C.$$



Мал. 4.6 – Механічна характеристика асинхронного двигуна

Номінальний струм трифазних асинхронних коротко-замкнутих двигунів можна визначити з формули:

$$I_H = P_H / \sqrt{3} \eta_H U_H \cos \varphi_H; \quad (4.7)$$

де P_H - номінальна потужність електродвигуна, Вт;

U_H - номінальна напруга, В;

$\cos \varphi_H$ - номінальний коефіцієнт потужності;

η_H - номінальний коефіцієнт корисної дії електродвигуна.

3. Пусковий режим асинхронного двигуна

Одним із найбільш шкідливих режимів роботи асинхронного двигуна є пусковий режим, при якому він споживає великий пусковий струм, що призводить до швидкого його перегрівання та значного падіння напруги у мережі, особливо у сільській місцевості, де використовуються малопотужні трансформаторні підстанції, а лінії електропередач виготовляються із проводу невеликого перетину та мають значну протяжність. Пусковий струм двигуна I_{II} (А):

$$I_{II} = k_I I_H,$$

де k_I - кратність пускового струму (знаходиться у межах $k_I = 5-10$ і вибирається з довідників).

Значне зростання пускового струму названого двигуна пов'язане з тим, що при підключенні статора трифазного двигуна до мережі у ньому утворюється обертове магнітне поле, яке миттєво набирає своєї синхронної швидкості $n_C = 1000-3000$ об/хв, а ротор унаслідок інертності в першу мить нерухомий, при цьому витки обмотки його ротора перетинають велику кількість силових ліній обертового магнітного поля статора й у них індукується великий пусковий струм I_{II} . Далі ротор зрушує з місця і починає наздоганяти обертове магнітне поле статора, при цьому витки його обмоток перетинають все менше силових ліній обертового магнітного поля й струм у них зменшується до величини, що відповідає навантаженню двигуна.

Зменшення шкідливих наслідків від пускових режимів двигуна можна досягнути або при зменшенні величини пускових струмів шляхом запуску двигунів при пониженій фазній напрузі чи використанні двигунів із фазними роторами, або при зменшенні часу запуску двигуна шляхом запускання двигуна без навантаження в холосту чи використовуючи для з'єднання двигуна з робочими машинами відцентрові муфти. Зменшення пускового струму за рахунок зменшення фазної напруги досягається перемиканням обмоток статора на період пуску з "трикутника" на "зірку" або спеціальним трифазним трансформатором. Запуск потужних двигунів із фазним ротором здійснюється за допомогою трисекційного трифазного реостата, який перед запуском виставляється на максимальний опір. Далі, у міру розгону двигуна цей опір зменшується і при досягненні двигуном номінальних обертів закорочується. При запуску двигуна з додатковим опором у колі фазного ротора не тільки зменшується кратність пускового струму до величини $k_I = 2-3$, але зростає і величина пускового моменту (див. мал. 4.7). І все ж, незважаючи на кращі експлуатаційні характеристики, ці двигуни порівняно з короткозамкненими складніші за будовою, на третину дорожчі і вимагають автоматичної апаратури керування, тому вони у сільському господарстві використовуються дуже рідко.

4. Регулювання частоти обертання асинхронних двигунів

Регулювання частоти обертання зміною активного опору в колі ротора. Цей спосіб регулювання частоти обертання можливий лише у двигунах із фазним ротором. Механічні характеристики асинхронного двигуна, побудовані для різних значень активного опору кола ротора (див. мал. 4.7), показують, що зі збільшенням активного опору ротора зростає критичне ковзання, а критичний момент лишається незмінним. Практично зміна активного опору кола ротора досягається включенням у коло ротора регульовального реостата, подібного до пускового реостата, але розрахованого на тривалий режим роботи.

Регулювання частоти обертання зміною напруги живлення.

Електромагнітний момент асинхронного двигуна пропорційний квадрату

напруги мережі живлення. Це значною мірою відбивається на експлуатаційних властивостях двигуна: *навіть невелике зниження напруги мережі викликає помітне зменшення обертового моменту асинхронного двигуна*. Наприклад, при зменшенні напруги мережі на 10% відносно номінальної електромагнітний момент двигуна зменшується на 19 %.

Регулювання частоти обертання зміною числа полюсів обмотки статора.

Цей спосіб регулювання заснований на зміні синхронної частоти обертання $n_c = 60 f/p$ і дає ступінчасте регулювання. Так, при $f = 50$ Гц і $p = 1 \div 5$ пар полюсів можна одержати такі синхронні частоти обертання: 3000, 1500, 1000, 750, 600 об./хв.

Змінювати число полюсів в обмотці статора можна або укладанням на статорі двох обмоток із різним числом полюсів, або укладанням на статорі однієї обмотки, конструкція якої дозволяє шляхом переключення котушкових груп одержувати різне число полюсів. Останній спосіб набув найбільшого застосування, а двигуни, у яких передбачена така можливість, називаються *багато-швидкісними*.

Регулювання частоти обертання зміною частоти струму в статорі. Цей спосіб регулювання (частотне регулювання) також заснований на зміні синхронної частоти обертання $n_c = 60 f/p$.

Для здійснення цього способу регулювання необхідне джерело живлення двигуна змінним струмом із регульованою частотою. Для цього можуть застосовуватися електромашинні, іонні чи напівпровідникові перетворювачі частоти (ПЧ).

5. Режими роботи асинхронних двигунів

Наведеним вище режимом не вичерпуються всі можливості зазначеного двигуна, значний інтерес становлять можливості переведення асинхронного двигуна на роботу у гальмівних режимах, що дозволяють швидко загальмовувати робочу машину. З великого числа можливих способів гальмування електродвигунів розглянемо три, що становлять найбільший інтерес для сільського господарства.

Гальмування з рекуперацією енергії полягає у тому, що двигун у період гальмування переводиться у режим асинхронного генератора, який виробляє активну електричну енергію і подає її у мережу, а реактивну енергію, що необхідна для створення магнітних полів, споживає з мережі. У цьому режимі двигун під дією зовнішніх сил чи запасу кінетичної енергії обертається у попередньому напрямі зі швидкістю, більшою за синхронну, розвиваючи при цьому гальмівний момент. Рекуперативне гальмування використовують при гарячому обкатуванні автотракторних двигунів після ремонту. Асинхронний двигун із фазним ротором, що раніше приводив у рух відремонтований автотракторний двигун, при наданні йому з боку останнього кутової швидкості, більшої від синхронної, починає працювати у рекуперативному гальмівному режимі і завантажуватиме відремонтований автотракторний двигун.

Гальмування противмиканням. Це такий режим, при якому ротор двигуна під дією зовнішніх сил чи за інерцією обертається у напрямі, протилежному обертанню магнітного поля статора. Гальмування противмиканням можна здійснити двома шляхами. У *режимі гальмівного спуску* асинхронний двигун працює тоді, коли він включений для обертання в одному напрямку, але під дією навантаження (наприклад, великої ваги вантажу) обертається у іншому.

Гальмування противмиканням при перемиканні фаз обмоток на зворотне обертання на ходу двигуна засноване на тому, що в результаті перемикання фаз

змінюється напрям обертання магнітного поля статора, створюється гальмівний момент, обертання ротора при цьому сповільнюється. Коли кутова швидкість ротора наблизиться до нуля, його необхідно відключити від мережі, а то він почне обертатись у зворотному напрямі

Динамічне гальмування. Це такий режим, при якому фазні обмотки статора двигуна відключаються від мережі змінного струму і хоча б на одну з них подається понижена постійна напруга. Постійний струм, що протікає по обмотці, створює нерухоме магнітне поле. Під його дією, в обмотках ротора, що обертається за інерцією, індукується струм. Взаємодія цього струму з магнітним потоком зумовлює виникнення гальмівного моменту.

6. Однофазний асинхронний двигун

За своєю будовою однофазний асинхронний двигун аналогічний трифазному і складається зі статора, у пазах якого розміщена однофазна обмотка, і короткозамкнутого ротора. Особливість роботи однофазного асинхронного двигуна полягає в тому, що при включенні однофазної обмотки статора у мережу створюється не обертовий, а *пульсуючий* магнітний потік з амплітудою Φ_{max} , що змінюється від $+\Phi_{max}$ до $-\Phi_{max}$. При цьому вісь магнітного потоку залишається нерухомою у просторі. Для пояснення принципу дії однофазного двигуна пульсуючий потік Φ_{max} розкладемо на два обертових у протилежні сторони потоки Φ_{np} і Φ_{zv} , кожен із яких дорівнює $0,5\Phi_{max}$. Домовимося вважати потік Φ_{np} , що обертається в напрямку обертання ротора, *прямим*, а потік Φ_{zv} – *зворотним*.

Активний опір та індуктивність у якості ΦE не забезпечують одержання фазового зсуву між струмами в 90° . Лише тільки ємність C в якості ΦE забезпечує необхідний фазовий зсув. Значення цієї ємності вибирають таким, щоб струм пускової обмотки I_{II} у момент пуску ($S = 1$) випереджав по фазі напругу на кут до 90° . Якщо при цьому обидві обмотки створюють однакові за значенням магнітні потоки, то в початковий період пуску обертове поле виявиться круговим і двигун буде розвивати значний початковий пусковий момент. Однак застосування ємності в якості ΦE часто обмежується значними габаритами конденсаторів, тим більше, що для одержання кругового поля потрібні конденсатори значної ємності. Наприклад, для однофазного двигуна потужністю 200 Вт необхідна ємність 30 мкФ при робочій напрузі 300-500 В.

Асинхронні конденсаторні двигуни. Асинхронний конденсаторний двигун має на статорі дві обмотки, що займають однакове число пазів і зсунуті в просторі одна відносно одної на 90 ел. град. Одну з обмоток – головну – включають безпосередньо в однофазну мережу, а іншу – допоміжну – включають у цю ж мережу, але через робочий конденсатор C_P (мал. 4.13 а). На відміну від розглянутого раніше однофазного асинхронного двигуна, в конденсаторному двигуні допоміжна обмотка після пуску не відключається й залишається включеною протягом усього періоду роботи, при цьому ємність C_P створює фазовий зсув між струмами I_P і I_D .

Таким чином, якщо однофазний асинхронний двигун після закінчення процесу пуску працює з пульсуючим магнітним потоком статора, то конденсаторний двигун – з обертовим. Тому конденсаторні двигуни за своїми властивостями наближаються до трифазних двигунів. Однак ємність C_P забезпечує одержання кругового обертового поля лише за одного, цілком визначеного режиму роботи двигуна. Якщо ж зміниться режим (навантаження), то зміняться і струм I_D , і фазовий кут, а отже, і величина C_P , що відповідає круговому полю. Таким чином, якщо навантаження

двигуна відрізняється від розрахункового, то обертове поле двигуна стає еліптичним і робочі властивості двигуна погіршуються. Звичайно, розрахунок C_p ведуть для номінального навантаження чи близького до нього.

7. Робота трифазного асинхронного двигуна в однофазному режимі

Трифазний асинхронний двигун може бути використаний для роботи від однофазної мережі. У цьому разі такий двигун включають як конденсаторний за однією зі схем, наведених на мал. 4.14. Значення робочої ємності C_p (мкФ) при частоті змінного струму 50 Гц можна орієнтовно визначити за однією з формул: для схеми, зображеної на мал. 4.14 а:

$$C_p \approx 2700 \cdot I / U_M;$$

на мал. 4.14 б:

$$C_p \approx 2800 \cdot I / U_M;$$

на мал. 4.14 в:

$$C_p \approx 4800 \cdot I / U_M.$$

Тут I – номінальний фазний струм в обмотці статора, А;

U_M – напруга однофазної мережі, В.

Для керування електродвигуном, що вмикається за схемою з робочою та пусковою ємностями, доцільно використовувати пускач натискний вібростійкий, типу ПНВС, що має спеціальні пускові контакти, які розмикають коло пускової ємності при відпусканні кнопки “пуск”. Можна також використовувати магнітні пускачі та кнопкові пости, що вмикаються за спеціальними схемами. Для зміни напрямку обертання двигуна достатньо поміняти місцями виводи робочої чи пускової обмоток.

Контрольні запитання:

14. Що таке ковзання асинхронного двигуна і від чого воно залежить?
15. За якими характерними точками можна побудувати природну механічну характеристику асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором?
16. Назвіть способи електричного гальмування асинхронного двигуна.
17. Як здійснити рекуперативне гальмування, гальмування противмиканням і динамічне гальмування асинхронних двигунів?
18. Назвіть способи пуску асинхронних електродвигунів. До яких асинхронних двигунів застосовують пуск за допомогою автотрансформаторів?
19. Як змінюються пусковий струм і пусковий момент асинхронного двигуна при пуску з перемиканням обмоток статора із „зірки” на „трикутник”?
20. Назвіть можливі способи регулювання швидкості асинхронних двигунів.
21. Охарактеризуйте показники частотного регулювання швидкості асинхронних двигунів. Чому при частотному регулюванні разом із зміною частоти необхідно змінювати напругу і за яким законом?
22. Охарактеризуйте показники регулювання швидкості асинхронних двигунів зміною кількості пар полюсів?
23. Охарактеризуйте показники регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна зміною опору кола ротора.
24. У приводах яких машин використовують регулювання швидкості асинхронного двигуна зміною напруги? Двигуни якої електричної модифікації застосовують при цьому?
25. За якими схемами вмикають однофазні асинхронні двигуни? Які механічні характеристики мають однофазні конденсаторні двигуни?
26. Який вигляд має механічна характеристика синхронного двигуна?

27. Що таке кутова характеристика синхронного двигуна?
28. Як запускають синхронні двигуни?
29. Для приводу яких робочих машин застосовують синхронні двигуни? з малим вхідним моментом?; з великим вхідним моментом?
30. У яких гальмівних режимах може працювати синхронний двигун?

Література:

1. Електропривод: Навчальний посібник/ О.Ю. Синявський, П.І. Савченко, В.В. Савченко, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Ю.М. Хандола, І.П. Ільчов; За ред. О.Ю. Синявського. - К.: Аграр Медіа Груп, 2013.-586 с. ISBN 978-617-646-201-9;
2. Електропривод: підруч. для вузів. Ч.1/О.С. Марченко, Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко, Є.Л. Жулай; за ред. О.С. Марченка. – К. : Урожай, 1995. – 207 с.. – ISBN 5-337-01695-4;
3. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В.Зайцев, О.С.Марченко та ін.; Ред. Є.Л. Жулай. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.. – ISBN 966-95995-2-0.

ЛЕКЦІЯ № 4

ОСНОВИ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

План

1. Статичні та динамічні сили і моменти, що діють у системі електропривод - робоча машина;
2. Приведення моментів опору та моментів інерції;
3. Рівняння руху електроприводу;
4. Визначення часу перехідних процесів;
5. Енергетика перехідних процесів.

1. Статичні та динамічні сили і моменти, що діють у системі електропривод - робоча машина

Електродвигун та механізм, який приводиться ним у рух, утворюють механічну систему у якій двигун приводить у рух механізм, долаючи опір останнього. Характер руху визначається дією моментів, що прикладені до валу та моментом інерції системи J . Необхідно виділити два моменти: електромагнітний момент M , що розвиває двигун та статичний момент навантаження M_o , який складається із моменту сил опору механізму та моменту сил тертя, що діють у механічній системі.

Якщо моменти M та M_o діють у напрямку обертання ω , то вони називаються рушійними. При протилежних напрямках дії моментів і напрямку обертання, моменти називаються гальмівними.

Момент двигуна може бути рушійним або гальмівним, а момент сил опору – активним та реактивним.

Реактивними називають сили і моменти статичних опорів, які завжди спрямовані проти руху і при зміні напрямку руху змінюють свій знак, до них належать моменти, зумовлені силами тертя та різання.

Активні сили і моменти статичних опорів створюються сторонніми джерелами

механічної енергії і виникають у механічній системі незалежно від її руху. До активних належать моменти, що не змінюють свого напрямку при зміні напрямку обертання.

Всі елементи механічної частини системи електропривод - робоча машина мають певну масу, а отже і відповідну інертність (момент інерції). Завдяки інертності при переході системи від одного усталеного стану до іншого виникають динамічні сили або моменти, дія яких перешкоджає зміні стану системи. Всяке порушення усталеної швидкості системи супроводжується зміною запасеної в ній кінетичної енергії. Так, при розгоні рухомі елементи накопичують кінетичну енергію, а при сповільненні руху віддають її. Тому при стрибкоподібній зміні сили чи моменту двигуна та сил або моментів статичних опорів система не може миттєво перейти від одного усталеного стану до іншого.

2 Приведення моментів опору та моментів інерції

У більшості випадків розрахунки електроприводів ведуть з допущеннями, що механічна система складається з абсолютно жорстких елементів, які не деформуються і між якими немає зазорів. При такому допущенні за рухом одного елемента можна отримати інформацію про рух решти елементів системи.

При цьому реальну багато масову систему замінюють найпростішою одно масовою (одновальною) системою, що обертається із кутовою швидкістю вала двигуна, і яка в енергетичному відношенні еквівалентна реальній машині. Розрахункова схема системи зводиться до узагальненої жорсткої механічної ланки, яка має еквівалентний (приведений) момент інерції J , і на яку діє електромагнітний момент двигуна M_d і сумарний приведений до вала електродвигуна момент статичних опорів M_o , до якого входять всі механічні втрати в системі.

В основу принципу приведення моментів статичних опорів до вала електродвигуна покладена рівність потужності дійсної і приведенної машини.

Рівняння балансу потужностей складних систем, які мають обертові виконавчі органи та елементи, що рухаються поступально (мал. 1.3), запишеться:

$$P_d = P_{c1} + P_{c2} + \dots + P_{cn} + P_{noc} \quad (1.5)$$

де P_d - потужність на валу двигуна, Вт; P_{c1}, P_{c2}, P_{cn} - потужність, яка витрачається на обертання i -го механізму, Вт; P_{noc} - потужність, яка витрачається на привод механізму, що рухається поступально, Вт.

Підставивши значення потужностей та врахувавши втрати потужностей у передачах, рівняння (1.5) запишемо:

$$M_o \cdot \omega_d = \frac{M_{o1} \cdot \omega_1}{\eta_1} + \frac{M_{o2} \cdot \omega_2}{\eta_1 \cdot \eta_2} + \dots + \frac{M_{on} \cdot \omega_n}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdots \eta_n} + \frac{F_o \cdot v}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdots \eta_n \cdot \eta_{noc}}, \quad (1.6)$$

де M_o - приведений до вала електродвигуна момент статичних опорів системи, Н·м; $M_{o1}, M_{o2}, \dots, M_{on}$ - момент статичних опорів окремих елементів системи, які обертаються, Н·м; ω_d - кутова швидкість електродвигуна, рад/с; $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ - кутові швидкості обертання окремих елементів системи, рад/с; F_o - статичне зусилля елемента, що рухається поступально, Н; v - лінійна швидкість елемента, що рухається поступально, м/с; $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n, \eta_{noc}$, - відповідно, коефіцієнти корисної дії передач між валами системи та передачі до елемента, що рухається поступально.

Розділивши рівняння (1.6) на ω_d одержимо:

$$M_o = \frac{M_{o1}}{\eta_1 \cdot i_1} + \frac{M_{o2}}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot i_1 \cdot i_2} + \dots + \frac{M_{on} \cdot \omega_n}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdots \eta_n \cdot i_1 \cdot i_2 \cdots i_n} + \frac{F_o \cdot v}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdots \eta_n \cdot \eta_{noc} \cdot \omega_d}, \quad (1.8)$$

де i_1, i_2, \dots, i_n - передавальні відношення передач між валами системи.

Якщо робоча машина здійснює тільки обертовий рух, або тільки поступальний

рух, то рівняння (1.8) відповідно матиме такий вигляд:

$$M_O = \frac{M_{Opm}}{\eta_n \cdot i}; \quad (1.9)$$

$$M_O = \frac{F_O \cdot v}{\eta_n \cdot \omega_\delta}. \quad (1.10)$$

Приведення до вала електродвигуна моментів інерції системи і механічних її мас, що рухаються поступально, виконують на основі рівності запасів кінетичної енергії дійсної і приведенної системи.

Для системи, що зображена на мал. 1.3, рівняння балансу кінетичної енергії буде:

$$J \frac{\omega_\delta^2}{2} = J_\delta \frac{\omega_\delta^2}{2} + J_1 \frac{\omega_1^2}{2} + J_2 \frac{\omega_2^2}{2} + \dots + J_n \frac{\omega_n^2}{2} + \frac{mv^2}{2}, \quad (1.11)$$

де J - приведений до вала електродвигуна момент інерції системи, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; J_δ - момент інерції ротора (якоря) електродвигуна і частин, що обертаються на його валу, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; J_1, J_2, \dots, J_n - моменти інерції елементів, що обертаються з валами 1, 2, ..., n , $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; m - маса елементів, кг , що рухаються поступально зі швидкістю v , м/с .

Розділивши рівняння (1.11) на $\omega_\delta^2/2$ і замінивши відношення кутових швидкостей на відповідні передавальні числа, одержимо:

$$J = J_\delta + \frac{J_1}{i_1^2} + \frac{J_2}{i_1^2 i_2^2} + \dots + \frac{J_m}{i_1^2 i_2^2 \dots i_n^2} + \frac{mv^2}{\omega_\delta^2}, \quad (1.12)$$

Якщо робоча машина має тільки обертовий рух, то рівняння (1.12) матиме такий вигляд:

$$J = kJ_\delta + \frac{J_{pm}}{i^2}, \quad (1.13)$$

де $k = 1, 2$ - коефіцієнт, що враховує момент інерції механічного передавального пристрою, величина якого не відома.

3. Рівняння руху електропривода

Як відомо, електродвигуни можуть працювати у рушійному і в гальмівному режимах, тобто знак моменту двигуна може бути позитивним і негативним ($\pm M_\delta$). Активні моменти статичних опорів також можуть змінювати свій знак, тому рівняння (1.21) матиме такий вигляд:

$$M_{дин} = \pm M_\delta \pm M_O = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (1.26)$$

З аналізу рівняння (1.26) випливає, що:

- 1) при $F_\delta > F_O$ та $M_\delta > M_O$ прискорення dv/dt і $d\omega/dt$ мають позитивний знак, тобто система працює з прискоренням;
- 2) при $F_\delta < F_O$ та $M_\delta < M_O$, $dv/dt < 0$, $d\omega/dt < 0$ і рух системи сповільнюється;
- 3) при $F_\delta = F_O$ та $M_\delta = M_O$, $dv/dt = 0$, $d\omega/dt = 0$, тобто привод працює в усталеному режимі.

Рівняння руху електроприводу дозволяє розв'язати такі задачі:

- побудова навантажувальних діаграм;
- визначення механічного навантаження двигуна при рівномірній та нерівномірній роботі;
- в'яснення необхідності застосування маховиків та їх вибір;
- розрахунок швидкісних режимів;
- визначення часу розгону та гальмування двигуна з машиною;

- вибір схеми керування двигуном та пускорегулювальної апаратури.

Якщо $M_{дин} = M_{\delta} - M_{O} = 0$ привод працює в усталеному режимі, але тільки тоді коли система приводу статично стійка, а отже після будь-якого збурення повертається у вихідний стан. Статична стійкість визначається видом механічних характеристик двигуна і робочої машини.

4. Визначення часу перехідних процесів

Режими роботи електроприводів поділяються на *усталені та неусталені*. Усталеним називається режим, при якому електропривод працює з постійними струмом, моментом, швидкістю обертання і температурою. Режимми, при яких ці параметри змінюються, називаються неусталеними.

Режими роботи електроприводів при переході від одного усталеного стану до іншого називають *перехідними режимами або перехідними процесами*.

При розрахунку електроприводів потрібно знати час пуску або гальмування системи електродвигун - робоча машина. Така необхідність виникає при розробці технологічних процесів, пов'язаних з частими пусками, гальмуваннями і реверсуванню електродвигунів; при перевірці двигунів на нагрівання під час перехідних режимів тощо.

Якщо прийняти приведений момент інерції системи J незмінним, то рівняння руху електропривода (1.21) можна записати так:

$$dt = J \frac{d\omega}{M_{\delta} - M_{O}} \quad (3.1)$$

де t - час перехідного процесу при зміні швидкості електродвигуна від ω_1 до ω_2 .

Оскільки момент електродвигуна і момент статичних опорів системи є функціями швидкості, то аналітичний розв'язок цього рівняння (3.2) часто дуже складний, а іноді неможливий через складність рівнянь механічних характеристик електродвигуна і робочої машини. В деяких випадках розв'язання можна спростити.

У тих випадках, коли аналітичний розв'язок занадто складний або неможливий через відсутність точного рівняння механічної характеристики (наприклад, у асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором), час пуску визначають графічним або графоаналітичним методами.

Метод ґрунтується на розв'язку рівняння руху електропривода в кінцевих приростах:

$$M_{\delta} - M_{O} = J \frac{\Delta\omega}{\Delta t}, \quad (3.16)$$

припускаючи, що за деякий малий проміжок часу Δt динамічний момент $M_{дин} = M_{\delta} - M_{O}$ постійний і дорівнює середньому його значенню на цьому проміжку.

Тривалість пуску графоаналітичним методом розраховують у такій послідовності:

1. Будують механічні характеристики електродвигуна $M_{\delta} = f(\omega)$ і виробничого механізму $M_{O} = f(\omega)$ на одному малюнку.

2. Графічно знаходять різницю $M_{дин} = M_{\delta} - M_{O}$ і будують графік динамічного моменту $M_{дин} = f(\omega)$.

3. Замінюють криву динамічного моменту кусковою ламаною з горизонтальними ділянками, що відповідають середньому значенню динамічного моменту $M_{дин\cdot ср}$ на кожній ділянці.

4. За виразом (3.16) знаходять приріст часу на i -й ділянці графіка:

$$\Delta t_i = J \frac{\Delta \omega_i}{M_{\text{дин.сп.і}}} \quad (3.17)$$

де J - приведений момент інерції системи електродвигун-робоча машина, рівний:

$$J = kJ_{\text{об}} + \frac{J_{\text{рм}}}{i^2}$$

де k – коефіцієнт, що враховує момент інерції передачі від двигуна до робочої машини ($k = 1,2$);

$\Delta \omega_i = \omega_i - \omega_{i-1}$ – інтервал кутової швидкості.

5. Знаючи тривалості розгону на кожній ділянці, повний час визначається їх сумою:

$$t_{\text{п}} = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \quad (3.18)$$

5. Енергетика перехідних процесів

Втрати електроенергії в перехідних режимах можуть бути достатньо великими оскільки у цих режимах по обмотках двигуна протікають значні струми, які значно перевищують номінальні значення і викликають підвищене нагрівання двигуна, тому втрати енергії є вирішальним фактором при виборі потужності двигуна.

Потужність P_1 , споживана електроприводом з мережі, може бути розділеною на три складові:

1) $P_m = M_m \cdot \omega_m$ - потужність, що витрачається на приведення в рух виконавчого органу робочої машини і подолання його опору;

2) $P_{\text{дин}} = M_{\text{дин}} \cdot \omega_m$ - потужність, що витрачається на зміну запасу кінетичної і потенціальної енергії в механічній частині електропривода;

3) $\Delta P_2 = I^2 R$ - втрати в обмотках електродвигуна при проходженні через них струму навантаження, які перетворюються у теплоту.

Втрати енергії в обмотках двигуна ΔA_p за час його розгону можуть бути визначені таким чином.

Потужність обертового магнітного поля статора під час пуску рівна:

$$P_1 = M \cdot \omega_c,$$

де M - обертовий момент двигуна; ω_c – синхронна кутова швидкість магнітного поля.

Потужність, що втрачається у роторі двигуна:

$$\Delta P_2 = P_1 S,$$

де S – ковзання ротора асинхронного двигуна, що змінюється у процесі його розгону.

Втрати енергії у роторі двигуна за період пуску можна виразити так:

$$\Delta A_p = \int_{t_1}^{t_2} P_1 S dt = \int_{t_1}^{t_2} M \omega_c S dt.$$

Вважаючи, що розгін двигуна здійснюється у холосту, $M_0 = 0$, отримаємо:

$$\Delta A_p = \int_{t_1}^{t_2} J \frac{d\omega}{dt} \omega_c \frac{\omega_c - \omega}{\omega_c} dt = J \int_{\omega_1}^{\omega_2} (\omega_c - \omega) d\omega = J \left[\omega_c (\omega_2 - \omega_1) - \frac{1}{2} (\omega_2^2 - \omega_1^2) \right],$$

Для пускового режиму $\omega_1 = 0$, $\omega_2 = \omega_n$, причому для запуску у холосту можна прийняти: $\omega_2 = \omega_n \approx \omega_c$, тоді:

$$\Delta A_p = J \left(\omega_c \omega_n - \frac{\omega_n^2}{2} \right) \approx J \frac{\omega_c^2}{2}.$$

Отже втрати енергії в обмотках двигуна при запуску у холосту дорівнюють кінетичній енергії, що запасається системою електроприводу і вони не залежать ні від форми механічної характеристики двигуна, ні від опору обмоток двигуна ні від тривалості пуску.

Для режиму динамічного гальмування $\omega_1 \approx \omega_c$, $\omega_2 = 0$ і момент двигуна має знак «мінус»:

$$\Delta A_{d.z.} = -J \left(-\omega_c^2 - \frac{\omega_c^2}{2} \right) \approx J \frac{\omega_c^2}{2}.$$

Отже, втрати при динамічному гальмуванні дорівнюють втратам при пуску.

Режим гальмування противмиканням можна розглядати як режим часткового переходу від прямого обертання на зворотне або як розгін від швидкості $\omega_1 \approx -\omega_c$, до $\omega_2 = 0$, отже:

$$\Delta A_{z.n.} = J \left(\omega_c^2 + \frac{\omega_c^2}{2} \right) \approx J \frac{3\omega_c^2}{2}.$$

Втрати енергії у перехідних режимах залежать головним чином від величини моменту інерції системи електроприводу і робочої машини. Для зменшення цих втрат прагнуть зменшити приведені моменти інерції системи електроприводу. Досягають це тим, що застосовують двигуни із подовженим ротором, замінюють один двигун двома половинної потужності, застосовують зміну напруги, що підводиться до двигуна на період пуску.

Контрольні запитання:

1. Які режими в електромеханічній системі відносять до перехідних?
2. Чому необхідно вивчати перехідні режими в електроприводах?
3. Які види інерції діють в системах електропривод - робоча машина?
4. Які фактори впливають на тривалість перехідних процесів?
5. За яким рівнянням визначають час пуску або гальмування системи електродвигун-робоча машина?
6. Чому доводиться визначати час пуску або гальмування системи електродвигун-робоча машина графоаналітичним методом?
7. Які вихідні дані необхідні для визначення часу пуску або гальмування системи електродвигун-робоча машина графоаналітичним методом? яка методика визначення?
8. Якими вихідними рівняннями користуються при аналізі механічних перехідних процесів?

Література:

1. Електропривод: Навчальний посібник/ О.Ю. Синявський, П.І. Савченко, В.В. Савченко, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Ю.М. Хандола, І.П. Ільчов; За ред. О.Ю. Синявського. - К.: Аграр Медіа Груп, 2013.-586 с. ISBN 978-617-646-201-9;
2. Електропривод: підруч. для вузів. Ч.1/О.С. Марченко, Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко, Є.Л. Жулай; за ред. О.С. Марченка. – К. : Урожай, 1995. – 207 с.. – ISBN 5-337-01695-4;
3. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, О.С. Марченко та ін.; Ред. Є.Л. Жулай. – К. : Вища освіта, 2001. – 288 с.. – ISBN 966-95995-2-0.

ЛЕКЦІЯ № 5
МЕХАНІЧНЕ ЗАВАНТАЖЕННЯ ТА ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ
ЕЛЕКТРОДВИГУНА

План

1. Загальні відомості про нагрівання та охолодження двигунів;
2. Рівняння нагрівання двигунів;
3. Рівняння охолодження двигунів;
4. Нагрівання електродвигунів при різних режимах роботи;
5. Вплив температури навколишнього середовища та конструктивних параметрів на потужність двигуна.

1. Загальні відомості про нагрівання та охолодження двигунів

Втрати енергії ΔP при роботі двигуна залежать від його коефіцієнта корисної дії η_H :

$$\Delta P = P_1 - P_H = \frac{P_H}{\eta_H} - P_H = P_H \frac{1 - \eta_H}{\eta_H},$$

де P_1 – потужність, що підводиться до двигуна із мережі;

P_H – номінальна потужність двигуна.

Втрати енергії у двигуні поділяються на *змінні* (що змінюються при зміні навантаження) та *постійні*, які за будь-якого навантаження електродвигуна практично однакові.

До *змінних втрат* ΔP_V належать втрати від проходження струму навантаження по обмотках електродвигуна (вони пропорційні квадрату сили струму навантаження $\Delta P_V = kRI^2$).

До *постійних втрат* ΔP_K – відносяться втрати на перемагнічування осердя (гістерезис), втрати від протікання в осерді вихрових струмів Фуко, втрати на тертя та ін., які в основному залежать від величини напруги та частоти струму мережі живлення електродвигуна.

Унаслідок безперервного виділення постійної кількості теплоти при роботі двигуна із постійним навантаженням його температура поступово підвищується і перевищує температуру навколишнього середовища. При цьому зростає тепловіддача від двигуна в навколишнє середовище. Через деякий час настає теплова рівновага, коли кількість тепла, що утворюється у двигуні за одиницю часу, дорівнює кількості тепла, що віддається двигуном у навколишнє середовище.

Температура двигуна при цьому залишається незмінною і називається усталеною.

2. Рівняння нагрівання двигунів

З метою спрощення дослідження процесів нагрівання та охолодження двигунів приймають такі допущення:

- 1) двигун розглядається як однорідне тіло із нескінченно великою теплопровідністю внаслідок чого температура у всіх точках однакова;
- 2) коефіцієнт тепловіддачі в навколишнє середовище не залежить від температури і тепловіддача прямо пропорційна різниці температур двигуна і навколишнього середовища;
- 3) температура навколишнього середовища під час нагрівання двигуна не змінюється;
- 4) втрати і теплоємність двигуна не залежать від його температури.

Для визначення характеру процесу зміни температури двигуна розглянемо

баланс теплової енергії ΔP , яка виділяється у ньому за нескінченно малий проміжок часу dt . Одна частина цієї теплоти $A\tau dt$ віддається в навколишнє середовище, а друга частина $Cd\tau$ витрачається на підвищення температури двигуна. Таким чином, рівняння теплового балансу має вигляд:

$$\Delta P dt = A\tau dt + C d\tau, \quad (5.1)$$

де ΔP – загальна кількість теплоти, що виділяється у двигуні за одиницю часу, Вт; A – коефіцієнт тепловіддачі, тобто кількість теплоти, що віддається в навколишнє середовище за одиницю часу при різниці температур двигуна і навколишнього середовища в 1°C , Дж/(с \cdot °C); τ – перевищення температури двигуна над температурою навколишнього середовища, °C; C – теплоємність двигуна, кількість теплоти, що необхідна для підвищення температури двигуна на 1°C , Дж/°C; $d\tau$ – приріст перевищення температури двигуна, за нескінченно малий проміжок часу, °C.

Розв'язавши це диференціальне рівняння першого порядку відносно τ при початкових умовах, коли $t = 0$, а $\tau = \tau_0$, одержимо рівняння нагрівання двигуна:

$$\tau = \frac{\Delta P}{A} \left(1 - e^{-\frac{tA}{C}} \right) + \tau_0 e^{-\frac{tA}{C}}$$

Якщо, початкова температура двигуна дорівнює стандартній температурі навколишнього середовища, то $\tau_0 = \theta_0 - 40^\circ\text{C} = 0$, то другий член у правій частині буде рівним нулю і рівняння нагрівання матиме вигляд:

$$\tau = \frac{\Delta P}{A} \left(1 - e^{-\frac{tA}{C}} \right).$$

Отже, при незмінних теплових втратах ΔP процес нагрівання двигуна описується експоненціальним законом і двигун усталеного стану досягне за нескінченно тривалий час $t \rightarrow \infty$, тоді настає тепла рівновага, тобто перевищення температури досягає деякого усталеного значення: $\tau_y = \Delta P/A$.

Відповідно до прийнятих допущень теплоємність C і тепловіддача A двигуна у процесі нагрівання залишаються незмінними. Отже, їх відношення є також незмінним, має розмірність часу і називається постійною часу нагрівання двигуна:

$$T_n = C/A.$$

Тоді залежність перевищення температури двигуна над температурою навколишнього середовища від часу має вигляд такої експоненціальної функції:

$$\tau = \tau_y \left(1 - e^{-\frac{t}{T_n}} \right).$$

Постійною часу нагрівання називають час, протягом якого перевищення температури двигуна, досягнуло б усталеного значення τ_y при відсутності тепловіддачі у навколишнє середовище.

3. Рівняння охолодження двигунів

Якщо працюючий двигун відімкнути від мережі, то він почне охолоджуватись до температури навколишнього середовища.

Рівняння нагрівання двигуна можна використати і для опису процесу охолодження вимкненого двигуна або при зменшенні його завантаження. Для цього потрібно лише підставити в нього відповідні значення τ_0 і $\tau_y = 0$. Якщо нагрітий двигун вимкнено з мережі, то втрати потужності в ньому дорівнюють нулю ($\Delta P = 0$) і рівняння його охолодження матиме вигляд:

$$\tau = \tau_0 e^{-\frac{t}{T_0}},$$

де T_0 – постійна часу охолодження, с.

При рівності постійної часу нагрівання і постійної часу охолодження крива охолодження буде дзеркальним відображенням кривої нагрівання (крива 2 на мал. 5.1). Але це можливо тільки у двигунів із незалежною вентиляцією, вентилятори яких приводяться у рух від окремого двигуна що працює після зупинки основного двигуна.

У двигунів із само вентиляцією після їх зупинки вентилятор не працює і умови охолодження погіршуються, а постійна часу охолодження збільшується $T_0 = (2...4)T_H$ тому крива охолодження 3 є більш пологою. Постійну часу охолодження визначають відрізком осі абсцис, відтятим дотичною до будь-якої точки кривої охолодження і перпендикуляром, опущеним з цієї точки на вісь абсцис.

4. Нагрівання електродвигунів при різних режимах роботи

Кожному навантаженню відповідають певні втрати енергії, які перетворюються у тепло і відповідно при усталеному режимі, своє усталене перевищення температури:

$$\tau_v = \Delta P / A.$$

При роботі двигуна із різними навантаженнями P_1, P_2, P_3, P_4 та P_5 отримаємо ряд кривих нагрівання для даного двигуна (мал. 5.2). Але, оскільки у даного двигуна тільки одне допустиме перевищення температури $\tau_{дон}$, що визначається класом нагрівостійкості ізоляції його обмоток, то як видно із мал. 5.2 потужність двигуна буде повністю використаною за нагріванням тільки при навантаженні P_3 .

При навантаженнях P_1 і P_2 двигун термічно недовантажений. При навантаженнях P_4 і P_5 двигун термічно перевантажений і не може протягом часу більшого за t_4 і t_5 відповідно.

5. Вплив температури навколишнього середовища та конструктивних параметрів на потужність двигуна

Потужність, яку може розвивати двигун обмежується допустимою температурою нагрівання його обмоток.

Якщо температура навколишнього середовища $\theta_{н.с.}$ відрізняється від стандартної $+ 40$ °С то вибір потужності двигуна необхідно виконувати з урахуванням фактичних умов роботи. Очевидно, при нижчій температурі навколишнього середовища двигун можна дещо перевантажити, якщо ж температура навколишнього середовища $\theta_{н.с.}$ вища від $+ 40$ °С то двигун потрібно дещо недовантажувати, з тією метою, щоб максимальна температура ізоляції не перевищувала допустимих значень.

Оскільки, перевищення температури двигуна пропорційне втратам енергії, то при його роботі із номінальним навантаженням допустиме перевищення температури може бути виражене:

$$\tau_\delta = \Delta P_n / A = k_{II}(\Delta P_K + \Delta P_{VH}) = k_{II} \Delta P_{VH}(\alpha + 1),$$

де $k_{II} = 1/A$ – коефіцієнт пропорційності; ΔP_n – втрати потужності при номінальному навантаженні; ΔP_K – постійна складова втрат; ΔP_{VH} – змінна складова втрат при номінальному навантаженні; $\alpha = \Delta P_K / \Delta P_{VH}$ – коефіцієнт втрат.

При роботі двигуна, коли температура навколишнього середовища $\theta_{н.с.}$ відрізняється від стандартної $+ 40$ °С на величину: $\Delta\tau = 40 - \theta_{н.с.}$ перевищення температури може бути виражене:

$$\tau_0 \pm \Delta\tau = \Delta P_x / A = k_{\Pi}(\Delta P_K + \Delta P_{VH}) = k_{\Pi} \Delta P_{VH}(\alpha + x^2),$$

тут:

$$x^2 = \Delta P_V / \Delta P_{VH} = I^2 / I_n^2,$$

тоді отримуємо:

$$(\tau_0 \pm \Delta\tau) / \tau_0 = (\alpha + x^2) / (\alpha + 1).$$

Допустимий степінь завантаження двигуна при відхиленні температури навколишнього середовища від стандартної:

$$x = \sqrt{1 \pm \Delta\tau(\alpha + 1) / \tau_0}.$$

Шукана потужність двигуна:

$$P_x = P_n \cdot x = P_n \sqrt{1 \pm \Delta\tau(\alpha + 1) / \tau_0}.$$

Вплив конструктивних параметрів на потужність двигуна можна вивести користуючись формулою:

$$P_n = k_i D^2 l \omega,$$

де k_i – коефіцієнт, що враховує індукцію у повітряному зазорі та к.к.д. двигуна; D – діаметр якоря чи ротора двигуна; l – довжина активної частини осердя; ω – кутова швидкість.

Оскільки, загальна теплоємність C двигуна пропорційна його масі і об'єму а отже третій степені геометричних розмірів $D^2 l$, а тепловіддача A пропорційна площі тепловіддаючої поверхні, а отже, другому степеню геометричних розмірів, то зі збільшенням ω при $P = konst$, постійна часу нагрівання двигуна T_n зростатиме.

Контрольні запитання:

1. Які втрати енергії мають місце під час роботи електродвигуна, як вони поділяються і від чого залежать?
2. Чому збільшення температури двигуна спостерігається до певного значення і в подальшому при тому ж постійному навантаженні припиняється?
3. Що називається усталеною температурою?
4. Як графічно за кривою нагрівання знайти усталене значення перевищення температури двигуна та постійну часу його нагрівання?
5. Як впливає температура навколишнього середовища на допустиму потужність електродвигуна?
6. Чому постійна часу охолодження звичайних електродвигунів більша за постійну часу їх нагрівання?
7. Від чого залежить величина допустимої температури електродвигуна?
8. Як поділяються ізоляційні матеріали за термостійкістю?

Література:

1. Електропривод: Навчальний посібник/ О.Ю. Синявський, П.І. Савченко, В.В. Савченко, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Ю.М. Хандола, І.П. Ільчов; За ред. О.Ю. Синявського. - К.: Аграр Медіа Груп, 2013.-586 с. ISBN 978-617-646-201-9;
2. Електропривод: підруч. для вузів. Ч.1/О.С. Марченко, Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко, Є.Л. Жулай; за ред. О.С. Марченка. – К. : Урожай, 1995. – 207 с.. – ISBN 5-337-01695-4;
3. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, О.С. Марченко та ін.; Ред. Є.Л. Жулай. – К. : Вища освіта, 2001. – 288 с.. – ISBN 966-95995-2-0.

ЛЕКЦІЯ № 6
РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ І ВИЗНАЧЕННЯ
НЕОБХІДНОЇ ПОТУЖНОСТІ

План

1. Класифікація номінальних режимів роботи двигунів;
2. Визначення необхідної потужності приводних двигунів:
 - 2.1 для тривалого режиму роботи;
 - 2.2 для короткочасного режиму роботи;
 - 2.3 для повторно-короткочасного режиму роботи.
3. Визначення допустимого числа вмикань за годину асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором.

1 Класифікація номінальних режимів роботи двигунів

Номінальним режимом роботи електричної машини називають режим роботи, для якого машина призначається підприємством-виробником і який наведено у її паспорті.

Сучасними стандартами передбачено вісім номінальних режимів роботи електродвигунів, які умовно позначають від *S1* до *S8*.

1. (*S1*) - Тривалий номінальний режим, це режим роботи електродвигуна при незмінному навантаженні, причому за час роботи ($t_p > 3T_n$) перевищення температури усіх частин електродвигуна досягає усталеного значення.

2. (*S2*) - Короткочасний номінальний режим роботи це режим, коли періоди роботи електродвигуна з номінальним навантаженням чергуються з періодами вимкання його з електромережі, причому тривалість періоду роботи ($t_p \ll 3T_n$, $t_0 > 3T_n$) настільки мала, що двигун не встигає нагрітися до усталеної температури, а за час паузи охолоджується до температури охолоджуючого середовища $\theta_{н.с.}$ (мал.6.2). Режим *S2* характеризується тривалістю робочого періоду. Стандартні тривалості робочого періоду $t_{кат}$: 10, 30, 60, 90 хв.

3. (*S3*) - Повторно-короткочасний номінальний режим це режим з послідовністю однакових робочих циклів, кожний з яких складається з періодів роботи з постійним навантаженням і вимкненого нерухомого стану, причому, тривалості періодів роботи $t_p \ll 3T_n$ і пауз $t_0 \ll 3T_n$ настільки малі, що за час роботи електродвигун не встигає нагрітися до практично усталеної температури, а за час паузи не встигає охолонути до температури навколишнього середовища. Тривалість одного робочого циклу $t_u = (t_p + t_0)$ приймають не більше 10 хв. Режим характеризується тривалістю вмикання *TB* %, яка визначається за формулою:

$$TB = \frac{t_p}{t_p + t_0} \cdot 100\% = \frac{t_p}{t_u} \cdot 100\%. \quad (5.15)$$

Стандартні значення *TB* %, на які розраховуються і випускаються електродвигуни, встановлено такі: 15, 25, 40 і 60 %. Якщо $TB > 60\%$ або $t_u > 10$ хв, то режим роботи вважають тривалим зі змінним навантаженням.

4. (*S4*) - Повторно-короткочасний номінальний режим із частими пусками це послідовність однакових робочих циклів, кожний з яких складається з періодів пуску, роботи з постійним навантаженням і періоду вимкненого стану. Тривалість цих періодів недостатня для досягнення теплової рівноваги за час одного робочого циклу. Режим характеризується тривалістю вмикання (*TB*), кількістю пусків за годину і коефіцієнтом інерції електропривода, наприклад: *S4* 25 %, число пусків за

годину 60, $FJ = 10$.

5. (S5) - Повторно-короточасний номінальний режим із частими пусками і електричним гальмуванням - це послідовність однакових робочих циклів, кожен з яких складається з періоду пуску, періоду роботи з постійним навантаженням, періоду швидкого електричного гальмування і періоду вимкненого стану. Тривалість цих періодів недостатня для досягнення теплової рівноваги за час одного робочого циклу. У цьому режимі втрати потужності при пуску і електричному гальмуванні суттєво впливають на перевищення температури двигуна. Режим характеризується такими ж номінальними даними, як і режим S4.

6. (S6) - Номінальний режим переміжного навантаження - це послідовність однакових робочих циклів, кожен з яких складається з періоду роботи з постійним навантаженням і періоду холостого ходу, причому тривалість цих періодів недостатня для досягнення теплової рівноваги за час одного робочого циклу. Цей режим характеризується тривалістю навантаження (TH), яка визначається за формулою:

$$TH = \frac{t_p}{t_p + t_{xx}} \cdot 100\%, \quad (5.18)$$

де t_{xx} - тривалість періоду холостого ходу.

У цьому режимі тривалість циклу не перевищує 10 хв. Стандартні тривалості навантаження TH 15; 25; 40 і 60 % вказують після умовного позначення режиму. Наприклад, S6 40 %. У цьому режимі працюють двигуни пилорами, циркулярки тощо.

7. (S7) - Номінальний переміжний режим з частими реверсами - це послідовність однакових робочих циклів, кожний з яких складається з періоду пуску, періоду роботи з постійним навантаженням, періоду електричного гальмування. Період вимкненого стану відсутній. Тривалість цих періодів недостатня для досягнення теплової рівноваги за час одного робочого циклу. Нормується кількість реверсів за годину (30; 60; 120; 240) і коефіцієнт інерції 1,2; 1,6; 2,5; 4; 6,3; 10. Наприклад: S7, $FJ = 4$, число реверсів за годину 120.

8. (S8) - Номінальний переміжний режим з двома або більше ступенями частот обертання - це послідовність однакових робочих циклів, кожний з яких складається з періоду прискорення, періоду роботи з постійним навантаженням, що відповідає заданій частоті обертання, за яким слідує один або кілька періодів роботи з іншим постійними навантаженнями, що відповідають іншим частотам обертання. Період вимкненого стану відсутній.

Тривалість кожного робочого періоду недостатня для досягнення теплової рівноваги за час одного робочого циклу. У цьому режимі втрати потужності при переході з однієї частоти обертання на іншу суттєво впливають на перевищення температури двигуна.

2 Визначення необхідної потужності приводних двигунів:

2.1 Визначення необхідної потужності приводних двигунів для тривалого режиму роботи

Визначення потужності двигуна за нормативними даними. Знаючи продуктивність та витрату електроенергії на одиницю виробленої продукції, можна визначити потужності робочої машини P_m :

$$P_m = Q \cdot q,$$

де Q – продуктивність машини, т/год.; q – питома витрата електроенергії на

одиницю виробленої продукції, кВт·год./т.

При відомій потужності робочої машини P_m розрахункова потужність двигуна $P_{дв.розр}$ визначається за формулою:

$$P_{дв.розр} = K_{зан} \cdot P_m / \eta_{пер}, \quad (5.19)$$

де $K_{зан}$ - коефіцієнт запасу; $\eta_{пер}$ - ККД механічного передавального пристрою.

Номинальна потужність двигуна повинна бути не меншою за розрахункову, тобто:

$$P_{дв.ном} \geq P_{дв.розр}. \quad (5.20)$$

При виконанні цієї умови максимальне перевищення температури обмоток буде не вище гранично допустимого: $\tau_{max} \leq \tau_{доп}$.

Визначення потужності двигуна за теоретичними розрахунковими формулами. Потужності, споживані робочими машинами при незмінному навантаженні, у багатьох випадках розраховують за простими формулами.

Так, потужність, кВт, для привода насоса визначають за виразом:

$$P_p = Q_p H_p \rho g / \eta_{нас} \eta_{пер} \quad (6.22)$$

де Q_p - подача насоса, м³/с; ρ - густина рідини, що подається насосом, кг/м³; H_p - розрахунковий напір, м; g - прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; $\eta_{нас}$ - ККД насоса; $\eta_{пер}$ - ККД механічної передачі.

Розрахунковий напір насоса (м), складається з:

$$H_p = H_1 + H_2 + H_3 + H_4, \quad (2)$$

де H_1 - висота всмоктування, м (залежить також від атмосферного тиску та температури води);

H_2 - найбільша висота водоспоживачів, м;

H_3 - напір втрат у всмоктувальному та нагнітальному трубопроводах (у орієнтовних розрахунках приймають рівним 5% від загального напору);

H_4 - напір, що забезпечує необхідну швидкість витікання рідини із трубопроводу.

Потужність, кВт, для привода вентилятора:

$$P_p = (L_p h_p / \eta_v \eta_{ПЕР}) 10^{-3} \quad (5.23)$$

де L_p - подача вентилятора, м³/с; h_p - напір вентилятора, Па; η_v - ККД вентилятора.

Потужність, споживана скребковим конвеєром при транспортуванні вантажу суцільним потоком:

$$P_m = Qg(L f_c \cos \alpha + H) \cdot 10^{-3}, \quad (5.24)$$

де Q - розрахункова продуктивність конвеєра, кг/с; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; H - висота підйому продукту, м; L - довжина конвеєра, м; f_c - коефіцієнт опору рухові; α - кут нахилу конвеєра, град.

Тривале змінне навантаження. Вибір електродвигуна за потужністю для тривалого режиму роботи зі змінним навантаженням є складним завданням.

Довговічність ізоляції залежить від її температури, тому при змінному навантаженні потужність електродвигуна слід вибирати так, щоб у момент максимальних навантажень температура ізоляції обмоток не перевищувала допустимої:

$$\tau_{max} \leq \tau_{доп} \quad (5.29)$$

Тому для тривалого режиму зі змінним навантаженням спочатку орієнтовано розраховують потужність P_p на валу електродвигуна за середнім значенням статичної діаграми навантаження робочої машини, помноживши його на коефіцієнт

$k = 1, 2 \dots 1, 3$ який наближено враховує перевищення потужності (моменту) електродвигуна над середньою потужністю (моментом) навантаження:

$$P_n \geq P_p = kP_{cp.} = k(P_1t_1 + P_2t_2 + \dots + P_nt_n)/(t_1 + t_2 + \dots + t_n) = k \frac{\sum_1^n P_i t_i}{\sum_1^n t_i}, \quad (5.30)$$

де P_n - номінальне значення потужності двигуна; $P_{cp.}$ - середнє значення потужності за навантажувальною діаграмою.

Метод середніх втрат. Метод середніх втрат полягає в тому, що середні втрати потужності в двигуні за цикл порівнюються з номінальними (на які розрахований двигун при тривалому навантаженні):

$$\Delta P_{cp} \leq \Delta P_n, \quad (5.32)$$

де ΔP_{cp} - середні втрати потужності за цикл; ΔP_n - номінальні втрати потужності.

Тоді його температура не перевищуватиме допустимих значень:

$$\tau_{дон.} = \Sigma \Delta P_{cp} / A = \Sigma \Delta P_n / A.$$

Середні втрати потужності за цикл визначають за формулою:

$$\Delta P_{cp.} = \frac{\Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 + \dots + \Delta P_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} = \sum_1^n \Delta P_i t_i / \sum_1^n t_i, \quad (5.33)$$

де $t_1 \dots t_n$, $\Delta P_1 \dots \Delta P_n$ - відповідно час роботи і потужності постійних втрат на кожній ділянці навантажувальної діаграми (мал.6.5).

Методика перевірки потужності попередньо вибраного двигуна за методом середніх втрат така.

1. Користуючись навантажувальною діаграмою робочої машини $P_o = f(t)$ орієнтовно визначають розрахункову потужність двигуна P_p , (як середнє значення потужності з урахуванням коефіцієнта запасу k) і за каталоговими даними попередньо вибирають електродвигун.

2. Для вибраного двигуна розраховують втрати потужності для кожної ділянки діаграми навантаження і будують графік втрат.

3. Визначають середнє значення втрат під час роботи ΔP_{cp} і порівнюють їх із номінальними ΔP_n . на виконання умови: $\Delta P_{cp} \leq \Delta P_n$.

4. Після перевірки за тепловим режимом вибраний електродвигун необхідно перевірити на перевантажувальну здатність.

5. Асинхронні короткозамкнені двигуни додатково перевіряються за умовами пуску при можливому зниженні напруги живлення.

Метод середніх втрат є універсальним і досить точним методом перевірки вибраного двигуна за умовами нагрівання, але дуже трудомістким, тому на практиці частіше користуються методами еквівалентних величин.

Еквівалентними називають такі незмінні в часі значення струму, моменту або потужності, які викликають у двигуні такі ж втрати потужності, як і реально змінні ці величини.

Метод еквівалентного струму. При використанні двигуна середня потужність, яка в ньому втрачається при завантаженні еквівалентним струмом, дорівнює:

$$\Delta P_{cp} = \Delta P_k + \Delta P_v = \Delta P_k + I_e^2 R, \quad (5.40)$$

де ΔP_k - потужність постійних втрат; ΔP_v - змінні втрати потужності; I_e - еквівалентний струм головного кола; R - опір обмотки двигуна.

Замінімо втрати потужності на кожній ділянці ступінчастої навантажувальної діаграми через відповідні постійні і змінні складові:

$$\Delta P_{\kappa} + I_e^2 R = \frac{(\Delta P_{\kappa} + I_1^2 R)t_1 + (\Delta P_{\kappa} + I_2^2 R)t_2 + \dots + (\Delta P_{\kappa} + I_n^2 R)t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}. \quad (5.41)$$

Після нескладних перетворень виразу (5.41) знайдемо еквівалентний струм:

$$I_e = \sqrt{\frac{I_1^2 \cdot t_1 + I_2^2 \cdot t_2 + \dots + I_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} = \sqrt{\frac{\sum_1^n I_i^2 \cdot t_i}{\sum_1^n t_i}} \quad (5.42)$$

де I_1, I_2, \dots, I_n - значення сили струму при відповідних навантаженнях навантажувальної діаграми; t_1, t_2, \dots, t_n - тривалість роботи на i -тій ділянці.

Електродвигун вибирають за еквівалентним струмом дотримуючись умови:

$$I_e \leq I_{ном}, \quad (5.47)$$

Після цього електродвигун перевіряють на допустиме перевантаження і за умовами пуску.

Метод еквівалентного струму з деякими допущеннями можна застосовувати для перевірки на нагрівання майже всіх типів електродвигунів з достатньою для практики точністю. Метод дає велику похибку при перевірці двигуна з перемиканням головних кіл і асинхронних двигунів з обмоткою ротора, виконаною у вигляді з подвійної клітки або з глибоким пазом, що працюють у режимах з частими пусками і гальмуваннями ($S3, S4$ і $S5$).

Порівняно з методом середніх втрат перевагою методу еквівалентного струму є те, що при відомому навантаженні електродвигуна $I = f(t)$ знайти струм значно легше, ніж втрати потужності. Однак, метод еквівалентного струму потребує незмінності опору силового кола електродвигуна, а для асинхронного двигуна - незмінності кутової швидкості, що гарантує сталість параметрів роторного кола.

Метод еквівалентного моменту доцільно застосовувати у тому випадку, коли вибір потужності електродвигуна бажано пов'язати безпосередньо з режимом роботи робочої машини, поклавши в основу графік статичного моменту $M_o = f(t)$ і відповідний до нього графік моменту електродвигуна. Формулу для еквівалентного моменту виводять безпосередньо з формули еквівалентного струму, за умови, що потік збудження практично не змінюється зі зміною навантаження. Перемноживши ліву і праву частини виразу (5.42) на величину $k\Phi_{ном}$, матимемо вираз для еквівалентного моменту:

$$M_e = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + \dots + M_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \quad (5.48)$$

Електродвигун вибирають за еквівалентним моментом дотримуючись умови:

$$M_{ном} \geq M_e \quad (5.51)$$

тобто номінальний момент вибраного електродвигуна повинен дорівнювати або бути більшим еквівалентного моменту.

Методом еквівалентної потужності зручно користуватися при перевірці потужності електродвигунів, що працюють зі швидкістю, яка мало змінюється, тобто $\omega = const \approx \omega_n$. У цьому випадку потужність пропорційна моменту: $P = M \cdot \omega_n$. Помноживши праву і ліву частину рівняння (5.48) на ω_n , одержимо вираз для визначення еквівалентної потужності P_e :

$$P_e = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + \dots + P_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \quad (5.51)$$

Електродвигун вибирають за еквівалентною потужністю дотримуючись умови:

$$P_{ном} \geq P_e. \quad (5.51)$$

Порядок розрахунку потужності двигуна методом еквівалентних величин такий.

1) Розраховують або одержують експериментально навантажувальну діаграму робочої машини $M_o = f(t)$ або $P_o = f(t)$.

2) Визначають середнє значення потужності або моменту і попередньо вибирають електродвигун.

3) Користуючись технічними даними двигуна, приведеним до його валу моментом інерції системи електродвигун - робоча машина і навантажувальною діаграмою робочої машини, будують навантажувальну діаграму двигуна.

4) Одержану навантажувальну діаграму двигуна обробляють раніше описаним методом і визначають еквівалентні значення струму I_e або споживаної двигуном потужності P_e .

Вибирають електродвигун за умовами:

$$I_{ном} \geq I_e; \text{ або } P_n \geq P_e; \text{ або } M_{ном} \geq M_e. \quad (5.54)$$

Після вибору за умовами нагрівання двигун перевіряють на перевантажувальну здатність і за умовами пуску.

2.2 Визначення необхідної потужності приводних двигунів для короткочасного режиму роботи

Основною ознакою короткочасного режиму роботи є те, що перевищення температури двигуна в кінці каталожного робочого періоду $t_{кат}$ не досягає усталеного значення. Тому, якщо прийняти електродвигун тривалого режиму і завантажити до номінальної потужності ($P_{кат} = P_{ном}$) то перевищення його температури за час $t_{кат}$ досягне значення $\tau_l < \tau_{дон}$ і двигун не буде повністю використаний за нагрівостійкістю.

Коефіцієнт термічного перевантаження є відношенням втрат потужності при короткочасному режимі до втрат потужності при тривалому (номінальному) режимі:

$$p_t = \Delta P_{кат} / \Delta P_{ном}. \quad (5.55)$$

Прийнявши припущення, що зі зміною навантаження швидкість обертання двигуна залишається постійною, коефіцієнт механічного перевантаження можна виразити як відношення потужності короткочасного режиму до номінальної потужності двигуна:

$$p_m = P_{кат} / P_{ном}. \quad (5.62)$$

Коефіцієнт термічного перевантаження можна записати через постійні і змінні втрати у вигляді:

$$p_t = \frac{\Delta P_{кат}}{\Delta P_{ном}} = \frac{\Delta P_k + \Delta P_{vk}}{\Delta P_k + \Delta P_{vh}} = \frac{\alpha + \left(\frac{P_{кат}}{P_{vh}}\right)^2}{\alpha + 1}. \quad (5.63)$$

Із рівняння (5.63) одержимо:

$$p_m = \frac{P_{кат}}{P_{ном}} = \sqrt{(\alpha + 1)p_t - \alpha}. \quad (5.64)$$

Підставивши значення p_t з формули (5.61), остаточно запишемо:

$$P_m = \sqrt{\frac{\alpha + 1}{1 - e^{-\frac{t_k}{T_u}}} - \alpha}. \quad (5.65)$$

Оскільки при роботі двигуна з перевантаженням змінні втрати значно перевищують постійні, то з достатньою для практики точністю постійними втратами можна знехтувати. Тоді коефіцієнт механічного перевантаження визначиться за формулою:

$$P_m = \sqrt{\frac{1}{1 - e^{-\frac{t_k}{T_u}}} = \sqrt{P_t}. \quad (5.66)$$

Потужність спеціальних двигунів для короткочасного режиму роботи вибирається за умовами:

$$\left. \begin{array}{l} P_{ном} > P_{\phi} \\ t_{кат} > t_{\phi} \end{array} \right\}, \quad (5.68)$$

де $P_{ном}$ - номінальна потужність двигуна в короткочасному режимі роботи; P_{ϕ} - потужність навантаження, визначена за навантажувальною діаграмою; $t_{кат}$ - каталожне значення тривалості роботи двигуна; t_{ϕ} - фактична тривалість короткочасної роботи за навантажувальною діаграмою. При роботі двигуна зі змінним навантаженням потужність навантаження P_{ϕ} визначається методами середніх втрат або еквівалентних величин.

2.3 Визначення необхідної потужності приводних двигунів для повторно-короткочасного режиму роботи

Стандартна навантажувальна діаграма електродвигуна, який працює у повторно-короткочасному режимі, характеризується величиною регулярного навантаження P (мал. 5.11), тривалістю роботи t_p і тривалістю паузи t_o . Навантаження двигуна може бути задане величиною потужності P , моменту M або струму I . Крім того, режим характеризується тривалістю вмикання TB .

Номінальна потужність спеціального двигуна при фактичній тривалості вмикання, яка дорівнює одному із стандартних значень ($TB_{\phi} = TB_{cm}$), вибирається за умовою:

$$P_{ном} \geq P_e \quad (5.81)$$

де P_e - еквівалентна потужність навантаження, визначена за навантажувальною діаграмою.

Оскільки при повторно-короткочасному режимі роботи періодично проходить охолодження двигуна, що розрахований на тривалий режим роботи, то (вважаючи, що нагрівання в основному визначається змінними втратами $R I^2$) можливо перевести електродвигун із тривалого режиму роботи потужністю P_{mp} на повторно-короткочасну роботу і завантажити потужністю, що рівна:

$$P_{mpx} = P_{mp} \sqrt{\frac{100}{TB_x}}, \quad P_{60} = P_{mp} \sqrt{\frac{100}{60}} = 1,29 P_{mp}, \quad P_{40} = P_{mp} \sqrt{\frac{100}{40}} = 1,58 P_{mp},$$

$$P_{25} = P_{mp} \sqrt{\frac{100}{25}} = 2 P_{mp}, \quad P_{15} = P_{mp} \sqrt{\frac{100}{15}} = 2,58 P_{mp}.$$

На практиці електродвигуни, що розраховані на тривалий режим роботи стараються не ставити на переривчасту роботу, а ставлять двигуни спеціальних (кранових) серій, що мають великий пусковий та максимальний момент, посилені

вали і підшипники, збільшений повітряний зазор і дещо збільшені втрати.

Якщо фактична тривалість вмикання TB_ϕ несуттєво відрізняється від стандартної TB_{cm} , то можна здійснити перерахунок потужності електродвигуна від TB_ϕ до найближчої TB_{cm} за формулою:

$$P_{ном} = P_\phi \sqrt{\frac{TB_\phi}{TB_{cm}}}, \quad P_{15} = P_\phi \sqrt{\frac{TB_\phi}{15}}, \quad P_{25} = P_\phi \sqrt{\frac{TB_\phi}{25}}, \quad P_{40} = P_\phi \sqrt{\frac{TB_\phi}{40}},$$

$$P_{60} = P_\phi \sqrt{\frac{TB_\phi}{60}}. \quad (5.91)$$

3. Визначення допустимого числа вмикань за годину асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором

При значній частоті вмикання асинхронного двигуна втрати у перехідних процесах викликають його інтенсивне нагрівання. Особливо це важливо для асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, у якого вся енергія втрат цілком виділяється в об'ємі двигуна.

Для розрахунку допустимого числа вмикань за годину скористаємося методом середніх втрат як найбільш точним при аналізі теплових процесів у двигуні. Допустимим вважається таке число вмикань двигуна за годину, при якому середнє перевищення температури після великого числа робочих циклів дорівнює допустимому, тобто двигун повністю використовується за нагрівостійкістю.

При визначенні допустимого числа вмикань за годину вважають (мал. 5.14), що тривалість робочого циклу складається із тривалості пуску t_n , роботи при усталеному режимі t_y , гальмування t_2 і паузи t_0 , тобто:

$$t_u = t_n + t_y + t_2 + t_0, \quad (5.93)$$

або:

$$t_u = 3600/z \quad (5.94)$$

де z - фактична кількість вмикань за годину.

Із виразу (5.93) визначають:

$$t_y = 3600 \cdot TB/z - (t_n + t_2) \quad \text{і} \quad t_0 = 3600 \cdot (1-TB)/z,$$

де $t_p = 3600/(z \cdot TB)$ - тривалість робочого періоду в кожному циклі.

Втрати енергії в двигуні за цикл складаються з пускових втрат ΔA_n , втрат гальмування ΔA_2 і втрат в усталеному режимі роботи при i -тому навантаженні $\Delta A_y = \Delta P_i \cdot t_y$. Віддача енергії в навколишнє середовище за час циклу складається з втрат при роботі в усталеному режимі з номінальним навантаженням $\Delta P_{ном} \cdot t_y$, під час паузи $\beta_0 \cdot \Delta P_{ном} \cdot t_0$, і за час пуску і гальмування $\Delta P_{ном} \cdot (t_n + t_2) \cdot (1 + \beta_0)/2$,

де $(1 + \beta_0)/2$ - середнє значення коефіцієнта погіршення тепловіддачі.

Рівняння теплового балансу в усталеному режимі роботи двигуна з гранично допустимою кількістю вмикань за годину матиме такий вигляд:

$$\Delta A_n + \Delta P_i \cdot t_y + \Delta A_2 = \Delta P_{ном} \cdot (t_n + t_2) \cdot (1 + \beta_0)/2 + \Delta P_{ном} \cdot t_y + \beta_0 \cdot \Delta P_{ном} \cdot t_0. \quad (5.96)$$

Звідки:

$$z_{дон} = \frac{3600[(\Delta P_{ном} - \Delta P_i)TB + \Delta P_{ном} \beta_0(1 - TB)]}{\Delta A_n + \Delta A_2 - (t_n + t_2) \left[\Delta P_i + \Delta P_{ном} \frac{\beta_0 - 1}{2} \right]}. \quad (5.97)$$

знехтувавши третім членом суми в знаменнику, що становить (2-4) % від суми перших двох складових, одержимо:

$$z_{дон} \approx 3600 \cdot \frac{(\Delta P_{ном} - \Delta P_i)TB + \Delta P_{ном} \beta_0(1 - TB)}{0,97(\Delta A_n + \Delta A_2)}. \quad (5.98)$$

Якщо в усталеному режимі двигун працює з номінальним навантаженням, то $\Delta P_{ном} = \Delta P_i$ тоді:

$$z_{дон} \approx 3600 \cdot \frac{\Delta P_{ном} \beta_0 (1 - TB)}{0,97(\Delta A_n + \Delta A_z)}. \quad (5.99)$$

Контрольні запитання:

1. Перерахуйте стандартні режими роботи електродвигунів. Як їх позначають?
2. Які величини називають еквівалентними?
3. Якими параметрами характеризується короткочасний режим роботи електродвигунів?
4. Якими параметрами характеризується повторно-короткочасний режим роботи? Наведіть стандартні значення ТВ.
5. Як вибрати потужність електродвигуна при тривалому режимі роботи електропривода?
6. За якими показниками перевіряють потужність попередньо вибраного електродвигуна?
7. Як перевірити попередньо вибраний електродвигун методом середніх втрат? методом еквівалентних величин?
8. В яких випадках при перевірці на нагрівання доцільно використовувати метод еквівалентного струму?, еквівалентного моменту?, еквівалентної потужності?
9. Який з трьох методів (еквівалентного струму, еквівалентного моменту, еквівалентної потужності) є найбільш універсальним і чому?
10. Як визначити потужність спеціального електродвигуна для короткочасного режиму роботи зі змінним навантаженням?
11. Що таке коефіцієнт термічного перевантаження?, механічного перевантаження? Для чого їх використовують?
12. Як визначити потужність спеціального електродвигуна для роботи в повторно-короткочасному режимі?
13. Які особливості електродвигунів, призначених для повторно-короткочасного режиму роботи?
14. Як знайти допустиме число вмикань за годину асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором при повторно-короткочасному режимі роботи?

Література:

7. Електропривод: Навчальний посібник/ О.Ю. Синявський, П.І. Савченко, В.В. Савченко, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Ю.М. Хандола, І.П. Ільчов; За ред. О.Ю. Синявського. - К.: АграрМедіа Груп, 2013.-586 с. ISBN 978-617-646-201-9;
8. Електропривод: підруч. для вузів. Ч.1/О.С. Марченко, Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко, Є.Л. Жулай; за ред. О.С. Марченка. – К. : Урожай, 1995. – 207 с.. – ISBN 5-337-01695-4;
9. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, О.С. Марченко та ін.; Ред. Є.Л. Жулай. – К. : Вища освіта, 2001. – 288 с.. – ISBN 966-95995-2-0.

ЛЕКЦІЯ № 7

ОСНОВИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ

План

1. Роль і задачі автоматичного керування електроприводами;
2. Типові схеми автоматизованого керування двигунами змінного струму:
 - 2.1 нереверсивне керування асинхронним електродвигуном;

- 2.2 реверсивне керування асинхронним електродвигуном;
 - 2.3 керування асинхронним електродвигуном у функції шляху;
 - 2.4 керування трифазним асинхронним електродвигуном з перемиканням обмотки статора із «зірки» на «трикутник» при пуску;
 - 2.5 керування пуском асинхронного двигуна з фазним ротором у функції часу;
 - 2.6 керування пуском асинхронного двигуна з фазним ротором у функції струму;
 - 2.7 керування багатoshвидкісними двигунами;
 - 2.8 Пуск і автоматичне керування гальмуванням противмиканням асинхронного двигуна;
 - 2.9 Пуск і автоматичне керування з динамічним гальмуванням асинхронного двигуна.
3. Схеми керування електроприводами на безконтактних логічних елементах.

1 Роль і задачі автоматичного керування електроприводами

Керування - це сукупність дій на керуючі пристрої електропривода для забезпечення роботи машин, що він приводить у рух, відповідно з вимогами технологічного процесу (пуску, підтримання режимів роботи і його зупинки). Залежно від участі в цих діях людини (оператора) розрізняють неавтоматичне (ручне), автоматизоване та автоматичне керування.

Основними фізичними величинами, що використовуються при автоматичному керуванні електроприводами (керованими величинами) можуть бути:

- швидкість (е.р.с., напруга, чи частота струму);
- струм;
- час;
- шлях.

Керування у функції часу полягає в тому, що перемикання електричних кіл, зміна опору пускових і гальмівних резисторів або напруги здійснюється в певні, наперед задані проміжки часу. У схемах керування застосовують реле часу, які здійснюють вмикання відповідного контактора.

Правила виконання електричних схем

1. Положення всіх елементів у схемах показують у нормальному стані. Нормальним станом контактів та інших елементів схем вважають їх положення при знеструмленому стані та відсутності механічної дії (натиску на кнопки), при нульовому положенні командоапарата чи контролера.

2. Довільна електрична схема автоматизованого електропривода складається з таких (частин) електричних кіл:

а) кола головного струму, куди входять з'єднання якорів електродвигунів, їх статорів і роторів, (зображуються суцільними товстими лініями, удвічі товстішими за лінії інших кіл);

б) кола керування або кола допоміжного струму, куди входять з'єднання апаратів керування, сигналізації та контролю, (зображуються суцільними тонкими лініями);

в) кола взаємних блокувань, що об'єднують блокувальні зв'язки (зображуються суцільними тонкими лініями);

г) кола сигналізації, що об'єднують сигнальні та контрольно-вимірювальні прилади й апарати (зображуються суцільними тонкими лініями).

3. Кожен елемент, що входить у схему автоматичного керування, повинен позначатися за допомогою букв. Причому елементи, що належать одному і тому самому апарату, позначають однією і тією ж буквою. Найчастіше позначення

апаратури керування та контролю складається із декількох букв, із яких перша відповідає назві апарату, а решта – його призначенню у схемі. У випадку, коли у схемі автоматичного керування є декілька однакових за назвою апаратів, то їм привласнюють порядкові номери.

2. Типові схеми автоматизованого керування двигунами змінного струму:

2.1 Нереверсивне керування асинхронним електродвигуном

Асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором невеликої потужності (до 5,5 кВт), як правило, запускаються безпосереднім вмиканням в електричну мережу на номінальну напругу (прямий пуск).

Схема нереверсивного керування електродвигуном з нульовим блокуванням за допомогою електромагнітного пускача наведена на мал. 7.1. При натисканні на кнопку *SB2* «Пуск» замикається коло котушки пускача *KM*, пускач спрацьовує і головними контактами вмикає двигун у мережу.

Замикаючий допоміжний контакт шунтує кнопку *SB2*, і при її відпусканні котушка пускача залишиться увімкненою через цей контакт. Вимикання двигуна відбувається при натисканні на кнопку *SBI* «Стоп» або при спрацюванні теплового реле *KK*. В обох випадках розмикається коло живлення котушки пускача *KM*, він повертається у вихідне положення і вимикає двигун з мережі. Захист силових кіл від коротких замикань здійснює автоматичний вимикач *QF1*, кіл керування - *QF2*. При необхідності керування двигуном з кількох місць всі замикаючі контакти командних апаратів потрібно увімкнути паралельно, а розмикаючі - послідовно.

2.2 Реверсивне керування асинхронним електродвигуном

Для реверсивного керування асинхронним двигуном необхідно два нереверсивні пускачі або один спеціальний реверсивний, що має два контактори. Реверсивне керування здійснюється за схемою, зображеною на мал. 7.2.

Для пуску двигуна «Вперед» натискають на кнопку *SB2*. При цьому спрацьовує контактор *KM1*. Зупинку двигуна здійснюють натисканням на кнопку *SBI* «Стоп». Для пуску «Назад» натискають на кнопку *SB3*, яка вмикає контактор *KM2*.

Схема передбачає можливість реверсування двигуна «з ходу». У цьому випадку, коли двигун, наприклад, обертається «Назад», натискають на кнопку *SB2*. При цьому вимикається контактор *KM2* і вмикається контактор *KM1*. Двигун гальмується гальмуванням проти-вмиканням, а потім починає обертатися в заданому напрямку.

Схемою реверсивного керування обов'язково передбачають блокування, що виключають одночасне вмикання обох контакторів *KM1* і *KM2* (для запобігання короткому замиканню на головних контактах). Для цього керування контакторами здійснюється кнопками *SB2* і *SB3*, що мають як замикаючі, так і розмикаючі контакти (мал. 7.2). За відсутності механічного блокування у коло живлення котушок пускачів вмикають «чужі» розмикаючі допоміжні контакти. Коли спрацює один контактор, то своїм розмикаючим допоміжним контактом розірве коло живлення котушки іншого контактора.

2.3 Керування асинхронним електродвигуном у функції шляху

Якщо необхідно здійснити автоматичне реверсування механізмів у функції шляху, то у схему, зображену на мал. 7.2, вмикають контакти кінцевих перемикачів *SQ1* і *SQ2* (мал. 7.10). Для пуску двигуна «Вперед» натискають кнопку *SB2*. Контактор *KM1* вмикає двигун та розгальмовується гальмо *YB* і механізм рухається до місця встановлення кінцевого вимикача *SQ1*. При підході механізму до нього

розмикаючий контакт $SQ1$ розмикає коло котушки контактора KMV , який вимикає двигун і гальмо YB загальмовується, і механізм зупиняється.

Для пуску двигуна «Назад» натискають кнопку $SB1$. Контактор KMB вмикає двигун на реверсивний хід, та розгальмовується гальмо YB і механізм рухається до місця встановлення кінцевого вимикача $SQ2$. При підході механізму до нього розмикаючий контакт $SQ2$ розмикає коло котушки контактора KMB , який вимикає двигун і гальмо YB загальмовується, і механізм зупиняється.

2.4 Керування трифазним асинхронним двигуном з перемиканням обмотки статора із «зірки» на «трикутник» при пуску

З метою обмеження пускового струму широко застосовується пуск з перемиканням обмоток статора при пуску з «зірки» на «трикутник». Керування пуском двигуна най частіше здійснюється у функції часу із застосуванням різних реле часу (мал. 7.4). Пускач $KM1$ - лінійний, має теплове реле KK для захисту двигуна від перевантажень. Пускач $KM2$ з'єднує обмотки двигуна «зіркою», пускач $KM3$ - «трикутником». Пускачі $KM2$ і $KM3$ взаємно заблоковані розмикаючими контактами.

Для пуску двигуна натискають на кнопку $SB2$ «Пуск». При цьому отримують живлення котушки контакторів $KM1$, $KM2$ і реле часу $KT2$. Контактори $KM1$ і $KM2$ спрацьовують і вмикають у мережу обмотки статора двигуна при з'єднанні «зіркою». Через задану витримку реле часу $KT2$ розмикаючим контактом розмикає коло котушки контактора $KM2$, а замикаючим замикає коло котушки контактора $KM3$. Контактор $KM2$ вимикається, а контактор $KM3$ вмикається, з'єднуючи обмотки статора в «трикутник». Вимикають двигун натисканням на кнопку $SB1$ «Стоп».

2.5 Керування пуском асинхронного двигуна з фазним ротором у функції часу

При пуску потужних асинхронних двигунів з фазним ротором для обмеження пускового струму застосовують пускові опори, які вмикають у коло ротора. При пуску двигуна їх необхідно поступово виводити по мірі розгону двигуна. Процес пуску може відбуватися у функції часу, струму або частоти струму в роторі.

Схема керування пуском асинхронного двигуна з фазним ротором у функції часу показана на мал. 7.5. При натисканні на кнопку $SB2$ «Пуск» одержують живлення котушки контактора $KM1$ і реле часу $KT1$. Контактор головними контактами вмикає обмотку статора двигуна в мережу, а допоміжним замикаючим контактом шунтує кнопку $SB2$. Двигун розганяється при увімкнених у коло ротора пускових резисторах $R1-R6$.

Через заданий проміжок часу реле $KT1$ своїм замикаючим контактом подає напругу на котушки контактора $KM2$ і реле часу $KT2$. Контактор $KM2$ замикає головні контакти і закорочує перший ступінь пускового реостата $R1-R3$. Двигун продовжує розганятися при зменшеному опорі кола ротора. Через задану витримку часу реле часу $KT2$ замикає свій контакт у колі котушки контактора $KM3$, який спрацьовує і головними контактами закорочує другий ступінь пускового реостата $R4-R6$. Далі двигун розганяється на природній характеристиці при закороченому пусковому реостаті.

2.6 Керування пуском асинхронного двигуна з фазним ротором у функції струму

Схема керування пуском асинхронного двигуна з фазним ротором у функції струму показана на мал. 7.6. При натисканні на кнопку $SB2$ «Пуск» спрацьовує лінійний контактор $KM1$ і блокувальне реле KV . Контактор головними контактами

вмикає обмотку статора двигуна в мережу, а допоміжним замикаючим контактом шунтує кнопку *SB2*. При пуску двигуна через обмотку ротора проходить великий пусковий струм, тому реле струму *KA1* і *KA2*, котушки яких увімкнені у це коло, спрацьовують і розмикають свої контакти у колі котушок контакторів *KM2* і *KM3*. Блокувальне реле *KV* створює витримку часу, достатню для спрацювання реле струму *KA1* і *KA2*. Тому контактори *KM2* і *KM3* не спрацьовують, і двигун розганяється при увімкненому у коло ротора пусковому реостаті *R1-R6*. При зростанні кутової швидкості двигуна струм падає і при певних значеннях струму реле *KA1* і *KA2* по черзі повертаються у вихідне положення, подаючи своїми розмикаючими контактами напругу на котушки контакторів *KM2* і *KM3*. При цьому спочатку спрацьовує контактор *KM2* і своїми головними контактами закорочує перший ступінь *R1-R3*, а потім, через деякий час, спрацьовує контактор *KM3* і закорочує другий ступінь *R4-R6* пускового реостата.

2.7 Керування багатошвидкісними двигунами

Автоматичне керування багатошвидкісними двигунами забезпечує безступінчастий та ступінчастий пуск двигуна. Безступінчастий пуск двигуна здійснюється безпосереднім вмиканням на задану швидкість за допомогою контакторів, які керуються кнопками керування. При ступінчастому пуску вмикання на другу, третю або четверту швидкість здійснюється через контрольовану реле часу затримку на першій швидкості.

У схемах керування багатошвидкісними електродвигунами для захисту кіл від коротких замикань використовують автоматичні вимикачі, для захисту від перевантажень - теплові реле. Оскільки номінальні потужності та номінальні струми двигуна при різних частотах обертання різні, тому в схемах керування багатошвидкісними двигунами в коло обмоток кожної швидкості встановлюють свої теплові реле. Для запобігання одночасному вмиканню контакторів, що вмикають двигун на різні частоти обертання, в схемах передбачене взаємне електричне блокування допоміжними контактами.

Схема безступінчастого керування двошвидкісним двигуном показана на мал. 7.7. При пуску двигуна на нижчій швидкості натискають на кнопку *SB2*. При цьому отримує живлення котушка контактора *KM1*. Пускач *KM1* головними контактами вмикає двигун на першу швидкість (з'єднання обмоток у «зірку»), замикаючим допоміжним контактом шунтує кнопку *SB2* і розмикає контакт у колі котушки контактора *KM2*. Для вимикання двигуна натискають на кнопку *SB1* «Стоп». Пуск на вищу швидкість здійснюють натисканням кнопки *SB3*. При цьому спрацьовує контактор *KM2*, який з'єднує обмотки статора у «подвійну зірку». Захист силових кіл від коротких замикань здійснює автоматичний вимикач *QF1*, кіл керування - *QF2*. При перевантаженні спрацьовують теплові реле *KK1* або *KK2*, які вмикають двигун.

2.8 Пуск і автоматичне керування гальмуванням противмиканням асинхронного двигуна

Пуск і автоматичне керування гальмуванням противмиканням асинхронного двигуна здійснюється за схемою (мал. 7.8), в якій використовуються два контактори - лінійний *KM1* і гальмівний *KM2*, проміжне реле *KY*, реле контролю швидкості *ВІІ*, кнопки *BB2* «Пуск» і *557* «Стоп». Для пуску двигуна натискають на кнопку *SB2* «Пуск». При цьому спрацьовує лінійний контактор *KM1* і вмикає двигун у мережу. Один замикаючий допоміжний контакт контактора *KM1* шунтує кнопку «Пуск», а інший готує коло котушки реле *KV*. При досягненні валом двигуна деякої швидкості

контакт реле *BR* замикається, і реле *KV* спрацьовує. При цьому один його замикаючий контакт шунтує контакт *KM1* у колі котушки реле *KV*, а інший також замикається і готує коло живлення котушки гальмівного контактора *KM2*. При роботі двигуна котушка контактора *KM2* не може отримати живлення, тому що розмикаючий контакт *KM1* у колі котушки *KM2* розімкнений.

При натисканні на кнопку *SBI* «Стоп» контактор *KM1* вимикається, його розмикаючий допоміжний контакт у колі котушки контактора *KM2* замикається, контактор *KM2* спрацьовує і вмикає двигун у мережу зі зворотним чергуванням фаз. Двигун загальмовується, і при швидкості ротора, близькій до нуля, реле *BR* розмикає свій контакт, реле *KV* знеструмлюється і вимикає контактор *KM2*. На цьому гальмування завершується. Схемою передбачені також нульова блокіровка та електрична блокіровка від одночасного вмикання контакторів *KM1* та *KM2*.

2.9 Пуск і автоматичне керування з динамічним гальмуванням асинхронного двигуна

Гальмування противмиканням виходить різким, що для деяких приводів недопустимо. При динамічному гальмуванні зі збудженням статора постійним струмом гальмівний момент нарощується плавно, максимальний гальмівний момент має місце при низькій швидкості (3 - 30 % номінальної). Для здійснення динамічного гальмування асинхронного двигуна потрібно двигун вимкнути з мережі змінного струму і подати на статор знижену напругу постійного струму ($U_0 < 0,1 U_{\sim}$). Добрі гальмівні характеристики асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором одержують при подачі в обмотку статора постійного струму, який у 3 - 4 рази перевищує струм холостого ходу двигуна. При наявності мережі постійного струму двигун підключають до неї без витримки часу, а при живленні від випрямляча - з витримкою, достатньою для затухання магнітного потоку статора. Після закінчення гальмування живлення обмотки статора постійним струмом повинно бути вимкнено.

Пуск і динамічне гальмування асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором здійснюється за схемою, зображеною на мал. 7.9. У ній використовуються два контактори - лінійний *KM1* і гальмівний *KM2*. Керування двигуном здійснює перемикач *SA*, а нульове блокування - реле *KV*. Для автоматичного керування процесом гальмування використовуються два електромагнітних реле часу *KT1* і *KT2*. Постійний струм на статор подається від випрямляча *UZ*, що живиться від знижувального трансформатора *TV*.

Для пуску двигуна подають напругу на схему і ставлять перемикач *SA* в нульове положення. При цьому одержує живлення котушка реле *KV*, яке спрацьовує, один його замикаючий контакт шунтує контакти перемикача *SA*, а другий - вмикає трансформатор *TV*. Розмикаючий допоміжний контакт *KM1* у колі котушки контактора *KM2* розмикається, а замикаючий у колі котушки реле *KT1* замикається, реле *KT1* спрацьовує і своїм замикаючим контактом вмикає реле *KT2*. Реле *KT1* і *KT2* своїми контактами готують коло котушки контактора *KM2* до гальмування. У такому стані схема знаходиться при роботі двигуна.

Для зупинки двигуна перемикач потрібно повернути в нульове положення. При цьому розмикається коло котушки контактора *KM1* і статор двигуна вимикається з мережі. Також розмикається коло живлення котушки реле *KT1*. Розмикаючий контакт *KM1* у колі котушки контактора *KM2* замикається. Залишившись без живлення, реле *KT1* з витримкою 1-1,5 с (достатньою для затухання магнітного потоку двигуна) відпускає свій якір, і через його замкнений розмикаючий контакт подається живлення на котушку контактора *KM2*. Контактор

КМ2 спрацьовує і подає постійний струм від випрямляча на статора двигуна. Ротор двигуна швидко загальмовується. Одночасно з цим реле *КТ1* своїм замикаючим контактом, що розмикається, знеструмлює котушку реле *КТ2*. Якір відпадає з витримкою, достатньою для повного гальмування двигуна (2 - 3 с). При цьому замикаючий контакт реле *КТ2* розмикається і контактор *КМ2* вимикається, припиняючи живлення статора двигуна постійним струмом.

3. Схеми керування електроприводами на безконтактних логічних елементах

Для підвищення надійності роботи схеми автоматичного керування виконують на безконтактних логічних елементах, які змінюють електромагнітні реле. Найпростіші з них виконують логічні функції «І», «АБО», «НІ». Багатофункціональні елементи виконують функції «І-НІ», «АБО-НІ». Основні логічні елементи та їх релейно-контактні еквіваленти наведені в табл. 7.1.

Логічний елемент «І» здійснює логічне множення (кон'юнкцію). Це означає, що на його виході виникає сигнал «1», якщо на всі без винятку входи подані сигнали «1». Якщо хоча б на одному вході сигнал відсутній, тобто «0», то відсутній і сигнал на виході.

Логічний елемент «АБО» здійснює операцію логічного додавання (диз'юнкцію), тобто при подачі на один, декілька або всі входи елемента сигналів (одиниць) на його виході виникає сигнал (одиниця).

Логічний елемент «НІ» (інвертор) здійснює логічну операцію заперечення, тобто при подачі сигналу «1» на вхід елемента на виході сигнал зникає (стає рівним «0»), При відсутності сигналу на вході елемента, тобто «0», існує сигнал на його виході (рівний «1»).

Елементи пам'яті призначені для запам'ятовування сигналів. Логічну функцію «Пам'ять» виконує тригер.

Схеми керування з контактними апаратами можна замінити на схеми керування з безконтактними. На мал. 7.10 зображені типові вузли схем з безконтактними логічними елементами, які використовуються в складніших схемах автоматичного керування.

Схема нереверсивного керування двигуном (мал. 7.10, а) реалізується за допомогою тригера. При натисканні на кнопку *SB2* «Пуск» на виході тригера *DD* з'являється сигнал «1», який зберігається і після відпускання кнопки. При натисканні на кнопку *SB1* «Стоп» тригер перемикається, на його виході з'являється сигнал «0», який зберігається і після відпускання кнопки.

За схемами на мал. 7.10, б здійснюють вмикання контакторів *КМ1* і *КМ2* після натискання на відповідну кнопку *SB2* «Вперед» або *SB1* «Назад» і блокування, яка запобігає одночасному вмиканню обох контакторів. В схемі з логічними елементами: якщо натиснута кнопка *SB2* «Вперед» і увімкнений контактор *КМ1*, то при натисканні на кнопку *SB1* «Назад» і появи на вході 5 елемента *DD4* сигналу «0», на виході цього елемента залишається сигнал «0», бо на вхід 4 поданий сигнал «1» з виходу *DD2*.

За схемами на мал. 7.10, в реле *К* вимикається після натискання на кнопку *SB1* «Стоп» або при спрацюванні кінцевого вимикача *SQ*. При цьому на входах логічного елемента *DD* з'являється сигнал «1», і реле *К* вимикається.

За схемами на мал. 7.10, г при натисканні на кнопку *SB2* «Пуск» спрацьовує контактор *КМ1*, а з витримкою часу - контактор *КМ2*. В схемі з логічними елементами при натисканні на кнопку *SB2* на виході тригера *DD1* з'являється сигнал «1», який поступає на котушку контактора *КМ1* і через елемент затримки часу *DD2* -

на катушку контактора *КМ2*.

Контрольні запитання:

1. Які функції виконують схеми керування електроприводами?
2. Перелічіть основні правила виконання принципів електричних схем і схем електричних з'єднань.
3. Поясніть роботу типових схем керування електродвигунами постійного і змінного струму.
4. Які безконтактні логічні елементи застосовуються у схемах керування електроприводами?

Література:

1. Електропривод: Навчальний посібник/ О.Ю. Синявський, П.І. Савченко, В.В. Савченко, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Ю.М. Хандола, І.П. Ільчов; За ред. О.Ю. Синявського. - К.: Аграр Медіа Груп, 2013.-586 с. ISBN 978-617-646-201-9;
2. Електропривод: підруч. для вузів. Ч.1/О.С. Марченко, Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко, Є.Л. Жулай; за ред. О.С. Марченка. – К. : Урожай, 1995. – 207 с.. – ISBN 5-337-01695-4;
3. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, О.С. Марченко та ін.; Ред. Є.Л. Жулай. – К. : Вища освіта, 2001. – 288 с.. – ISBN 966-95995-2-0.

ЛЕКЦІЯ № 8

МЕТОДИКА ВИБОРУ ЕЛЕКТРОПРИВОДА В ЦІЛОМУ

План

1. *Загальна методика вибору електропривода;*
2. *Вибір електродвигуна за родом струму і напругою;*
3. *Вибір електродвигуна за режимом роботи та електричною модифікацією;*
4. *Вибір електродвигуна за конструктивним виконанням і способом монтажу;*
5. *Вибір електродвигуна за кліматичним виконанням і категорією розміщення;*
6. *Вибір електродвигуна з урахуванням особливостей сільських електромереж;*
7. *Вибір способу з'єднання двигуна з робочою машиною.*

1 Загальна методика вибору електропривода

Для вибору та перевірки електропривода необхідно мати такі вихідні дані:

- технологічну і кінематичну схему;
- механічну та навантажувальну характеристику робочої машини;
- динамічний момент інерції та статичний момент механізму при пуску (момент зрушення);
- режим роботи;
- послідовність операцій керування електроприводом та вимоги до автоматизації;
- аксіальне та радіальне навантаження на виступаючий кінець вала двигуна;
- умови навколишнього середовища та умови експлуатації електропривода.

При наявності цих даних вибір електропривода проводиться поетапно.

Електродвигун вибирають за:

- потужністю, частотою обертання;
- родом струму, напругою;
- режимом роботи, електричною модифікацією;
- конструктивним виконанням і способом монтажу;
- ступенем захисту персоналу від доторкання до струмоведучих частин та від

потрапляння всередину корпусу твердих сторонніх предметів і вологи;

- кліматичним виконанням і категорією розміщення.

Після вибору електродвигуна та його перевірок приступають до розробки елект-ричної принципової схеми керування електроприводом. При цьому використовують такі вихідні дані:

- тип електродвигуна та його електрична модифікація;
- особливості пуску (прямий, із введенням резисторів, перемиканням обмоток статора із «зірки» на «трикутник» тощо);
- особливості керування (нереверсивне, реверсивне, з електричним гальмуванням, керування з декількох місць);
- вимоги технологічного процесу щодо черговості запуску та зупинки;
- вимоги технологічного процесу щодо швидкісного режиму (одношвидкісний без регулювання, зі ступінчатою зміною швидкості, з плавним регулюванням швидкості, зі стабілізацією швидкості при змінах навантаження тощо);
- вимоги до рівня автоматизації керування (необхідність введення в схему датчиків, контролюючих та регулюючих пристроїв, кінцевих вимикачів тощо);
- можливі ненормальні режими, від яких треба захищати електропривод.

2. Вибір електродвигуна за родом струму і напругою

Основним для галузі є асинхронний двигун змінного струму. Більшість сільськогосподарських машин приводиться у рух нерегульованим електроприводом за допомогою трифазних асинхронних двигунів переважно коротко замкнутих. Він дешевший від фазного, простіший в обслуговуванні та надійніший в експлуатації.

Двигуни із фазним ротором застосовують там де необхідно мати великий пусковий момент при порівняно невеликому (1,5-3 кратному) пусковому струмі.

Основний недолік асинхронних двигунів – утруднене регулювання частоти обертів, тому їх застосовують тільки при ступінчастому регулюванні або незначному діапазоні регулювання. Там де потрібно регулювати частоту обертів застосовують багатшвидкісні асинхронні двигуни.

Застосування синхронних двигунів обмежується їх великою вартістю та необхідністю мати постійний струм для живлення кола збудження. Окрім того, вони вимагають автоматичної апаратури керування, що також здорожує привод, тому їх застосовують в установках відносно великої потужності, вони мають вищий ККД.

У сільському господарстві використовують електродвигуни постійного струму на різні наруги залежно від напруги генераторів, за економічними міркуваннями рекомендована наруга 220 та 440 В.

Найбільш розповсюдженими наругами змінного струму у сільському господарстві є система 220/380 В. Промисловість випускає асинхронні трифазні двигуни на наругу 380 В - Δ , що допускають перемикання в Y на час пусків та при роботі з навантаженням $(0,3-0,4)P_n$, що забезпечує його роботу з високим ККД та $\cos\phi$.

За наругою електроприводи вибирають таким чином, щоб номінальні наруги електродвигуна та апаратів захисту і керування відповідали нарузі електромережі, в яку вони будуть вмикатися. Асинхронні двигуни серії АІР потужністю 0,025-0,37 кВт виготовляються на наруги 220 та 380 В; від 0,37 до 11 кВт - на 220, 380 та 660 В при з'єднанні обмоток статора в «зірку» або «трикутник» з трьома вивідними кінцями, або шістьма кінцями за вимогою замовника; більше 11 кВт - на наругу 380/660 В шістьма вивідними кінцями.

3. Вибір електродвигуна за режимом роботи та електричною модифікацією

Двигуни для короткочасного режиму роботи (S2) створено на базі двигунів загального використання, тому тривалості допустимої роботи не збігаються зі стандартною тривалістю роботи режиму S2. Якщо двигун короткочасного режиму має потужність на одну ступінь вищу порівняно з двигуном основного виконання, то в його позначенні зазначено КР1, а якщо потужність більша на два ступеня - КР2. Двигуни короткочасного режиму мають також виконання, призначене для тривалого режиму роботи, а при перевантаженні - короткочасного режиму. Вони мають в позначенні індекс КР3 і використовуються при змінному навантаженні.

Електрична модифікація двигунів - це деякі відмінності в робочих властивостях, які найчастіше проявляються в механічних характеристиках. Основними електричними модифікаціями двигунів є такі: двигуни з підвищеним ковзанням, підвищеним пусковим моментом, з фазним ротором, багатошвидкісні, однофазні, для короткочасного режиму роботи. За електричною модифікацією асинхронний двигун вибирають залежно від моменту зрушення робочої машини, характеру навантаження двигуна і величини махових мас системи «електродвигун - робоча машина», потреби у регулюванні кутової швидкості тощо.

Асинхронні двигуни з підвищеним пусковим моментом АИРР рекомендуються для приводу механізмів з важкими умовами пуску, таких як шнеки, центрифуги, сепаратори, дробарки, вібратори, поршневі компресори, а також транспортери, які запускаються з частковим або повним навантаженням. Пусковий момент цих двигунів в 2-2,5 рази більший номінального, при цьому вони мають більш жорстку механічну характеристику.

До електричних модифікацій двигунів іноді відносять двигуни з вбудованим температурним захистом та вбудованим електромагнітним гальмом, які мають конструктивні відмінності, але за робочими характеристиками практично не відрізняються від двигунів основного виконання.

4. Вибір електродвигуна за конструктивним виконанням і способом монтажу

За конструктивним виконанням і способом монтажу електродвигун вибирають залежно від конструктивних особливостей робочої машини і передавального пристрою та їх розташування на місці встановлення. Класифікація конструктивних виконань двигунів за способом монтажу наведена в ГОСТ 2479-79. Структура умовного позначення містить дві букви (ІМ) та чотири цифри.

Перша цифра визначає конструктивне виконання: 1 - двигуни на лапах з підшипниковими щитами; 2 - двигуни на лапах, з підшипниковими щитами та з фланцем на підшипниковому щиті; 3 - двигуни без лап, з підшипниковими щитами, з фланцем на одному щиті; 4 - двигуни без підшипникових щитів.

Цифри 6-9 до двигунів основного виконання не застосовуються. Спеціальні серії двигунів можуть мати цифри 7 - двигуни з двома стояковими підшипниками (обкатувально-гальмівний стенд), 9 - машини спеціальної групи (заглибні електродвигуни, двигуни серій 4АПА, АИРП для приводу осьових вентиляторів, двигуни для ручних електричних машин тощо).

Друга та третя цифри означають спосіб монтажу, вказують на положення двигуна в просторі: горизонтально лапами вниз, вертикально валом вгору або вниз, на стінці, на стелі тощо. Двигуни з висотою осі обертання до 160 мм можуть працювати при будь-якому положенні вала в просторі (ІМ1081).

Четверта цифра означає виконання виступаючого кінця вала двигуна : 0 - без вихідного кінця вала; 1 - з одним циліндричним; 2 - з двома циліндричними; 3 - з одним конічним; 4-з двома конічними. Виконання валів з позначенням цифрами 5-9 в асинхронних двигунах основного виконання не існує. Основним виконанням валів у двигунів серії АИР загального призначення є 1 - з одним циліндричним кінцем.

5. Вибір електродвигуна за кліматичним виконанням і категорією розміщення

За кліматичним виконанням і категорією розміщення двигун вибирають відповідно до кліматичних умов району, в якому він буде експлуатуватися, та характеристики місця його розташування.

Кліматичне виконання електрообладнання позначають буквами: У - для районів з помірним кліматом; ХЛ - холодним кліматом; ТВ - тропічним вологим; ТС - тропічним сухим; Т - як з сухим, так із тропічним вологим кліматом, О - загально кліматичне виконання.

Категорія розміщення електрообладнання позначається цифрою: 1 - для роботи на відкритому повітрі; 2 - для роботи у приміщеннях з порівняно вільним доступом зовнішнього повітря, де коливання температури і вологості повітря мало відрізняються від коливань на відкритому повітрі; 3 - для роботи у приміщеннях з природною вентиляцією без штучного мікроклімату; 4 - для роботи у приміщеннях із штучним мікрокліматом; 5 - для роботи у приміщеннях з підвищеною вологістю.

За кліматичним виконанням та категорією розміщення електродвигуни основного виконання мають такі позначення:

- УЗ - для роботи в нормальному середовищі: температура навколишнього середовища від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, відносна вологість повітря не більше 98 %, запиленість повітря до 2 мг/м^3 (IP23) та до 10 мг/м^3 (IP44), навколишнє середовище вибухобезпечне, без струмопровідного пилу, висота над рівнем моря до 1000 м;

- У2 - вологоморозостійке виконання (для роботи під навісом): температура від $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, відносна вологість до 100 %, двигун має ізоляцію з подвійним просочуванням, крашу герметизацію з боку ввідного пристрою та вала;

- У1 - виконання двигуна, призначеного для роботи на відкритому повітрі з додатковим впливом атмосферних опадів, сонячної радіації, пилу та інших факторів при різких змінах температури повітря.

Для приміщень з підвищеною вологістю (теплиці, приміщення для переробки молока тощо) рекомендується застосовувати двигуни виконання У5.

Випускаються також спеціалізовані виконання двигунів за захистом від впливу зовнішнього середовища. До них відносяться двигуни:

- хімістійкого виконання (позначення Х1, Х2), які допускають наявність в оточуючому середовищі хімічно активного пару хлору до $0,001\text{ г/м}^3$, аміаку - до $0,02\text{ г/м}^3$, сірнистого ангідриду - до $0,02\text{ г/м}^3$;

- пилозахисного виконання (позначення УПУЗ), призначені для експлуатації в приміщеннях, де можливе утворення вибухонебезпечних сумішей, а запиленість приміщень може досягати 100 г/м^3 (комбикормові заводи, деревообробні цехи, млини, елеватори, зерносховища);

- сільськогосподарського виконання (позначення СУ1, СУ2), призначені для роботи на відкритому повітрі та в приміщеннях з відносною вологістю до 100 % при температурі $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$, допускають наявність аміаку до $0,03\text{ г/м}^3$, сірководню до $0,03\text{ г/м}^3$, соломистого пилу до $1,16\text{ г/м}^3$ (тваринницькі та птахівничі приміщення).

6. Вибір електродвигуна з урахуванням особливостей сільських електромереж

Коливання напруги. Запуск короткозамкннутих асинхронних двигунів від генераторів та підстанцій малої потужності викликає великі коливання напруги у мережі, які сильно впливають на пусковий режим двигунів, що вмикаються, та на роботу інших двигунів, що раніше включені у цю мережу.

Якщо повітряна лінія має значну довжину і невеликий перетин проводів, то у ній неможливо знехтувати падінням напруги. На затискачах двигуна падіння напруги визначається:

$$\Delta U = \frac{Z_{mp} + Z_l}{Z_{mp} + Z_l + Z_{\partial\partial}} \cdot 100\%,$$

де Z_l – повний опір ліній електропередач, Ом;

Z_{mp} – повний опір короткого замикання обмоток трансформатора:

$$Z_{mp} = \frac{U_n \cdot e_k}{100 \cdot I_n},$$

де U_n – номінальна фазна напруга трансформатора, В;

I_n – номінальний фазний струм;

e_k – напруга короткого замикання трансформатора, %;

$Z_{\partial\partial}$ – повний опір короткого замикання асинхронного двигуна, Ом:

$$Z_{\partial\partial} = \frac{U_n}{k_i \cdot I_n},$$

де U_n – номінальна фазна напруга двигуна, В;

I_n – номінальний фазний струм;

k_i – кратність пускового струму.

Перевірка правильності вибору електродвигуна за умовами запуску. За умовами запуску необхідна така напруга на затискачах двигуна, при якій обертовий момент двигуна перевищуватиме момент зрушення машини з місця на $M_{над} = (0,2 \dots 0,3)M_n$, тоді електродвигун подолає не тільки момент зрушення машини але й зможе надати початкове прискорення масам двигуна і робочої машини.

Встановимо основні співвідношення для допустимого падіння напруги виходячи із умов запуску електродвигуна та стійкості роботи раніше включених двигунів.

Для орієнтовних розрахунків прийемо, що обертовий момент асинхронного двигуна приблизно пропорційний квадрату прикладеної до його затискачів напруги:

$$\frac{M_n}{M_{nn}} = \left(\frac{U_n}{U_n} \right)^2,$$

де M_{nn} – пусковий момент двигуна при номінальній напрузі;

M_n – пусковий момент двигуна при зниженій напрузі пуску;

U_n – напруга при пуску;

U_n – номінальна напруга.

Падіння напруги:

$$\Delta U = \frac{U_n - U_n}{U_n} \cdot 100\%.$$

або:

$$\Delta U = \left(1 - \sqrt{\frac{M_n}{M_{nn}}} \right) \cdot 100\%.$$

Для розгону двигуна необхідно, щоб $M_n = M_{тр} + M_{над}$,

де $M_{тр}$ – приведений момент зрушення робочої машини;

$M_{над}$ – надлишковий момент, необхідний для прискорення приводу, $M_{над} = (0,2 \dots 0,3)M_n$, (в середньому $0,25M_n$), звідки:

$$\Delta U = \left(1 - \sqrt{\frac{M_{тр} + M_{над}}{M_{nn}}} \right) \cdot 100\%.$$

На практиці часто зручніше користуватися не самими моментами а кратностями цих моментів до номінального моменту:

$$\mu_0 = M_{nn}/M_n; \quad \lambda_m = M_{тр}/M_n; \quad \lambda_{над} = M_{над}/M_n,$$

тоді:

$$\Delta U = \left(1 - \sqrt{\frac{\lambda_m + \lambda_{над}}{\mu_0}} \right) \cdot 100\%.$$

Якщо відоме допустиме падіння напруги а необхідно підібрати за номінальним моментом двигун (кратністю пускового моменту) з урахуванням вимог робочої машини, можна скористатися:

$$\mu_0 = \frac{\lambda_m + \lambda_{над}}{1 - (\Delta U/100)^2}.$$

Перевірка правильності вибору електродвигуна за умовами стійкості роботи раніше включених двигунів. Для того, щоб при запуску коротко замкнутого асинхронного двигуна, спів розмірної з джерелом живлення потужності, не зупинились раніше включені двигуни, зниження напруги на їх затискачах не повинні перевищувати величини, при яких значення максимального моменту двигуна знизиться до значення моменту опору робочої машини $M_{нав}$. В цьому випадку порівнюються критичний момент двигуна при даній напрузі та найбільший момент, взятий з навантажувальної діаграми. За аналогією падіння напруги:

$$\Delta U = \left(1 - \sqrt{\frac{M_{нав}}{M_{max}}} \right) \cdot 100\%.$$

де $M_{нав}$ – необхідний момент на приводі раніше включеного двигуна;

M_{max} – максимальний (критичний) раніше включеного двигуна, при номінальній напрузі. Якщо врахувати що $\mu_k = M_{max}/M_n$; $\lambda_{нав} = M_{нав}/M_n$; то:

$$\Delta U = \left(1 - \sqrt{\frac{\lambda_{нав}}{\mu_k}} \right) \cdot 100\%.$$

Для перевірки стійкості роботи раніше включених двигунів при заданому падінні напруги, що викликане запуском нового двигуна, необхідно визначити потрібну перевантажувальну здатність працюючого двигуна:

$$\mu_k = \frac{\lambda_{нав}}{1 - (\Delta U/100)^2}.$$

7. Вибір способу з'єднання двигуна з робочою машиною

При виборі двигуна необхідно перевірити допустиме навантаження на виступаючий кінець вала за такими параметрами: прогин вала; допустимі

напруження, які визначаються матеріалом вала; довговічність підшипників.

При з'єднанні двигуна з робочою машиною через пружну муфту радіальна сила, H , визначається за емпіричною формулою:

$$F_{p1} = 5700\sqrt{P/n}, \quad (8.1)$$

де P - потужність на валу, кВт; n - частота обертання вала, об/хв.

При пасовій передачі:

$$F_{p2} = 1,96 \cdot 10^7 \frac{P}{nD} C_y, \quad (8.2)$$

де D - діаметр шківів, мм; C_y - коефіцієнт, який залежить від виду паса (для клиновидного паса $C_y = 2-2,5$).

Радіальні сили при ланцюговій передачі, H :

$$F_{p3} = 1,96 \cdot 10^7 \frac{P}{nD_1} C_k C_d, \quad (8.3)$$

де D - діаметр діляльного кола зірочки, мм; C_k - коефіцієнт, який враховує додаткову силу, що виникає в зубчатих та ланцюгових передачах ($C_k = 1,1-1,3$ при одному зачепленні, $C_k = 0,7-0,8$ при двох зачепленнях); C_d - коефіцієнт, який враховує вид приводного механізму. Для основної групи сільськогосподарських машин (конвеєри, насоси, вентилятори, компресори, дробарки, подрібнювані тощо) $C_d = 1,1-1,5$.

При прямо зубчатій передачі:

$$F_{p4} = 2,07 \cdot 10^7 \frac{P}{nD_1} C_k C_d. \quad (8.4)$$

Контрольні запитання:

1. Які вихідні дані необхідно мати для вибору електропривода?
2. Які основні етапи вибору електропривода?
3. Які існують електричні модифікації асинхронних двигунів, для приводу яких машин вони застосовуються?
4. Які конструктивні виконання електродвигунів застосовуються у сільськогосподарському виробництві?
5. Як вибирають електродвигуни за ступенем захисту від дії навколишнього середовища, кліматичним виконанням та категорією розміщення?
6. Які необхідно виконувати перевірки при виборі електродвигуна?
7. Які основні показники надійності застосовуються при оцінці електроприводів?
8. Як виконують техніко-економічну оцінку електропривода?

Література:

1. Електропривод: Навчальний посібник/ О.Ю. Синявський, П.І. Савченко, В.В. Савченко, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Ю.М. Хандола, І.П. Ільчов; За ред. О.Ю. Синявського. - К.: Аграр Медіа Груп, 2013.-586 с. ISBN 978-617-646-201-9;
2. Електропривод: підруч. для вузів. Ч.1/О.С. Марченко, Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко, Є.Л. Жулай; за ред. О.С. Марченка. - К. : Урожай, 1995. - 207 с.. - ISBN 5-337-01695-4;
3. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, О.С. Марченко та ін.; Ред. Є.Л. Жулай. - К. : Вища освіта, 2001. - 288 с.. - ISBN 966-95995-2-0.

ЛЕКЦІЯ № 9

ПРИСТРОЇ ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ ТА ОПРОМІНЕННЯ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

План

1. Головні поняття та властивості оптичного випромінювання;
2. Основні величини оптичного випромінювання та одиниці їх вимірювання;
3. Системи та норми електричного освітлення;
4. Пристрої електричного освітлення;
5. Розрахунок освітлення.

1 Головні поняття та властивості оптичного випромінювання

Застосування оптичного випромінювання дозволяє інтенсифікувати цілу низку технологічних процесів сільськогосподарського виробництва. Важливою сферою застосування оптичного випромінювання є ультрафіолетове та інфрачервоне опромінення сільськогосподарських продуктів, рослин, тварин, птахів.

Оптичне випромінювання є електромагнітними коливаннями, які у широкому діапазоні частот по різному взаємодіють з навколишнім середовищем. Тому весь діапазон електромагнітних коливань поділений на окремі ділянки, які у сукупності утворюють спектр (див. мал. 9.1). Кожна ділянка має назву відповідно до її дії.

Як і будь які хвильові процеси, оптичне випромінювання характеризується такими параметрами: довжиною хвилі – λ , частотою електромагнітних коливань – ν , швидкістю розповсюдження хвилі $c = 3 \cdot 10^8$ м/с:

$$\lambda = c/\nu.$$

Оптична частина спектра є коливаннями із довжиною хвиль від 10 нм до 340 мкм (340000 нм). Це випромінювання широко використовується у сільськогосподарському виробництві.

Різна дія оптичного випромінювання при зміні довжини хвилі дозволила поділити його на три характерні ділянки: *ультрафіолетове випромінювання* ($\lambda = 10 \div 380$ нм); *видиме випромінювання* ($\lambda = 380 \div 760$ нм); *інфрачервоне випромінювання* ($\lambda = 760 \div 340$ мкм).

Ультрафіолетове випромінювання поділене на зони:

- зона А ($\lambda = 315 \div 380$ нм) використовується для люмінесцентного аналізу сільськогосподарських продуктів, оскільки випромінювання цієї зони викликає світіння (люмінесценцію) деяких речовин, що дозволяє робити висновок про їхній стан (хімічний склад, степінь загнивання, спілості та ін..).

- зона В ($\lambda = 280 \div 315$ нм), випромінювання цієї зони створює сильну дію на тварин та рослин і використовується для нормалізації обміну речовин у організмі, оскільки під дією цього випромінювання здійснюється перетворення провітаміну D у вітамін D, який необхідний для нормалізації обміну речовин у організмі тварин. На рослини випромінювання цієї зони діє більшою частиною згубно;

- зона С ($\lambda = 200 \div 280$ нм), випромінювання цієї зони має бактерицидну дію, а отже здатне знищувати бактерії, що і використовується для знезараження води, повітря, посуду, приміщень та ін.. Рослини під дією цього випромінювання швидко гинуть;

- вакуумна зона ($\lambda = 10 \div 200$ нм), випромінювання цієї зони розповсюджується тільки у вакуумі, у повітрі швидко затухає і тому у сільському господарстві не використовується.

Рентгенівське випромінювання	Оптичне випромінювання												Ультра короткі радіохвилі	
	Ультрафіолетове випромінювання				Видиме випромінювання						Інфрачервоне випромінювання			
	Вакуумне	С	В	А	Фіолетове	Синє	Голубе	Зелене	Жовте	Оранжеве	Червоне	Ближнє		Середнє
10 нм	200 нм	280 нм	315 нм	380 нм	450 нм	480 нм	510 нм	550 нм	585 нм	620 нм	760 нм	2500 нм	25 мкм	340 мкм

Мал. 9.1 – Спектральний розподіл оптичного випромінювання

Видиме випромінювання (світло) ($\lambda = 380 \div 760$ нм) застосовується дуже широко у всіх галузях народного господарства. У сільському господарстві світло використовується для створення нормальних умов праці обслуговуючого персоналу – освітлення та для забезпечення технологічних процесів у тваринницьких і пташиних фермах а також у парниках та теплицях.

2. Основні величини оптичного випромінювання та одиниці їх вимірювання

Оптичне випромінювання є електромагнітними коливаннями (хвилями), які у широкому діапазоні частот по різному взаємодіють з навколишнім середовищем. Ці хвилі є однією із форм перенесення енергії, тому його можна характеризувати енергетичними величинами.

Однак, коли це випромінювання попадає на об'єкти, то залежно від властивостей цих об'єктів сприймати та перетворювати променеву енергію може спостерігатися різна дія, як сприятлива так і шкідлива, залежно від довжини хвилі випромінювання.

Оскільки не весь потік променевої енергії, що попадає на поверхню об'єкта створює корисну дію, то активним із діапазону $\lambda_1 - \lambda_4$ є тільки ділянка $\lambda_2 - \lambda_3$, причому ефективність цієї ділянки залежить від довжини хвилі відповідно до спектральної чутливості об'єкта.

Енергетичні величини. Оптичне випромінювання, як електромагнітні хвилі є однією із форм перенесення енергії. Енергія оптичного випромінювання W вимірюється у Джоулях [Дж].

Потужність або потік випромінювання Φ [Вт] – це енергія випромінювання, що переноситься за одиницю часу t :

$$\Phi = W/t.$$

Сила випромінювання I [Вт/ср] – це просторова густина потоку випромінювання, яка визначається відношенням потоку випромінювання Φ до тілесного кута ω , у якому він знаходиться та рівномірно розподілений:

$$I = \Phi/\omega,$$

де ω – тілесний кут (1 стеррадіан – це просторовий кут із вершиною у центрі сфери, який відтинає на її поверхні площу, що рівна квадрату радіусу цієї сфери).

Густина випромінювання R [Вт/м²] – це відношення потоку випромінювання Φ до площі поверхні S , яка випромінює:

$$R = \Phi/S.$$

Густина опромінення E [Вт/м²] – це відношення потоку випромінювання Φ до площі поверхні S , яка опромінюється:

$$E = \Phi / S.$$

Кількість (доза) опромінення H [Вт·с/м²] – це кількість енергії випромінювання, що попала на одиницю площі опромінюваної за певний час:

$$H = \sum_i^n E_i t_i.$$

Коефіцієнт корисної дії джерела випромінювання η – це відношення його потоку випромінювання Φ до потужності P , яке воно споживає з мережі:

$$\eta = \Phi / P.$$

Світлові величини. Оптичне випромінювання з довжиною хвилі 380...760 нм, сприймається оком людини як світло. Однак, одна і та ж потужність випромінювання різної довжини хвилі спричиняє різні рівні світлового відчуття. Око людини має найвищу чутливість до випромінювання з довжиною хвилі 556 нм. Система ефективних величин, що побудована на основі спектральної чутливості «усередненого» ока людини (відносно видимості випромінювання), називається **системою світлових величин.**

У цій системі ефективним є світловий потік Φ [лм] (люмен) – це потік тієї частини променистої енергії, яка оцінюється за зоровим сприйняттям.

Сила світла I [кд] (кандела) – це відношенням світлового потоку Φ до тілесного кута ω , у якому він знаходиться та рівномірно розподілений:

$$I = \Phi / \omega.$$

Освітленість E [лк] (люкс) – це відношенням світлового потоку Φ , що падає на поверхню до площі цієї поверхні S :

$$E = \Phi / S.$$

Кількість освітлення H [лк·с] – це кількість світлової енергії, що попала на одиницю освітлювальної площі за певний час:

$$H = \sum_i^n E_i t_i.$$

Світлова віддача джерела світла η – це відношення його світлового потоку Φ до потужності P , яке воно споживає з мережі:

$$\eta = \Phi / P.$$

Величини еритемного випромінювання. Загальна благотворна дія ультрафіолетового випромінювання на тварин та птахів пропорційна його еритемній дії. Еталонним сприймачем енергії ультрафіолетового випромінювання для побудови системи еритемних величин є шкіра людини. Еритема – це тимчасове почервоніння шкіри людини під дією ультрафіолетового випромінювання, яке з часом перетворюється на постійну засмагість. Максимальна чутливість шкіри людини і тварин відповідає довжині хвилі 297 нм.

Дія монохроматичного променевого потоку із довжиною хвилі 297 нм при потужності в 1 ват прийнята за одиницю еритемного потоку Φ_e – один «ер».

Решта величин і одиниць вимірювання утворюються аналогічно до світлових.

Сила еритемного випромінювання I_e [ер/ср]:

$$I_e = \Phi_e / \omega.$$

Еритемна опроміненість E_e [ер/м²]:

$$E_e = \Phi_e / S.$$

Кількість еритемного випромінювання H_e [ер·с/м²]:

$$H_e = \sum_i^n E_{ei} t_i.$$

Ефективна віддача джерела випромінювання η_e :

$$\eta_e = \Phi_e / P.$$

Величини бактерицидного випромінювання. Ультрафіолетове випромінювання здатне знищувати бактерії, руйнуючи вміст їхніх клітин (білок). Цю властивість використовують для дезінфекції. Максимальну бактерицидну дію має випромінювання із довжиною хвилі 254 нм.

Дія монохроматичного променевого потоку із довжиною хвилі 254 нм при потужності в 1 ват прийнята за одиницю бактерицидного потоку Φ_b – один «бакт».

Решта величин і одиниць бактерицидного вимірювання утворюються аналогічно до світлових.

Сила бактерицидного випромінювання I_b [ер/ср]:

$$I_b = \Phi_b / \omega.$$

Бактерицидна опроміненість E_b [ер/м²]:

$$E_b = \Phi_b / S.$$

Кількість бактерицидного випромінювання H_b [ер·с/м²]:

$$H_b = \sum_i^n E_{bi} t_i.$$

Бактерицидна віддача джерела випромінювання η_e :

$$\eta_e = \Phi_e / P.$$

Величини антирахітного випромінювання.

Дія монохроматичного променевого потоку із довжиною хвилі 280 нм при потужності в 1 ват прийнята за одиницю антирахітного потоку Φ_a – один «ар».

Решта величин і одиниць антирахітного вимірювання утворюються аналогічно до світлових.

Величини фотосинтетичного випромінювання. Під дією оптичного випромінювання у рослинах проходять різні фізіологічні процеси, головним із яких є фотосинтез. Частина випромінювання витрачається на нагрівання та випаровування води. Найсильнішу фотосинтетичну дію має випромінювання із довжинами хвиль від 300 до 750 нм.

Дія монохроматичного променевого потоку із довжиною хвилі 680 нм при потужності в 1 ват прийнята за одиницю фітопотoku Φ_f – один «фіт».

Решта величин і одиниць фітопотoku утворюються аналогічно до світлових.

3. Системи, види та норми електричного освітлення

У сільськогосподарському виробництві електричне освітлення поділяється на такі види: робоче, чергове, аварійне та сторожове.

Робоче освітлення є основним видом освітлення і повинне забезпечувати необхідну освітленість робочих площ.

Коли роботи не виконуються, то із загальної кількості світильників робочого освітлення виділяють 10% у приміщеннях для утримання тварин і 15% - у родильних відділеннях для чергового освітлення, яке призначене для періодичного контролю стану тварин та безпеки руху чергового персоналу у неробочий час.

У приміщеннях, де відсутність світла може призвести до порушень технологічних процесів або до нещасних випадків, окрім робочого освітлення застосовують ще й аварійне, яке повинне складати не менше 5-10% від робочого освітлення, але не менше 5 лк всередині приміщень і не менше 1 лк на території підприємства, і отримувати живлення від незалежного джерела.

Вибір системи та виду освітлення. Відповідно до будівельних норм та правил розрізняють дві системи освітлення: загального та комбінованого освітлення

яке передбачає застосування, окрім світильників загального освітлення, також і світильників, які встановлені безпосередньо на робочих місцях.

Застосування одного місцевого освітлення всередині споруд не допускається. Систему комбінованого освітлення застосовують при необхідності освітленості робочої поверхні 200 лк та більше. При цьому в освітленості робочої поверхні доля світильників загального освітлення повинна становити 10%, але не менше 150 лк та не більше 300 лк при газорозрядних лампах і не менше 50 та не більше 100 лк при лампах розжарювання.

Незалежно від прийнятої системи, загальне освітлення може бути із рівномірним або локалізованим розміщенням світильників.

Вибір нормованої освітленості здійснюють за галузевими нормами освітлення виробничих, адміністративних, побутових приміщень та сільськогосподарських підприємств, будинків, споруд. Вони розроблені на підставі будівельних норм і правил та являють собою перелік значень мінімальної освітленості робочих поверхонь головних технологічних операцій виробничих процесів у приміщеннях.

4. Пристрої електричного освітлення

Освітлювальний прилад – це сукупність джерел світла і арматура яка призначена для раціонального перерозподілу світлового потоку джерела, захисту очей від надмірної яскравості, кріплення джерела світла і запобігання від його механічних пошкоджень та забруднень.

Усі освітлювальні прилади прийнято поділяти на три групи:

1. світильники – це освітлювальні прилади ближньої дії, до 20..30м;
2. прожектори – це освітлювальні прилади дальньої дії, понад 30м;
3. комплектні освітлювальні прилади на основі щілинних та плоских світловодів.

Світильники складаються із корпусу, джерела світла, оптичної системи, лампотримачів (патронів), влаштованих пускорегулювальних апаратів та інших допоміжних пристосувань. Оптична система світильників складається з відбивачів (рефлекторів) та розсіювачів світла, захисного скла, екрануючих решіток та кілець.

Світильники характеризуються за такими параметрами:

- характером світлорозподілу;
- формою кривої сили світла;
- типорозміром джерела світла;
- класом захисту від враження електричним струмом;
- способом захисту від попадання пилу та води;
- кліматичним виконанням та категорією розуміння;
- ступенем пожежо- та вибухозахисту;
- призначенням та способом живлення.

В основу класифікації світильників за світлорозподілом покладено дві незалежних ознаки:

- співвідношення світлових потоків, що випромінюється світильниками у нижню Φ_c та верхню Φ_c напівсфери навколишнього середовища;
- форму кривої сили світла.

Відповідно до стандарту усі світильники поділяються на п'ять класів, залежно від того яку частку світлового потоку світильника складає потік нижню напівсферу:

- 1 клас, світильники прямого світла (П), якщо ця частка понад 80%;
- 2 клас, переважно прямого світла (Н), якщо вона складає 60..80%;
- 3 клас, розсіяного світла (Р), якщо вона складає 40..60%;

4 клас, переважно відбитого світла (В), якщо вона складає 20..40%;

5 клас, відбитого світла (О), якщо вона складає менше 20%.

Цей же стандарт встановлює сім типових кривих світла, одну із яких може мати кожен із світильників.

Кожному світильнику привласнюють шифроване позначення та умовну назву.

Прожектори отримали розповсюдження для освітлення великих відкритих просторів при неможливості або небажаності встановлення опор. При освітленні прожекторами полегшується експлуатування освітлювального пристрою за рахунок різкого скорочення числа місць, що вимагають обслуговування, числа опор, протяжності електричних мереж, а також покращуються умови освітлення вертикальних поверхонь.

Однак, при цьому посилюється осліплююча дія прожекторів, з'являються різні тіні від великих предметів, які розміщені на території, що освітлюється. Окрім того, обслуговування прожекторів вимагає вищої кваліфікації персоналу.

Джерелами світла у прожекторах можуть бути лампи ДРЛ потужністю 250 Вт, 400 Вт, 700 Вт, лампи розжарювання загального призначення потужністю 300Вт, 500 Вт та 1000 Вт, прожекторні лампи розжарювання на 500Вт та 1000 Вт, галогенні лампи розжарювання на 1000 Вт, 1500 Вт та 2000 Вт, а також метало галогенні газорозрядні лампи на 400 Вт, 700Вт, 1000 Вт і 2000 Вт.

Комплексні освітлювальні пристрої на основі світловодів є принципово новими освітлювальними приладами, які дозволяють ефективно працювати у виробничих приміщеннях із великим вмістом пилу, диму, кіптяви та вологи, у тому числі у вибухонебезпечних та пожежонебезпечних зонах. При цьому метало-місткість освітлювальних пристроїв знижується у 5...6 разів.

Правильно спроектований освітлювальний пристрій повинен забезпечувати оптимальну освітленість робочої поверхні при найменших затратах коштів та електроенергії. Проектування освітлювальних пристроїв здійснюють у такому порядку:

- вибирають джерело світла, систему та вид освітлення, нормовану освітленість та коефіцієнт запасу, освітлювальні прилади (тип світильника);
- розміщують світильники в освітлювальному просторі;
- визначають потужність джерел світла які встановлюються у світильники, або кількість світильників.

Вибір джерел світла визначається їх економічною доцільністю та ефективністю. Враховуючи вищу світлову віддачу газорозрядних джерел та порівняно більший термін їх служби галузеві норми освітлення сільсько-господарських підприємств рекомендують застосовувати ці джерела для загального освітлення усіх виробничих приміщень і тільки у випадку неможливості або техніко-економічної недоцільності застосування газорозрядних ламп, а також для забезпечення архітектурного-художніх вимог допускається використовувати лампи розжарювання. Лампи розжарювання потрібно застосовувати для освітлення допоміжних (санвузли, сходи, коридори та ін.) та складських приміщень.

5. Розрахунок освітлення

Освітленість розраховують методом коефіцієнта використання світлового потоку, точковим методом або за допомогою таблиць питомої потужності та прямих нормативів. Це кінцевий етап проектування світлотехнічної частини освітлювального пристрою в ході якого вирішують такі питання:

- ознайомлення з характеристикою об'єкта і складання таблиць основних параметрів приміщень (довжина, ширина, площа, висота, коефіцієнти відбиття стелі, стін та підлоги, характер навколишнього середовища та особливості технологічного процесу);
- вибір типу джерела світла (враховується напруга джерела електропостачання);
- вибір системи освітлення і типу світильників;
- вибір нормованої освітленості та коефіцієнта запасу;
- визначення кількості світильників) розміщення їх на плані приміщення;
- розрахунок освітленості за одним із методів і складання світлотехнічної відомості.

Для загального освітлення приміщень основного виробничого призначення (тваринницьких, птахівничих) слід, як правило, застосовувати газорозрядні джерела світла низького тиску, а для приміщень підсобного призначення - лампи розжарювання.

Території сільськогосподарських підприємств, виробничі майданчики, проїзди освітлюють газорозрядними джерелами світла високого і низького тиску. Допускається також застосування ламп розжарювання.

У приміщеннях для утримання тварин освітленість гнойових проходів повинна становити 25% нормованої для загального освітлення даного приміщення, але не менше 10 лк. Освітленість проїздів на території сільськогосподарських підприємств повинна бути 0,5 лк.

Світильники для чергового освітлення виділяють з числа світильників загального освітлення в кількості 10 % в приміщеннях, де утримують тварин, та 15 % - в родильних відділеннях. Їх рівномірно розміщують над проходами приміщення.

При проектуванні освітлювальних установок вводять коефіцієнт запасу k (для приміщень з газорозрядними лампами - 1,3, а з лампами розжарювання - 1.15). Періодичність очищення світильників - не рідше одного разу на 3 місяці.

Метод коефіцієнта використання світлового потоку застосовують при розрахунках загального рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь в закритих приміщеннях.

При цьому враховується світловий потік, який відбивається від стелі, стін та підлоги. Основна розрахункова формула:

$$\Phi = \frac{EkSz}{N\eta},$$

де Φ - розрахунковий світловий потік лампи; лм;

E - нормована освітленість, лк;

k - коефіцієнт запасу;

S - площа приміщення, м²;

z - коефіцієнт нерівномірності освітлення;

N - кількість світильників;

η - коефіцієнт використання світлового потоку.

Порядок розрахунку. Спочатку обґрунтовують та вибирають тип джерела світла (лампи розжарювання, люмінесцентні лампи, лампи типу ДРЛ, тощо).

Потім залежно від характеру робіт, що виконуються в приміщенні відповідно до «Галузевих норм освітлення сільськогосподарських підприємств, будівель та споруд» вибирають нормовану освітленість (табл. 1), коефіцієнт запасу, та

коефіцієнт нерівномірності освітлення (1,15 – для світильників із лампами розжарювання прямого світла; 1,1 - в інших випадках).

Враховуючи світлорозподіл, умови навколишнього середовища та економічність, визначають тип світильника. Знаходять кількість світильників N за умови їх розміщення з найбільш вигідною відносною відстанню.

Розміщення світильників в освітлюваному просторі. При рівномірному розміщенні світильники розподіляють у кутах прямокутників або у вершинах ромбів із урахуванням доступу до світильників для обслуговування.

Відстань між світильниками у ряду L_A та відстань між рядами світильників L_B визначають за формулою:

$$L_{A,B} \approx \lambda_c H_p,$$

де λ_c - світлотехнічно найвигідніші відносні відстані між світильниками (залежить від типових кривих сили світла);

H_p - розрахункова висота встановлення світильників, м;

яка визначається за залежністю:

$$H_p = H_0 - h_c - h_p,$$

де H_0 - висота приміщення, м;

h_c - висота звисання світильників (відстань від світлового центра світильників до стелі), м;

h_p - висота розрахункової поверхні над підлогою, на якій нормується освітленість, м.

У приміщеннях із підвищеною небезпекою та особливо-небезпечних приміщеннях, за ступенем небезпеки враження електричним струмом, висота встановлення світильників над підлогою повинна бути не менше 2,5 м.

При рівномірному розподіленні світильників у кутах прямокутника рекомендується щоб $L_A/L_B \leq 1,5$. Відстань від стіни до найближчого ряду світильників L_B або найближчого світильника у ряду L_A приймають у межах (0,3...0,5) $L_{A,B}$.

За відомими $L_{A,B}$ та $l_{A,B}$, довжині А та ширині В приміщення можна визначити кількість рядів світильників

$$N_2 = (B - 2l_B) / L_B + 1,$$

та кількість світильників у ряду,

$$N_1 = (A - 2l_A) / L_A + 1.$$

Значення N_1 та N_2 заокруглюють до цілого числа та визначають загальну кількість світильників у приміщенні.

$$N = N_1 N_2.$$

Вибирають коефіцієнти відбиття стелі, стін та підлоги. Визначають індекс приміщення:

$$i = \frac{AB}{H_p(A+B)}.$$

Знаходять коефіцієнт використання залежно від типу світильника, коефіцієнтів відбиття та індексу приміщення (табл. 2.). При ($i > 5$ коефіцієнт використання береться для як для $i = 5$ у %, а в формулу при розрахунках

підставляється в частках одиниці. Потім за формулою визначають розрахунковий світловий потік однієї лампи.

Розрахунок освітлення люмінесцентними лампами *методом коефіцієнта використання* доцільно проводити в іншому порядку. Спочатку вибирається тип світильника, потужність та світловий потік ламп якого відомий. Потім визначається розрахунковий світловий потік для всього освітлюваного приміщення і кількість світильників (діленням розрахункового світлового потоку на світловий потік ламп одного світильника). Одержана кількість світильників рівномірно розміщується над освітлюваною площею приміщення.

Точковий метод використовують під час перевірки розрахунків освітлення, а також при прямих розрахунках:

- загального локалізованого освітлення;
- місцевого освітлення;
- освітлення негоризонтальних площин;
- зовнішнього освітлення (вулиць, площ, відкритих просторів).

Точковий метод враховує тільки освітленість від світлового потоку, що безпосередньо потрапляє від світильника в розрахункову точку.

Основні розрахункові формули дають можливість визначити горизонтальну E_G та вертикальну E_B освітленості:

$$E_G = \frac{I_\alpha}{H_p^2} \cos^3 \alpha; \quad E_B = \frac{I_\alpha}{H_p^2} \cos^2 \alpha \sin \alpha,$$

де I_α – сила світла у напрямку розрахункової точки, що освітлюється;

α – кут між напрямком сили світла у розрахункову точку та віссю симетрії світильника, град.

Контрольні запитання:

Для чого необхідні електричні джерела видимого випромінювання?

2. Як побудована і працює лампа розжарювання?
3. Як побудована і працює галогенна лампа розжарювання?
4. Чим обмежується строк служби лампи розжарювання і чому вона має низький світловий ККД?
5. Як побудована газорозрядна люмінесцентна лампа?
6. Яким чином у газорозрядній люмінесцентній лампі електрична енергія перетворюється у потік видимого випромінювання?
7. Що таке люмінофор і як від нього залежить спектральний склад випромінювання лампи?
8. Що відноситься до ПРА у схемах підключення люмінесцентних ламп?
9. Яке призначення дроселя у ПРА люмінесцентної лампи?
10. Яке призначення стартера у ПРА люмінесцентної лампи?
11. Як здійснюється запалювання люмінесцентної лампи?
12. Які переваги мають люмінесцентні лампи порівняно з лампами розжарювання?
13. Як побудована і працює лампа типу ДРЛ, де і чому вона застосовується?
15. Скільки і чому, триває процес розгоряння лампи типу ДРЛ?
16. Чому лампу типу ДРЛ не можна відразу ж після відключення знову включати в роботу?
17. Як побудована і працює металогалогенна лампа типу ДРИ?
18. Як побудована і працює натрієва лампа високого тиску ДНаТ?

Література:

1. Електропривод: Навчальний посібник/ О.Ю. Синявський, П.І. Савченко, В.В. Савченко, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Ю.М. Хандола, І.П. Ільчов; За ред. О.Ю. Синявського. - К.: Аграр Медіа Груп, 2013.-586 с. ISBN 978-617-646-201-9;
2. Електропривод: підруч. для вузів. Ч.1/О.С. Марченко, Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко, Є.Л. Жулай; за ред. О.С. Марченка. – К. : Урожай, 1995. – 207 с.;
3. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, О.С. Марченко та ін.; Ред. Є.Л. Жулай. – К. : Вища освіта, 2001. – 288 с.. – ISBN 966-95995-2-0.

ЛЕКЦІЯ № 10

ЕЛЕКТРОНАГРІВНІ ТА ХОЛОДИЛЬНІ ПРИСТРОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

План

1. *Загальні питання застосовування електронагрівних та холодильних пристроїв;*
2. *Способи електронагрівання та класифікація електронагрівних пристроїв;*
3. *Способи охолодження, типи холодильних машин;*
4. *Нагрівні елементи, способи регулювання їх потужності, продуктивності та температурних режимів.*

1. Загальні питання застосовування електронагрівних та холодильних пристроїв

У сільськогосподарському виробництві використовують дуже багато теплової енергії. У структурі енергобалансу вона становить понад 65 %, а у тваринництві потреба в тепловій енергії становить 80...90 % усього енергоспоживання. На тваринницьких фермах теплову енергію використовують для підігрівання води, приготування кормів, пастеризації молока, стерилізації молочного посуду, обігрівання тваринницьких приміщень, обробки продукції тваринництва, а також для зоогігієнічних потреб. У птахівництві теплову енергію використовують для інкубації яєць, обігрівання курчат, для підігрівання води, створення необхідного мікроклімату у приміщеннях, переробки птахівницької продукції тощо.

У зв'язку із цим електронагрівні та холодильні пристрої у сільському господарстві знаходять все більше застосування і мають такі переваги:

- висока якість та вибірковість нагрівання та охолодження;
- можливість повної автоматизації та точність дотримання температурного режиму;
- малі капітальні затрати на обслуговування і постійна готовність до дії;
- малі капітальні затрати і менша потреба у виробничих площах, можливість встановлення у довільному місці;
- понижена пожежонебезпека, відсутність забруднень навколишнього середовища.

Однак теплові процеси дуже енергомісткі, тому переведення теплових процесів на електроенергію вимагає суворих техніко-економічних обґрунтувань, через багатократні перетворення енергії к.к.д. електронагрівних пристроїв становить 40...50 %, що значно менше ніж у паливних, впливає також і велика вартість електроенергії, тому доцільне переведення електронагрівних пристроїв там де це

можливо на дешевший нічний тариф, однак при цьому ускладнюються технологічні процеси адже нагрівання здійснюється у нічний час.

2. Способи електронагрівання та класифікація електронагрівних пристроїв

Електронагрівним пристроєм називається пристрій, що служить для теплового обробітку середовища і який складається із електронагрівача, що перетворює електричну енергію у теплову, конструктивних елементів – корпусу, деталей кріплення, тепло- та електроізоляції, системи електро-постачання та автоматизації.

Електронагрівні пристрої розрізняються за такими ознаками:

- способом перетворення електричної енергії в теплову;
- температурою до якої нагрівається оброблюване середовище;
- принципом нагрівання;
- принципом роботи;
- частотою струму живлення;
- напругою живлення.

Залежно від способу перетворення електричної енергії в теплову розрізняють такі способи електронагрівання: опором, електричною дугою, індукційний, діелектричний, електронний та світловий (лазерний).

Електронагрівання опором. У твердих і рідких провідниках при проходженні по них електричного струму в результаті взаємодії носіїв струму (електронів або іонів провідника) із кристалічними ґратками металів чи атомами та молекулами цього провідника виділяється теплота. Кількість теплоти, яка виділяється, визначають за законом Джоуля - Ленца:

$$Q = I^2 R t, \quad (10.1)$$

де Q – кількість теплоти, Дж; I – сила струму, А;

R – електричний опір, Ом; t – час, с.

Нагрівання електричною дугою. Перетворення електричної енергії в теплоту відбувається в електричній дузі, що виникає між електродами в газовому середовищі чи плазмі. На електроди подають напругу. Потім на мить торкаються одним електродом іншого для запалювання електричної дуги і повільно розводять електроди на певну відстань. Унаслідок іонізації газове середовище між електродами стає електропровідним. Пряме нагрівання електричною дугою широко застосовується в електрозварювальних установках.

Електронне електронагрівання відбувається при зустрічі потоку електронів, прискорених електричним полем у вакуумі, з тілом, яке потрібно нагріти. Електронне електронагрівання застосовують у промисловості для зварювання дрібних деталей та виплавлення надчистих металів.

Світлове (лазерне) електронагрівання відбувається під дією випромінювання оптичних квантових генераторів (лазерів). Енергія пучка когерентних оптичних променів при зустрічі з поверхнею тіла, що нагрівається, перетворюється в тепло. Лазери використовують для зварювання мікродеталей, при монтажі радіосхем, проведенні операцій та для інших цілей.

Індуктивне нагрівання металів. Якщо провідник помістити в змінне магнітне поле, то він нагріватиметься струмами, які наводяться в ньому, за законами електромагнітної індукції. Інтенсивне нагрівання буває в полях великої напруженості і високої частоти. Ці поля утворюються в спеціальних установках, які називають індукторами. Індуктор – первинна обмотка повітряного трансформатора, вторинною обмоткою якого є тіло, що нагрівається. Конструктивно найпростіший

індуктор – це ізольований провідник, вміщений у середину металевої труби. Провідник може бути скручений у спіраль.

Діелектричне нагрівання. Під впливом електричного поля в матеріалах з поганою електропровідністю заряди, зв'язані міжмолекулярними силами, орієнтуються або зміщуються в напрямі електричного поля. Ці заряди називають зв'язаними на відміну від вільних зарядів, які утворюють струм провідності. Зміщення зв'язаних зарядів під дією електричного поля називають поляризацією. Якщо електричне поле змінне, то відбувається безперервне зміщення зарядів. Енергія, яка витрачається на поляризацію молекул не провідникових матеріалів, виділяється у вигляді теплоти.

Інфрачервоне нагрівання. Інфрачервоні промені використовують у сільськогосподарському виробництві для обігрівання молодняку тварин та птиці, для сушіння сільськогосподарських продуктів і лакованих поверхонь та для дезинсекції. Вони проникають в органічну речовину на деяку глибину, і нагрівання речовини відбувається відразу на всій глибині проникання променів. Інфрачервоні промені можна досить точно сфокусувати на певний об'єкт або його частину за допомогою відбивачів і екранів. При цьому можна досягти дуже високої інтенсивності нагрівання з високим енергетичним коефіцієнтом корисної дії. При температурах, вищих за 800 °К, інфрачервоні промені дають змогу передавати значно більші потужності порівняно з конвекційним і контактним способами нагрівання. Особливо високий результат досягається за максимальної відповідності довжини хвилі інфрачервоного випромінювання поглинальній здатності речовини.

За температурою нагрівання оброблюваного середовища електронагрівні пристрої бувають:

- низькотемпературні, з температурою нагрівання до 150 °С;
- середньотемпературні, з температурою нагрівання до 500 °С;
- високотемпературні, з температурою нагрівання понад 500 °С.

За принципом нагрівання, (способу передавання теплової енергії об'єкту нагрівання) електронагрівання опором може бути *прямим*, коли струм проходить безпосередньо через тіло, що нагрівається, та *побічним*, коли використовуються спеціальні пристрої для перетворення електричної енергії в теплову, а потім теплота від них передається тілу.

Провідники електричного струму поділяють на *провідники першого роду* (метали, сплави, графіт), які мають електронну провідність, та *провідники другого роду* (звичайна недистильована вода, молоко, соковиті і вологі корми тощо), які мають іонну провідність.

Пряме електронагрівання опором поділяють на два види: *електроконтактне* – нагрівання металевих тіл та *електродне* - нагрівання провідників другого роду.

При прямому електродному нагріванні матеріал (вода, вологі корми тощо) вміщують між електродами, на які подають напругу. Матеріал, через який проходить струм, нагрівається. Пряме електродне нагрівання здійснюють тільки змінним струмом, бо постійний струм спричиняє електроліз матеріалу і псування його, а при нагріванні води може призвести до вибуху внаслідок виділення гримучого газу.

При поверхневому електронагріванні електрична енергія перетворюється у теплову у спеціальних електронагрівачах, і передається від їхньої поверхні до оброблюваного середовища контактним, конвективним або променевим шляхом. Для збільшення електробезпеки і рівномірності нагрівання у таких пристроях

використовуються проміжні теплоносії: повітря, пара, вода, масло, бетон, пісок, асфальт, та ін..

За принципом роботи електронагрівні пристрої бувають *періодичної та неперервної дії*. У пристроях періодичної дії чергуються операції завантаження, нагрівання і вивантаження оброблюваного матеріалу, а в пристроях неперервної дії (проточних) нагрівання матеріалу здійснюється безпосередньо у технологічному потоці. Пристрої неперервної дії мають такі переваги: - вищу продуктивність, вищий к.к.д. менші габаритні розміри та меншу вартість.

За частотою струму живлення індукційні установки поділяють на установки *низької* (промислової) частоти (50 Гц); установки *середньої* частоти (150...10000 Гц), *підвищеної* частоти (до 10 кГц), *високої* частоти (від 60 кГц до 100 МГц) та *надвисокої* частоти (понад 100 МГц).

За напругою живлення установки поділяють на установки *низької* напруги до 400 В, та високої напруги до 10 кВ.

3. Способи охолодження, типи холодильних машин

Для штучного охолодження у холодильних машинах сільськогосподарського призначення в основному використовуються такі способи охолодження, як фазове перетворення речовини при кипінні та термоелектричний ефект.

Фазове перетворення речовини при кипінні – це процес її переходу із рідкого у пароподібний стан із відбором теплоти від середовища, що охолоджується. Робочу рідину за допомогою якої здійснюється відбір та передача тепла називають холодильним агентом або холодоагентом, у якості якого найбільш розповсюджені фреон-12 та аміак, що мають низьку температуру кипіння. При атмосферному тиску температура кипіння фреон-12 складає – 29,8 °С, а аміаку – 33,6 °С. Через велику густину та в'язкість фреону-12 діаметри їхніх трубопроводів і прохідні отвори клапанів у двічі більші ніж у аміачних машинах.

За принципом роботи холодильні машини з фазовим перетворенням речовини при кипінні поділяють на компресорні та адсорбційні.

Компресорна холодильна машина працює на принципі перетворення механічної енергії електродвигуна компресора у енергію стиску та конденсації парів холодоагента із подальшим кипінням у випаровувачі та відбиранням тепла від середовища, що охолоджується.

Дуже перспективним у тваринництві є застосування напівпровідникових теплових насосів, що працюють на ефекті термоелектричного охолодження та нагрівання. Принцип їх дії оснований на явищі, яке в 1834 р. відкрив французький фізик Пельтьє. Суть цього явища полягає в тому, що при пропусканні постійного струму через напівпровідник на одному з його спаїв теплота виділяється, а на іншому - поглинається.

Перетворення електроенергії у таких холодильних пристроях дозволяє на 1 кВт·год затраченої електроенергії одночасно отримувати до 2...5 кВт·год корисно використаної теплової енергії. Такі пристрої для комплексного використання енергії називаються тепловими насосами.

4. Нагрівні елементи, способи регулювання їх потужності, продуктивності та температурних режимів

Будова нагрівних елементів. Електронагрівні елементи залежно від умов експлуатації, призначення та інших факторів виготовляють *відкритими, закритими і герметичними*. *Відкриті* електронагрівні елементи віддають тепло матеріалу, що нагрівається, шляхом конвекції та випромінювання інфрачервоних променів. У

закритих нагрівних елементах високоомний опір вміщують у захисну оболонку, яка захищає його від механічних пошкоджень, але не перешкоджає доступу повітря. *Герметичні* електронагрівні елементи - це опір, вміщений у масу з ізоляційного матеріалу. Найчастіше вони складаються з металевої трубки, усередині якої в ізоляційну масу запресована спіраль з ніхромового або фехралевого дроту. За рахунок герметизації виводів повітря до спіралі не надходить. Герметичні електронагрівні елементи віддають тепло матеріалу, що нагрівається в основному внаслідок теплопровідності трубки і заповнювача.

Герметичні електронагрівні елементи мають ряд переваг над відкритими і закритими елементами, а саме:

- 1) не окислюються і не забруднюються, що значно збільшує строк їх використання;
- 2) захищені від механічних пошкоджень і нечутливі до струсу;
- 3) електробезпечні для людей і тварин;
- 4) передають теплоту без різких перепадів температури;
- 5) універсальні, що дає можливість їх замінювати.

Найбільшого поширення в сільському господарстві набули трубчаті електронагрівники (ТЕНи), їх використовують у водонагрівниках, електрокалориферах, установках нагрівання променями тощо. Трубчатий нагрівник типу ТЕН (мал. 1) складається з ніхромової спіралі 1, металевої трубки 2, наповнювача 3, вивідних шпильок 4, ущільнювальних втулок 5 та гайки 6 для кріплення нагрівника. Наповнювач – плавлений окис магнію (периклаз) - надійно ізолює спіраль від металевої трубки і добре проводить тепло. Спіраль, запресована в периклаз, майже не окислюється, що забезпечує при правильному виборі та експлуатації нагрівника строк експлуатації до 10 000 год.

Трубки нагрівників виготовляють із звичайної та неіржавіючої сталі і латуні. ТЕНи з трубками зі звичайної сталі використовують для нагрівання повітря, а з трубками з неіржавіючої сталі та латуні - для нагрівання води, масел тощо. Трубчаті нагрівники повинні працювати тільки в тому середовищі, для якого вони призначені. Якщо трубчатий нагрівник призначений для роботи в рідкому середовищі, то всю його активну частину потрібно обов'язково занурити в рідину. Нагрівники не повинні торкатись один одного. Виводи нагрівників потрібно ізолювати від теплового випромінювання нагрітого агрегату, вони повинні добре омиватись холодним повітрям.

ТЕНи виготовляють на номінальну напругу 12, 24, 36, 48, 55, 60, 127, 220, 380 В; на номінальні потужності від 0,05 до 20 кВт; із зовнішніми діаметрами трубок 7; 9; 12,5; 15 мм і довжиною від 250 до 6300 мм в одно- або трьохелементному виконанні.

Матеріали для спіралей нагрівних елементів. Нагрівні елементи працюють у дуже важких температурних умовах. Стійкість нагрівного елемента проти високої температури визначає строк служби електричного нагрівника. Тому до матеріалів, з яких виготовляють нагрівні елементи, ставлять низку вимог. Основні з них такі:

- 1) здатність витримувати механічні навантаження від власної маси при високих температурах;
- 2) стійкість проти окислення при високих температурах, яке сприяє зменшенню поперечного перерізу і збільшенню опору нагрівного дроту;
- 3) високий питомий опір, збільшення якого сприяє зменшенню маси нагрівного дроту і габаритів електронагрівника;

4) низький температурний коефіцієнт розширення, що забезпечує при підвищенні температури незначне збільшення опору;

5) висока температура плавлення (на 150...300°C вища за робочу температуру);

6) добра оброблюваність;

7) невисока вартість.

Тепловий та електричний розрахунок електронагрівних установок. При тепловому розрахунку електронагрівних установок визначають втрати тепла на нагрівання, плавлення і випаровування, втрати тепла в зовнішнє середовище, тепловий коефіцієнт корисної дії, загальну потужність установки та її конструктивні параметри.

При електричному розрахунку вибирають напругу і частоту струму, спосіб нагрівання та визначають основні геометричні розміри нагрівного пристрою. Встановлену потужність електронагрівної установки, кВт, визначають за формулами:

- при нагріванні матеріалів

$$P = \frac{K_3 GC(\theta_2 - \theta_1)}{3600\eta} ; \quad (10.2)$$

- при плавленні і випаровуванні

$$P = \frac{K_3 GC[(\theta_2 - \theta_1) + a]}{3600\eta} , \quad (10.3)$$

де G - продуктивність установки, кг·год⁻¹, м³·год⁻¹ і т. д.;

C - середня за період нагрівання питома теплоємність тіла, кДж·кг⁻¹·град⁻¹;
кДж·м⁻³·град⁻¹;

θ_1 і θ_2 - початкова і кінцева температура тіла, град;

K_3 - коефіцієнт запасу, що враховує старіння нагрівальних елементів і можливе зниження електричної напруги (повинен становити 1,1...1,3);

a - питома теплота фазового перетворення (питома теплота плавлення, випаровування), кДж·кг⁻¹;

η - коефіцієнт корисної дії електронагрівної установки (к. к. д), який включає в себе електричний к. к. д. (η_e) і тепловий к. к. д. (η_T).

Наближено можна прийняти $\eta = 0,9...0,95$ для добре теплоізованих установок безперервної дії і $\eta = 0,7...0,8$ - для установок періодичної дії та неізованих. Геометричні розміри електронагрівних установок визначають, розв'язуючи рівняння, що характеризують електронагрівну установку як джерело теплоти і як приймач електричного струму.

Способи регулювання потужності і температури електронагрівних установок. Потужність однієї фази електронагрівної установки:

$$P = UI = U^2/R$$

Отже, потужність електронагрівної установки можна регулювати, змінюючи напругу живлення або опір нагрівних елементів. На практиці регулюють потужність електронагрівних установок зміною опору нагрівних елементів. Для цього нагрівні елементи кожної фази ділять на ряд секцій, які потім вмикають між собою паралельно, послідовно або паралельно-послідовно. Таке перемикання секцій нагрівного опору дає змогу досить просто здійснювати ступінчате регулювання потужності електронагрівника, а отже, і температурного режиму електронагрівної

установки. Недоліком цього способу регулювання потужності електронагрівника є значне збільшення кількості комутаційних апаратів.

Контрольні запитання

1. Які переваги та недоліки електричних нагрівних пристроїв?
2. Які переваги та недоліки електродного способу нагрівання води?
3. Чому змінюється струм під час роботи непроточного електродного водонагрівача?
4. З якого матеріалу повинні виготовлятися електроди нагрівачів питної води?
5. Чи залежить ККД електроводонагрівачів від тривалості нагрівання?
6. Як визначити загальну кількість теплоти, що необхідна для нагрівання води, і чи залежить вона від часу?
7. Як побудовані та працюють трубчаті нагрівні елементи?
8. Чому електричні водонагрівачі під'єднують до водопровідної мережі через гумові патрубки?

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Колесов Л. В. Основы автоматики. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Колос, 1984. – 288 с. (С. 50-54);
2. Автоматика и автоматизация производственных процессов/ И.И. Мартиненко, Б. Л. Головинский, Р. Д. Проценко, Т. Ф. Резниченко. – М.: Агропромиздат, 1985. – 335с. (С. 125-128);
3. Автоматизация сельскохозяйственного производства/ В. В. Ко-цур, В. М. Писаренко, Ю. Л. Козлов, Е. И. Ласточкин. – К.: Урожай, 1988. – 168 с. (С. 59 – 61);
4. Автоматика и автоматизация мобильных сельскохозяйственных машин. Носов Г. Р., Кондратец В. А., Сакало Л. Г. и др. – К.: Вища школа, 1984. – 248 с. (С. 228-231).

ЛЕКЦІЯ 11

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД У ТВАРИННИЦТВІ ТА ПТАХІВНИТВІ

План лекції:

1. *Особливості роботи електрообладнання в умовах тваринницьких ферм та вимоги до електрообладнання поточкових ліній;*
2. *Електропривод насосних установок;*
3. *Електропривод вентиляційних установок;*
4. *Електропривод кормоприготівних машин;*
5. *Електропривод транспортних машин;*
6. *Автоматизація мобільних кормороздавачів;*
7. *Електропривод і автоматизація доїльних установок;*
8. *Електропривод молочних насосів.*

1. Особливості роботи електрообладнання в умовах тваринницьких ферм та вимоги до електрообладнання поточкових ліній

У тваринницьких фермах здійснюється багато дуже різноманітних технологічних операцій, що пов'язані з приготуванням і роздаванням кормів, видаленням гною та іншими транспортними роботами, водопостачанням, вентиляцією приміщень, доїнням і первинною обробкою молока та цілим рядом допоміжних робіт. Тому сучасні тваринницькі ферми - це комплекси технологічно

взаємопов'язаних між собою машин і обладнання. Практично усі ці машини приводяться у рух електроприводами, керування якими необхідно здійснювати централізовано, дистанційно і автоматично. Робота електрообладнання в умовах тваринницьких ферм має ряд особливостей які необхідно враховувати при його виборі та експлуатації. До цих особливостей можна віднести:

1. Електрообладнання може працювати в різних умовах тому апаратуру керування розміщують поза тваринницькими приміщеннями.
2. Приміщення обробляються дезінфекційними розчинами, які хімічно активні.
3. Різна тривалість роботи механізмів і їх привідних електродвигунів:
4. кормороздатчики 500 год на рік;
5. вакуумні насоси 1500 год на рік;
6. вентилятори 3000 год на рік.
7. Ступінь завантаження двигунів коливається від 25 до 100% а які працюють при тимчасових перевантаженнях;
8. Широкий діапазон коливань напруги живлення $\Delta U = \pm 5\%$ для комплексів.
9. Низький професійний рівень обслуговуючого персоналу, що призводить до неправильної експлуатації і обслуговування електрообладнання.
10. Невдалі конструкції механізмів, які приводяться у рух електродвигунами

Схеми автоматичного керування поточковими лініями повинні відповідати таким вимогам:

1. Робочі машини якими керує електрообладнання повинні мати узгоджену продуктивність та забезпечувати високу якість продукту, що виробляється чи переробляється;
2. Запуску автоматичного електроприводу поточної лінії повинен передувати попереджувальний звуковий або (та) світловий сигнал;
3. Електроприводи усіх машин і механізмів поточної лінії повинні запускатись у послідовності, що направлена проти руху продукції;
4. Електричні схеми повинні забезпечувати блокування від неправильного вмикання та вимикання електричних кіл;
5. Для стійкої роботи електроприводів, для запобігання недопустимого зниження напруги, схеми послідовного вмикання електроприводів повинні бути розрахованими на гранично допустиму потужність двигунів;
6. Схеми керування повинні бути простими і надійними, забезпечувати надійний захист електродвигунів і проводів (застосування електричних та механічних блокувань);
7. Схеми керування повинні забезпечувати максимальну автоматизацію виробничих процесів достатньо зручність та гнучкість керування. а також можливість керування із декількох місць, контроль за допомогою світлової та звукової сигналізації);
8. Проводи силових електричних приводів кіл повинні розраховуватись за максимальним тривалим робочим струмом, ізоляція проводів і кабелів повинна бути розрахована на напругу не нижчу номінальної напруги мережі, і бути стійкою до агресивної дії навколишнього середовища.

2. Електропривод насосних установок

До сільськогосподарських споживачів воду в основному подають через водонапірний котел чи водонапірний бак, за допомогою відцентрових насосів, які приводяться в рух асинхронними електродвигунами. Безпосередньо від насоса у розподільчу мережу воду подають у відкритих зрошувальних системах із приводом

від асинхронних чи синхронних двигунів. Для забирання води з відкритих водоймищ, а також із шахтних криниць і свердловин із динамічним рівнем води у них не глибше 5-7 м від поверхні землі, переважно застосовують відцентрові насоси типів К, КМ і ЦВ та вихрові насоси типів В, ВК і ВКС. З глибинних шахтних криниць та свердловин воду піднімають за допомогою водоструменевих пристроїв ВН та заглибних електронасосів типів ЭЦВ, ЭПН, ЭПЛ, АП, АПВ і АПВМ.

Потужність двигуна для приводу насоса:

$$P_{дв} = k_3 \rho Q_n H / (\eta_n \eta_{п}),$$

де ρ - питома вага рідини, що перекачується, Н/м³;

$\eta_{п}$ - ККД передачі (при прямому з'єднанні валів $\eta_{п} = 1$);

η_n - ККД насосів (поршневих $\eta_n = 0,7-0,9$, відцентрових $\eta_n = 0,4-0,8$, вихрових $\eta_n = 0,25-0,5$);

k_3 - коефіцієнт запасу, що обирається рівним 1,1...1,3 залежно від потужності двигуна і враховує можливі підтікання водо та зміну режимів роботи насосу.

Подача відцентрового насоса $Q_n \equiv \omega$, напір $H_n \equiv \omega^2$, момент $M_c \equiv \omega^2$, потужність $P_n \equiv \omega^3$. Тому вибирають кутову швидкість двигуна так, щоб робоча точка знаходилася в зоні максимальних значень ККД агрегату η .

За конструктивним виконанням та призначенням розрізняють такі відцентрові насоси:

1. Відцентрові насоси консольні. Використовуються для підйому води із поверхневих джерел та шахтних криниць. Продуктивність насосів від 6 до 315 м³/год; повний напір від 2 до 85 м; ККД від 43 до 83 %.

2. Відцентрові насоси моноблокові. Моноблокові насоси відрізняються від консольних тим, що не мають свого вала, а робоче колесо і корпус встановлені на валу і фланцю електродвигуна. Технічні характеристики моноблокових насосів подібні консольним.

3. Відцентрові насоси багатоступеневі. Використовуються для підйому великої кількості води зі значним напором. Продуктивність насосів знаходиться в межах від 50 до 90 м³/год, напір від 100 до 210 м, ККД від 60 до 80%.

4. Відцентрові вихрові насоси. Ці насоси застосовують для подачі невеликої кількості води із відкритих джерел та шахтних криниць на велику висоту. Продуктивність насосів знаходиться в межах 3,6 -36 м³/год, напір від 20 до 60 м, ККД від 18 до 37%.

5. Відцентрові (артезіанські) заглибні насоси. Призначені для підйому води з артезіанських свердловин. З цією метою використовуються насоси типів АП, АПВ, ЭПВ, ЭПЛ, ЭЦВ, АТН. Продуктивність цих насосів знаходиться в межах 1,6-40 м³/год, напір - 45-65 м, ККД - від 40 до 70%. Ці насоси довгі з невеликим діаметром, повністю заповнюються водою, провід із подвійною ізоляцією ПВВП – надійно працює у воді.

Система автоматичного керування насосною установкою повинна виконувати такі функції:

- автоматичне керування залежно від режиму споживання;
- автоматизацію заливання відцентрових насосів перед пуском;
- автоматичне керування заслінкою на напірному трубопроводі;
- надійний захист електродвигуна від аварійних режимів;
- захист заглибних насосів від сухого ходу (аварійного зниження рівня води у свердловині);
- сигналізацію про роботу та аварійне вимикання електродвигуна насоса.

3. Електропривод вентиляційних установок

У сільськогосподарському виробництві вентиляційні установки застосовують для створення мікроклімату в тваринницьких і птахівничих приміщеннях, для підтримання технологічних параметрів в овоче- і фруктосховищах, для сушіння сіна і зерна методом активного вентилявання, для транспортування різноманітних сільськогосподарських матеріалів, очищення та сепарації зерна в зерноочисних та сортувальних машинах.

Вентиляційна установка складається із електропривода, вентилятора і вентиляційної мережі. Вентиляційні установки поділяють на установки з природною тягою повітря, з механічним збудженням тяги та комбіновані.

За принципом дії вентилятори бувають відцентрові та осьові з одностороннім та двостороннім всмоктуванням; низького тиску до 1000 Па, середнього - до 3000 Па, високого - до 12000 Па (12000 Па створюють шахтні лопатні вентилятори). Для створення вищого тиску необхідно використовувати компресори.

Перед системами створення мікроклімату у тваринницьких приміщеннях ставлять такі задачі:

- забезпечення свіжим повітрям (видалення надлишкового вуглекислого газу);
- регулювання температури повітря (відведення надлишкової теплоти);
- видалення з повітря надлишкової вологи та підсушка підстилки;
- видалення з приміщень шкідливих газів (аміак, сірководень).

Необхідну витрату повітря у тваринницьких та птахівничих приміщеннях визначають, виходячи з необхідності вирішення кожної із вказаних задач і найбільшу отриману погодинну L витрату повітря приймають за розрахункову.

Щоб визначити необхідний спосіб збудження руху повітря для обміну K_O , визначають погодинну кратність обміну, користуючись формулою:

$$K_O = L/V.$$

У випадку, коли K_O не більше 3 год⁻¹ застосовують вентиляційні пристрої із природнім збудженням повітрообміну (провітрювання), коли $K_O > 3$ - зі штучним збудженням повітрообміну вентиляторами. У холодну пору року у пристроях без підігрівання повітря кратність повітрообміну не повинна перевищувати 5.

Розрахункову подачу вентилятора, Q_P м³/год, визначають за формою:

$$Q_P = k_3 L/N_B$$

де k_3 - коефіцієнт запасу подачі вентиляційного пристрою ($k_3 = 1,1...1,5$) із зростанням потужності зменшується);

N_B - кількість вентиляторів.

Розрахунковий тиск (напір) вентилятора h_P , Па:

$$h_P = h_{CT} + h_D,$$

де h_{CT} і h_D - відповідно статична й динамічна складові тиску, Па.

Статичний тиск:

$$h_{CT} = h_{ПР} + h_M,$$

де $h_{ПР}$ - втрати тиску на прямих ділянках повітроводів (на подолання опорів, що виникають унаслідок тертя повітря об стінки повітроводів), Па;

h_M - втрати тиску на подолання місцевих опорів (у фасонних частинах) повітроводів, Па.

Динамічний тиск:

$$h_D = \rho v^2 / 2,$$

де ρ - питома густина повітря, $\rho = 1,29$ кг/м³ ;

v - швидкість руху повітря, $v = 10...15$ м/с.

У розосереджених вентиляційних пристроях (за відсутності повітроводів), нехтують втратами тиску повітря на вході й виході вентилятора й вважають, що розрахунковий тиск (напір) дорівнює динамічному.

Розрахункову потужність двигуна P_p для приводу вентилятора визначають за формулою:

$$P_p = QP h_p / (\eta_B \eta_{ПЕР})$$

де $\eta_{ПЕР}$ - ККД механічної передачі від електродвигуна до вентилятора;

η_B - ККД вентилятора.

4. Електропривод кормоприготівних машин

Підготовка кормів до згодовування складається з таких операцій: очищення від бруду, металевих та інших механічних домішок; подрібнення; термічної і хімічної обробки; пресування; приготування кормових сумішей.

Кормоприготування - найбільш трудомісткий і енергоємний процес у тваринництві. Так, питомі витрати електроенергії на виготовлення 1 т концентрованих кормів знаходяться в межах 12-15 кВт·год/т. Комплексна автоматизація приготування кормів на потокових лініях забезпечує зменшення трудових затрат у 4-5 разів і зниження собівартості приготування кормів на 30-50 %.

До *першої групи* відносять машини, що розділяють оброблюваний матеріал на частини за принципом різання (ножові подрібнювачі); різання, перетирання і розбивання (ножові млини); розбивання і перетирання (дезінтегратори і дисмембратори); різання і роздавлювання (пастовиготовлювачі); розбивання, перетирання та сколювання (роторні дробарки, дискові відцентрові млини, молоткові дробарки). Умовно назвемо ці машини подрібнювачами кормів.

До *другої групи* - машини, що працюють за принципом роздавлювання та сколювання матеріалу між двома поверхнями (плющилки, вальцові дробарки, зернові млини).

До *третьої групи* - машини з пресувальними робочими органами (гранулятори та брикетувальні машини).

До *четвертої групи* - змішувачі кормів, що служать для змішування компонентів при приготуванні кормів.

Приводні характеристики та умови роботи кормоприготівних машин мають такі особливості:

- продуктивність і момент статичних опорів машин при збільшенні швидкості обертання їх приводних валів непрямолінійно зростають;
- процеси роботи машин дуже енергомісткі потужність приводних електродвигунів сягає від 30 до 160 кВт;
- пуск машин, як правило, здійснюють без навантаження (вхолосту), моменти зрушення невеликі;
- режим роботи тривалий, без регулювання швидкості руху виконавчих органів машин, значні зниження швидкості при збільшенні навантаження недопустимі;
- моменти інерції машин на холостому ході, а також зернодробарок, змішувачів сипких кормів постійні, а подрібнювачів грубих і соковитих кормів є випадковими функціями часу, оскільки залежать від маси корму, що рухається разом із їхніми виконавчими органами;
- навантажувальні діаграми мають випадково-змінний характер;
- машини працюють у запилених, особливо вогких приміщеннях та на відкритому повітрі.

Режим роботи подрібнювачів тривалий зі змінним навантаженням. Навантажувальні діаграми мають випадковий характер. Зміна навантаження в часі залежить від ступеня однорідності та величини подачі сировини на подрібнювальний барабан.

Потужність, споживана подрібнювачами кормів, витрачається на подрібнення матеріалу P_1 , привод механізму подачі P_2 , холостий хід машини P_x і дорівнює:

$$P_{\text{маш}} = P_1 + P_2 + P_x.$$

Потужність подрібнення P_1 , Вт, знаходять за виразом:

$$P_1 = Q \cdot A_{\text{нодр}}$$

де Q - продуктивність машини, кг/с; $A_{\text{нодр}}$ - робота, Дж/кг, яка затрачується на подрібнення матеріалу.

З досвіду експлуатації різних кормоприготівних машин при переробці різноманітних кормів експериментально визначені питомі затрати енергії на подрібнення (табл. 10.3). Користуючись цими даними, можна орієнтовно визначити споживану потужність машини з подібними робочими органами за умовою:

$$P_M = Q \cdot q,$$

де Q - продуктивність машини, кг/с; q - питомі затрати енергії, кДж/кг.

Потужність холостого ходу P_x , Вт, визначають за рівнянням:

$$P_x = M_{c.x} \omega_{\text{ном}}$$

де $M_{c.x}$ - момент холостого ходу, Н·м, при номінальній швидкості обертання $\omega_{\text{ном}}$, с⁻¹.

Двигун за потужністю вибирають за умовою:

$$P_{\text{ДВ}} \geq (1,1 \dots 1,3) P_M / \eta_{\text{ПЕР}}$$

де $\eta_{\text{пер}}$ - ККД передачі.

Потужність приводу лопатевого змішувача:

$$P_{\text{ПР}} = K_3 \cdot Z \cdot D^{4,56} \cdot n^{2,78} / \eta_n \quad (10.75)$$

де K_3 - коефіцієнт запасу, $K_3 = 1,2 - 1,3$; Z - число лопатей; D - діаметр по кінцям лопатей, м; n - частота обертання вала змішувача, об/хв; η_n - коефіцієнт корисної дії передачі змішувача, $\eta_n = 0,85 - 0,9$.

Алгоритмами керування передбачають автоматизацію таких процесів:

- пуск електродвигунів;
- контроль рівня продуктів у бункерах;
- регулювання завантаження двигуна дробарки;
- необхідні блокування - механічні та електричні;
- надійний захист всіх елементів приводу від аварійних режимів;
- сигналізація про стан елементів приводу.

5. Електропривод транспортних машин

Транспортні роботи на тваринницьких фермах (підвезення кормів, підстилки, вивезення молока, прибирання та видалення гною та ін.) за затратами праці становлять 30-40 % від усіх робіт. Тому продуктивність транспортних засобів повинна забезпечувати необхідний вантажопотік з урахуванням розпорядку дня у найнапруженіший період року. Приблизний обсяг перевезень для великої рогатої худоби сягає 60-80 а для свиней 30-40 кг за добу на голову.

Скребкові транспортери використовуються для транспортування зерна, коренебульбоплодів, силосної маси, грубих кормів, гною. Вантаж жолобом переміщують скребки, закріплені на одному або двох кільцевих ланцюгах.

Продуктивність скребкових транспортерів визначається частотою обертання приводного вала:

$$Q = K_a \varphi \gamma B H v,$$

де K_a - коефіцієнт, що враховує ступінь заповнення скребків залежно від кута нахилу транспортера a , град, до горизонту; для легко сипких вантажів $K_a = 1 - 0,0175a$, для слабо сипких $K_a = 1,05 - 0,01a$; φ - коефіцієнт заповнення, $\varphi = 0,6 - 0,8$; γ - об'ємна маса транспортованого матеріалу, кг/м³; B - ширина скребків, м; H - висота скребків, м; v - швидкість руху скребків, м/с. Для коренеплодів $v = 0,25 - 0,5$ м/с, для борошнистих кормів і гною - $0,5 - 1,0$; для зерна - $1,0 - 2,2$ м/с.

Потужність двигуна, Вт, для привода скребкового транспортера визначають за формулою:

$$P = g[Q(f_m L \cos \alpha + H) + G_n f_n v_{ск} \cos \alpha] K_c / \eta_n,$$

де g - прискорення вільного падіння, м/с²; Q - номінальна продуктивність транспортера, кг/с; L - довжина транспортера, м; H - висота підйому матеріалу, м; f_m , f_n - коефіцієнти тертя матеріалу та опору руху ланцюга; G_n - маса скребкового ланцюга, кг; $v_{ск}$ - швидкість руху скребків, м/с; α - кут підйому транспортера; K_c - коефіцієнт додаткового опору, η_n - ККД передачі.

6. Автоматизація мобільних кормороздавачів.

Принцип побудови схем автоматизованого керування розглянемо на прикладі автоматизованого кормороздатчика КС -1,5 який призначений для змішування і роздавання кормових сумішей вологістю 60...80%, де застосовуються два суміжні ряди годівниць, які розміщені вздовж виробничого приміщення. Кормороздавач являє собою самохідний двохвісний електровізок що рухається по колії із кутників, які розміщені на естакаді, в візку знаходиться бункер, в середині якого вздовж розміщені два шнеки, які надають корми до вивантажувальних вікон, що розміщені над відповідними рядами годівниць. Вікна закриваються шиберами.

На рамі візка встановлені три електродвигуни: один М1 потужністю 0,75 кВт для пересування кормороздавача, два інші М2 та М3 для приводу шнеків. Норму видачі корму регулюють змінною частоти обертів вивантажувальних шнеків, шляхом переставлення ланцюга на блоці зірочок та пасів на двохступінчатих шківів приводу. Живлення електродвигунів через захисновимикаючий пристрій ЗОУП та кабель довжиною 80 м який знаходиться у лотку подається на автомати у лотку електродвигунів. Потім через відповідні запобіжники FU1, FU2 та FU3 до кіл керування магнітних пускачів електродвигунів М1, М2 та М3.

Перед початком роботи вмикають усі автоматичні вимикачі, а перемикач у силовому колі тягового електродвигуна ставлять у положення, що відповідає напрямку руху. У випадку автоматичного керування кормороздавачем, перемикачі SA1 та SA2 ставлять у положення автоматичної роботи А. Потім натискають кнопку SB2, при цьому вмикається магнітний пускач КМ1 та тяговий електродвигун М1. Одночасно живлення подається на проміжки реле KV1, яке замикає свої контакти у колах керування магнітних пускачів КМ3 та КМ4 електродвигунів шнеків М2 та М3.

7. Електропривод і автоматизація доїльних установок

Для роботи доїльних апаратів необхідний вакуум, який одержують за допомогою вакуум-насосів. Сучасні доїльні установки комплектуються ротаційними вакуумними насосами УВУ-60/45. Ротаційний лопатевий вакуум-насос складається з ребристого чавунного корпусу, ротора з текстолітовими лопатками, задньої та передньої ребристих кришок. Чотири текстолітові лопатки розміщені радіально в пазах ротора і при його обертанні під дією відцентрової сили притискаються до внутрішньої поверхні циліндричного корпусу. Внаслідок ексцентричного розміщення ротора об'єм простору між кожною парою лопаток змінюється. З

одного боку відбувається всмоктування повітря з трубопроводу, з іншого - стискання і викидання його в атмосферу.

Продуктивність вакуум-насоса залежить від числа доїльних апаратів, числа пульсацій, об'єму всіх камер і трубок доїльного апарата, в яких діє вакуум, і визначається за формулою:

$$Q = kqA, \quad (10.77)$$

де k - коефіцієнт, який враховує підсоси в системі, $k = 2-3$; q - витрати повітря одним доїльним апаратом при 60 пульсаціях за хвилину, $q = 1,8-2 \text{ м}^3/\text{год}$; A - кількість доїльних апаратів.

Втрати тиску у вакуумному проводі складаються із втрат на тертя і втрат у місцевих опорах. Втрати тиску, на переборювання тертя, Па, визначаються так:

$$H_1 = \frac{\rho v^2}{2} \beta \frac{L}{d}, \quad (10.78)$$

де ρ - густина повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$; v - швидкість руху повітря, $\text{м}/\text{с}$; β - коефіцієнт опору; L - довжина вакуум-проводу, м ; d - внутрішній діаметр вакуум-проводу, м .

Коефіцієнт опору визначається за формулою:

$$\beta = \frac{8,3 \cdot 10^{-5}}{G^{0,148}}, \quad (10.79)$$

де G - вагова кількість повітря, яка протікає вакуум-проводом:

$$G = S \cdot v \cdot \rho \cdot g, \quad (10.80)$$

де S - поперечний переріз вакуум-проводу, м^2 ; g - прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$.

Втрати напору, Па, у місцевих опорах визначають так:

$$H_2 = 49 \cdot d \cdot v^2 \cdot \rho \cdot g \cdot \xi \cdot 10^{-3}, \quad (10.81)$$

де ξ - коефіцієнт, який враховує втрати напору в місцевих опорах.

Тривалість роботи вакуум-насоса визначається тривалістю доїння гурту корів (50-60 голів) і складає 1,5-2 години.

Продуктивність вакуум-насоса, $\text{м}^3/\text{с}$, прямо пропорційна кутовій швидкості:

$$Q = \frac{1}{\pi} z e D L \omega \varphi_n \eta_m \sin \frac{\beta}{2}, \quad (10.82)$$

де z - число лопаток; e - ексцентриситет, м ; D - діаметр циліндра корпусу, м ; L - довжина ротора, м ; ω - кутова швидкість обертання, с^{-1} ; φ_n - ступінь наповнення всмоктуючої камери, $\varphi_n = 0,5-0,8$; η_m - манометричний коефіцієнт, $\eta_m = 0,32-0,52$; β - кут між лопатками, рад .

Механічна характеристика вакуум-насоса має мало виражений вентиляторний вигляд, момент зрушення становить 75-100 % номінального моменту.

Потужність двигуна, Вт, для привода вакуум-насоса визначають за формулою:

$$P = \frac{Q_n H}{\eta_n \eta_n}, \quad (10.83)$$

де Q_n - продуктивність насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; H - вакуум, Па; η_n - ККД насоса, $\eta_n = 0,2-0,25$; η_n - ККД передачі.

Навантажувальна діаграма вакуум-насоса рівномірна, режим роботи тривалий.

На великих тваринницьких фермах застосовують автоматизовані доїльні установки з пристроями, які забезпечують автоматичне виконання операцій санітарної обробки і масажу вим'я, доїння і додоювання корів, підтримання постійної частоти пульсацій вакууму, вимикання вакууму і знімання доїльних стаканів, промивання доїльних стаканів і молокопроводів.

8. Електропривод молочних насосів

У молочній промисловості насоси є допоміжним обладнанням. Вони призначені для перекачування молока та рідких молочних продуктів із одного резервуара в інший у межах цеху чи заводу та перекачування молока під тиском в апарати для технологічної обробки (пастеризації, охолодження, фільтрації).

Правильний вибір насоса впливає на якість продукту та правильне ведення технологічного процесу. У зв'язку з цим до них та їх електроприводів ставляться спеціальні вимоги:

1. Молочні насоси повинні мати найменший механічний вплив на молоко, не змінюючи його природних властивостей.
2. Насоси повинні працювати плавно без ударів, які можуть викликати в молоці помітні зміни жирової фази.
3. Конструкція молочних насосів повинна забезпечувати швидке та легке їх розбирання.
4. Молочні насоси повинні бути виготовлені із нержавіючих матеріалів.

Механічна характеристика відцентрового насоса має вентиляторний вигляд. Режим роботи електродвигуна - тривалий з постійним навантаженням. Потужність двигуна, Вт, визначають за формулою:

$$P = \frac{\rho g H Q_n}{\eta_n}, \quad (10.84)$$

де ρ - густина молока, (1,03-1,04) кг/м³; g - прискорення вільного падіння, м/с²; H - напір, м; Q_n - подача насоса, м³/с; η_n - ККД насоса.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ: як видно із вищевказаного, технологічні процеси у тваринництві є досить енергомісткими, а технологічне обладнання, яке його здійснює приводиться у рух, як правило електроприводом, тому впорядкування цього електроприводу, правильний підбір приводних електродвигунів, схем керування та автоматизація його роботи дозволяє істотно зменшити затрати ручної праці, зменшити собівартість продукції що переробляється та підвищити її якість, що значною мірою впливає на зниження собівартості продукції тваринництва та збільшення його продуктивності.

Контрольні запитання:

1. Які особливості роботи електроприводів в умовах сільськогосподарського виробництва?
2. За якими параметрами вибирають вентилятори?
3. Які електродвигуни застосовуються для привода вентиляторів? Чому для привода осьових вентиляторів застосовують двигуни з підвищеним ковзанням?
4. Охарактеризуйте способи регулювання продуктивності вентиляційних установок.
5. Як здійснюється автоматизація вентиляційних установок тваринницьких ферм?
6. Які насоси застосовуються для подачі води у сільськогосподарському виробництві? Як здійснюється їх вибір?
7. Якими способами регулюють подачу водонасосних установок?
8. Як здійснюється автоматизація водонасосних установок?
9. Як визначити потужність електродвигуна для привода подрібнювачів кормів?
10. Які процеси автоматизують в електроприводах подрібнювачів кормів?
11. Охарактеризуйте приводні характеристики машин для пресування кормів.

12. Які вимоги ставляться до автоматизації поточкових ліній?
13. Які особливості приводних характеристик вакуум- насоса?
14. Які процеси автоматизовані в доїльних установках?
15. Охарактеризуйте приводні характеристики молочних насосів.
16. Назвіть особливості електроприводів машин для охолодження молока.
17. Як здійснюється автоматизація машин для охолодження молока?
18. Назвіть особливості приводних характеристик і режимів роботи скребкових, стрічкових, шнекових транспортерів і норій.
19. Як здійснюється автоматизація гноєприбиральних транспортерів, скреперних установок та стаціонарних кормороздавачів?
20. Які особливості електропривода і автоматизації мобільних кормороздавачів?

Література:

1. Електропривод: Навчальний посібник / О.Ю. Синявський, П.І. Савченко, В.В. Савченко, Ю.М. Лаврінченко, В.В. Козирський, Ю.М. Хандола, І.П. Ільчов; За ред. О.Ю. Синявського. - К.: Аграр Медіа Груп, 2013.-586 с. С. 404-514.
2. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В.Зайцев, О.С.Марченко и др; Ред. Є.Л.Жулай. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с. С. 112-164.
3. Механізація та автоматизація у тваринництві і птахівництві: навч. посіб. для студ. вузів/за ред. О. С. Марченка. – К. : Урожай, 1995. – 414, [2] с. С.187-224.
4. Електропривод і застосування електроенергії у сільському господарстві / І.І. Мартиненко; В.Ф. Гончар; Л.П. Тищенко; І.І. Шарамок; за ред. І.І. Мартиненка; – 2-ге вид., перероб. і доп.. – К. : Урожай, 1993. – 304 с.: іл. С. 98-146.
5. Електрообладнання тваринницьких підприємств і автоматизація виробничих процесів у тваринництві/ В.Ф. Гончар; Л.П. Тищенко. – 2-ге вид., перероб. і доп.. – К.: Вища школа, 1988. – 287 с.: іл. С. 186-226.

ЛЕКЦІЯ № 12

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД У РОСЛИННИЦТВІ

План

1. Електропривод і автоматизація зерноочисних та зерноочисно-сушильних машин і агрегатів;
2. Електропривод і автоматизація в спорудах захищеного ґрунту;
3. Електропривод і автоматизація насосних станцій зрошувальних систем;
4. Електропривод і автоматизація вентиляційних установок овочесховищ;
5. Автоматизований електропривод мобільних сільськогосподарських машин.

1 Електропривод і автоматизація зерноочисних та зерноочисно-сушильних машин і агрегатів

Після обмолоту комбайнами зерно має засміченість 15-18 %, а вологість змінюється у широкому діапазоні (до 22...24 %) залежно від зони та погодних умов. Вміст домішок у продовольчому зерні не повинен перевищувати 5 %, для інших культур 8 %. Для насінневого зерна вимоги до чистоти ще вищі. Вологість зерна при тривалому зберіганні не повинна перевищувати 13...14 %.

Зерноочисні агрегати використовуються в тих зонах України, де вологість зерна у період жнив не перевищує 16% і немає необхідності у його штучному підсушуванні. До комплексів КЗС додатково входять сушильні відділення з шахтною або барабанною сушарками. У ці агрегати та комплекси крім підйомно-транспортних

машин та механізмів входять зерноочисні машини (зерноочисні стани та трієрні блоки).

Зерно із автомобіля за допомогою автомобілепідйомника вивантажується у завальний бункер 2, з якого норією НЗ-20 5 подається у приймальні камери двох зерноочисних машин 6, які працюють паралельно. У зернових каналах відсмоктується легкі домішки і повітропроводами виносяться в осаджувальну камеру та бункер відходів, а зерно поступає на повітряно-решітні зерноочисні машини 8, де розділяється на три фракції: очищене зерно, фуражне зерно і домішки. Очищене зерно норією 10 подається до трієрних блоків 11, фуражне зерно і відходи - до відповідних бункерів. З трієрних блоків зерно надходить у бункер чистого зерна 1, а некондиційне зерно - у бункер фуражного зерна.

Електроприводи зерноочисних машин мають такі особливості:

- сезонність у роботі і невелика кількість годин використання протягом року;
- режим роботи двигунів тривалий;
- потужність, споживана електродвигуном під час холостого ходу машини, мало відрізняється від потужності при номінальному навантаженні;
- ступінь нерівномірності обертання менше 0,1;
- порівняно малий момент статичних опорів при зрушенні;
- механічна характеристика має вентиляторний вигляд;
- електроприводи експлуатуються в запиленних приміщеннях або на відкритому повітрі.

Необхідна потужність, Вт, для зерноочисного стану визначається за формулою:

$$P_m = \frac{K_3 m a^2}{657,5 n \eta_n},$$

де K_3 - коефіцієнт запасу, $K_3 = 1,2-1,5$; m - маса зерноочисного стану, кг, $m = 100-300$ кг; a - оптимальне прискорення решета, м/с, $a = 15-30$ м/с²; n - число коливань сита за хвилину, $n = 500$; η_n - коефіцієнт корисної дії передачі, $\eta_n = 0,6-0,7$.

Потужність електродвигуна, Вт, для привода трієрного блоку:

$$P_m = \frac{K_3 p_1 Q}{\eta}, \quad (11.2)$$

де K_3 - коефіцієнт запасу, $K_3 = 1,2-1,3$; p_1 - питома потужність, Вт/кггод, $p_1 = 0,2-0,6$ Вт/кг·год; Q - годинна продуктивність трієрного блоку, кг/год; η - коефіцієнт корисної дії передачі трієрного блоку, $\eta = 0,97$.

Оскільки момент зрушення в даних машинах менший від моменту опору при номінальній частоті обертання в 3-3,5 рази, а відхилення моменту опору від середнього незначне (20-30 %), то перевірку двигунів зерноочисних станів та трієрних блоків за умовами пуску і на перевантажувальну здатність не виконують.

Застосування електрифікованих зерноочисних машин дозволяє підвищити продуктивність праці у 7...10 разів при значній економії коштів.

2. Електропривод і автоматизація в спорудах захищеного ґрунту

В спорудах захищеного ґрунту застосовують як ґрунтові, так і гідропонні технології вирощування рослин. Для створення необхідного мікроклімату і мінерального живлення рослин теплиці обладнуються технологічним обладнанням з електроприводами насосів подачі води, живильних розчинів, системи випаровувального охолодження; вентиляторів калориферів повітряного обігрівання; багатооборотних виконавчих механізмів привода фрамуг системи

природної вентиляції; вентиляторів вуглекислотного підживлення рослин; насосів-дозаторів поршневого типу вузла приготування живильного розчину; виконавчих механізмів заслінок, змішувальних клапанів систем трубного обігрівання і підживлення мінеральними добривами в ґрунтових теплицях.

Електрофреза ФС-0,7 має електропривод, який складається з трифазного асинхронного електродвигуна ($P_n = 2,8$ кВт), обертовий момент від якого передається ланцюговою передачею через запобіжну муфту на черв'ячний редуктор і через черв'ячну пару на ходові колеса. Глибина обробітку ґрунту фрезою - до 22 см, продуктивність - 400-500 м²/год.

Фрезою керує одна людина, на основному обробітку ґрунту можна зменшити затрати праці у 7 раз а прямі витрати у 4 рази та значно покращити якість обробітку ґрунту.

Електропривод оприскувача ОЗГ-120, що призначений для боротьби зі шкідниками та хворобами, а також для позакореневого підживлення та нанесення розчинів на стіни та скляні поверхні, очищення стелі, дезінфекції приміщень та тари. Містить резервуар з лопатевим змішувачем, що приводиться у рух клино-пасовою передачею, електродвигуна, компресора, повітряного ресивера з електроконтактним манометром та запобіжними клапанами, опорних коліс, електрокабеля, пускозахисної апаратури, напірного шланга і брандспойтів.

Оприскувач збільшує продуктивність праці у 6 разів, та знижує прямі затрати у 4 рази порівняно із ручним оприскувачем.

3. Електропривод і автоматизація насосних станцій зрошувальних систем

Для зрошування широко використовується електропривод. Насосні станції бувають як стаціонарними так і пересувними. Стаціонарні насосні станції перекачують воду на поля із відкритих водосховищ та артезіанських свердловин за допомогою заглибних електронасосів. На пересувних насосних установках електродвигуни із насосами встановлені на спеціальних візках або платформах.

Для приводів насосних установок зрошувальних систем застосовуються як асинхронні, так і синхронні двигуни. Синхронні двигуни мають переваги перед асинхронними, які полягають в незмінній частоті обертання та підвищені енергетичних показників мережі живлення.

Найбільшого розповсюдження набули самохідні колісні дощувальні агрегати «Фрегат» та «Волжанка», які під'єднуються до гідрантів закритої зрошувальної мережі.

Дощувальна машина «Фрегат» складається із водопровідного трубопроводу, що змонтований на самохідних А-подібних опорах (візках велосипедного типу). На трубопроводі змонтовано 49 середньострумєневих дощувальних апаратів окружної дії і один далекоструйний імпульсний апарат на кінці трубопроводу для поливу кутів чотирикутників. Візки приводяться у рух під дією напору води гідроциліндрами і через важільні механізми, рух передається на колеса.

Дощувальна машина «Фрегат» оснащена системою автоматизації та синхронізації, яка дозволяє різну швидкість колісних опор, кількість робочих ходів гідроциліндрів та автоматичну зупинку агрегату при недопустимому вигині трубопроводу.

Для роботи дощувальної машини «Фрегат» та інших широкозахватних дощувальних установок, які обладнані гідроприводами на насосній станції необхідно підтримувати тиск до 0,9...1,2 МПа. Тиск у мережі при вимкнених дощувальних машинах підтримується допоміжним насосом із малою подачею

(бустер-насос), який компенсує підтікання у мережі.

Коли до закритої мережі підключається дощувальна машина, тиск у мережі різко знижується, замикаються контакти реле тиску Е2 і замикається коло котушки спільного реле часу запуску К8. Із витримкою часу замикаються контакти часу К8 і струм протікає по котушці реле вмикання першого насосного агрегату К1, яке залишається увімкнутим через свій замикаючий контакт. Перший насосний агрегат вмикаються у роботу, розмикаючим контактом К1 реле К8 вимикається.

Вимикаються насосні агрегати за допомогою контактів спільного реле часу вимикання К9 і відповідних проміжних реле К4, К5, К6. Датчиком вимикання є контакти реле повторювачів, що увімкнені через контакти мікроамперметра, які налаштовані на спрацювання при зменшенні витрати. Реле часу вимикання К9 встановлюється для запобігання одночасного вимикання усіх працюючих насосних агрегатів, для запобігання гідравлічного удару.

Для розрахунку годинної продуктивності насосної установи зрошувальної системи визначається зрошувальна та поливна норми і складається графік гідромодуля, з якого визначається його максимальне значення.

При проектуванні насосних зрошувальних станцій складається два графіки гідромодуля - не укомплектований і укомплектований. Не укомплектований графік гідромодуля є графіком, який показує проведення поливань протягом певного часу, враховуючи тільки біологічні вимоги рослин. Для забезпечення більш рівномірної подачі води зрошувальною насосною станцією не укомплектований графік укомплектовують за рахунок пересування термінів початку і закінчення поливання, скорочення чи збільшення тривалості поливання. При цьому кількість води, яка необхідна для поливання певної культури, повинна бути незмінною.

4. Електропривод і автоматизація вентиляційних установок овочесховищ

Необхідний технологічний режим у овоче- та фруктосховищах забезпечується вентиляційними установками.

Годинна продуктивність вентиляційних установок овочесховищ визначається за формулою:

$$L_0 = \frac{W_0 m_0}{d'_2 - d'_1}, \quad (11-19)$$

де W_0 - виділення вологи однією тонною овочів (від 5-20 г/тгод); m_0 - маса закладеного в овочесховище продукту, т; d'_2, d'_1 - відповідно вологовміст в повітрі овочесховища і зовні.

Годинну продуктивність вентиляційних установок овочесховищ можна визначити простішим методом, скориставшись виразом:

$$L_0 = L'_0 m_0, \quad (11.20)$$

де L'_0 - витрати повітря на одну тонну овочів, які складають в осінній період 80-100 м³/т·год, а в зимовий - 40-50 м³/т·год.

Розрахунковий напір вентиляційної установи овочесховища визначається за формулою (11.11), а потужність двигуна - за виразом (11.17).

Статичний напір вентиляційної установи, P_a , визначається так:

$$H_{cm} = R_0 l + \sum \beta + \Delta H, \quad (11.11)$$

де R_0 - втрати напору на одному метрі довжини повітропроводу, які дорівнюють:

$$R_0 = 64,84 \frac{v^{1,924}}{d^{1,281}} \left(\frac{\rho_{пг}}{12,68} \right)^{0,851}, \quad (11.12)$$

де v - швидкість руху повітря в повітропроводі, м/с; d - внутрішній діаметр

повітропроводу, мм; ρ_{Π} - питома густина повітря при заданій температурі і тиску; l - довжина повітропроводу, м; $\sum\beta$ - втрати напору в місцевих опорах, які при розрахунках приймаються $\sum\beta = 0,1H_{\text{дин}}$; ΔH - втрати напору в насипі зерна:

$$\Delta H = Rh, \quad (11.13)$$

де R - питомий опір в насипі зерна, Н/м³, який визначається за таблицями залежно від насипної і фізичної густини продукту та питомої подачі повітря; h - висота насипу, м. Питома подача повітря визначається так:

$$v_{\Pi} = n\rho_{\Pi}L'_0, \quad (11.14)$$

де ρ_{Π} - насипна густина продукту (зерно, овочі, фрукти), т/м³; L'_0 - витрата повітря на одну тону за годину, м³/т·год.

Зв'язок між насипною та фізичною густиною продукту такий:

$$\rho_{\Pi} = \rho_{\phi} K, \quad (11.15)$$

де K - коефіцієнт, який для зерна складає $K = 0,85-0,9$; ρ_{ϕ} - фізична густина зерна.

Вентилятор вибирають за годинною продуктивністю і розрахунковим напором з урахування максимального значення ККД вентилятора за умовами:

$$L_{\text{вн}} \geq L_p; H_{\text{вн}} \geq H_p. \quad (11.16)$$

Потужність електродвигуна для привода вентилятора визначають за формулою:

$$P_{\text{ндв}} = \frac{K_3 L_{\text{вн}} H_{\text{вн}}}{3600 \eta_n \eta_e}, \quad (11.17)$$

де K_3 - коефіцієнт запасу, який для відцентрових вентиляторів $K_3 = 1,1-1,3$, для осьових $K_3 = 1,05-1,2$; η_n - ККД передачі, $\eta_n = 0,96-0,98$; η_e - ККД вентилятора.

Система обладнання ОРТХ призначена для регулювання температурно-вологісного режиму в сховищах до 1000 т з активним вентиляванням продукції, яка розміщується в двох камерах. Вентиляція вмикається 4-6 разів на добу з рециркуляцією повітря протягом 15-30 хв. В періоди, коли температура зовнішнього повітря нижче температури продукту, проводиться охолодження продукту. У сховищах, де є штучне охолодження, вентиляція проводиться безперервно, а холодильники вмикаються тільки тоді, коли температура зовнішнього повітря перевищує температуру продукту. Оптимальна температура продукту при зберіганні від -1 до +3 °С залежно від виду продукту.

5. Автоматизований електропривод мобільних сільськогосподарських машин

Електроприводи мобільних машин одержують електроенергію від джерел різними способами: кабельним, тролейним, від акумуляторів, через електричну трансмісію, від паливних елементів або комбіновано, наприклад, кабельно-акумуляторним, тролейно-акумуляторним тощо.

Найбільш розповсюджений кабельний спосіб живлення. Електроприводи одержують електроенергію від мережі або трансформатора через гнучкий кабель. Для розмотування і складання кабелю при русі машини застосовують кабельні барабани, кабельно-поліспастові пристрої, кабель-штори та кабель-лотки. У деяких випадках, наприклад, у машинах для післязбиральної обробки зерна, кабель розстеляють по землі.

При тролейному способі енергія до приводів подається від неізолюваних проводів через рухомі контакти - щітки, ролики, дуги. Електрифікований агрегат рухається паралельно тролейним проводам.

Акумуляторний спосіб живлення є найкращим з варіантів енергопостачання мобільних агрегатів, оскільки зона дії машини не обмежується довжиною кабелю

або лінією живлення. Проте широке використання його стримується відсутністю акумуляторних батарей, які б при помірних габаритах і масі мали достатню енергоємність та були дешевими. Економічно вигідними для сільськогосподарських цілей вважають акумулятори з питомою енергоємністю не менше 100 кВт·год на тонну загальної маси. Енергоємність же сучасних свинцево-кислотних акумуляторів не досягає 40 кВт·год/т, а досить дорогих натрій-нікель-хлоридних - 90 кВт·год/т.

На агрегатах з електротрансмісією встановлюють електричний генератор з приводом від теплового двигуна. Електродвигуни, що одержують живлення від генератора, приводять в рух ведучі колеса трактора і робочі органи причіпних машин.

Варіантів комбінованих способів живлення є декілька. Наприклад, у кормороздавача, що рухається рейками і транспортує корми від кормоцеху до тваринницьких приміщень та роздає корми всередині приміщень, привод ведучих коліс одержує енергію від акумуляторної батареї, а привод механізмів кормороздавання - від мережі змінного струму через тролєї, кабель-штору або кабель-барабанний пристрій.

Перспективним напрямком подальшого розвитку і вдосконалення мобільної сільськогосподарської техніки є розробки автономного електротрактора з електричною трансмісією ДЭТ-250. Силова установка цього трактора складається з дизельного двигуна, фрикційної муфти, підвищувального редуктора, генератора постійного струму, тягового електродвигуна і механічної передачі до гусеничних рушіїв.

Однією з останніх розробок є гусеничний трактор-бульдозер з електроприводом D7E, виготовлений американською компанією Caterpillar. Трактор оснащений дизельним двигуном потужністю 173 кВт, електричним генератором, регульованим перетворювачем та двома електродвигунами загальною потужністю 175 кВт. Вартість такого трактора на 20 % вища за вартість звичайного, але він економить до 30 % пального і має на 25 % більшу продуктивність.

Контрольні запитання:

1. Назвіть особливості електропривода зерноочисних машин.
2. Які особливості приводних характеристик трієрних блоків та зернових станів?
3. Які двигуни застосовують в електроприводах зерноочисних станів та трієрних блоків?
4. Які особливості приводних характеристик вентиляторів зерноочисних і сушильних машин?
5. Назвіть особливості електропривода і автоматизації бункерів активного вентилявання зерна та установок для досушування сіна методом активного вентилявання.
6. Назвіть особливості електропривода і автоматизації вентиляційних установок овочесховищ.
7. Які електродвигуни застосовують для привода насосів у насосних станціях зрошувальних систем?
8. Як здійснюється автоматизація насосних станцій зрошувальних систем?
9. Яке обладнання з електроприводом застосовується у спорудах захищеного ґрунту?
10. Як здійснюється регулювання параметрів мікроклімату і мінерального живлення рослин у зимових теплицях?
11. Які застосовуються способи живлення в електроприводах мобільних машин?

12. Як класифікують мобільні машини за способом переміщення?
13. Які електромобільні машини застосовуються у рільництві?
14. Як залежить маса приводного електродвигуна від частоти струму?

Література:

1. Електропривод: Навчальний посібник/ О.Ю. Синявський, П.І. Савченко, В.В. Савченко, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Ю.М. Хандола, І.П. Ільчов; За ред. О.Ю. Синявського. - К.: АграрМедіа Груп, 2013.-586 с. ISBN 978-617-646-201-9;
2. Електропривод: підруч. для вузів. Ч.1/О.С. Марченко, Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко, Є.Л. Жулай; за ред. О.С. Марченка. – К. : Урожай, 1995. – 207 с.. – ISBN 5-337-01695-4;
3. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, О.С. Марченко та ін.; Ред. Є.Л. Жулай. – К. : Вища освіта, 2001. – 288 с.. – ISBN 966-95995-2-0.

ЛЕКЦІЯ № 13

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД У СІЛЬСЬКО-ГОСПОДАРСЬКИХ РЕМОНТНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

План

1. Електропривод і автоматизація кранових механізмів;
2. Електропривод ручних електричних машин;
3. Електропривод обкатних стендів;
4. Електропривод металообробних верстатів;
5. Електропривод деревообробних верстатів.

1 Електропривод і автоматизація кранових механізмів

До вантажопідійомних машин відносять підйомні крани, кран-балки, талі, лебідки. Основними їх механізмами є механізми підйому і пересування (повороту).

Електропривод кранів працює в повторно-короткочасному режимі з великим числом вмикань за годину в запилених і вологих приміщеннях та на відкритому повітрі. Напруга живлення не повинна перевищувати 500 В.

Стандартами встановлені такі режими роботи механічного і електричного обладнання кранових механізмів: легкий - Л ($TB_{ном} = 15 - 25 \%$, частота вмикань за годину $z \leq 60$ 1/год), середній - С ($TB_{ном} = 25 - 40 \%$, $z \leq 120$ 1/год), важкий - В ($TB_{ном} = 40 \%$, $z \leq 120$ 1/год), дуже важкий - ДВ ($TB_{ном} = 60 \%$, $z \leq 600$ 1/год). Для електрообладнання кранів приймають, що час циклу не перевищує 10 хв, а для механізмів - 1 год.

Для привода кранових механізмів використовують асинхронні двигуни з короткозамкненим та фазним ротором серії МТКФ, МТФ, 4МТ, АИРВС...ЭУ1 або двигуни постійного струму серії Д залежно від вимог до механічних характеристик електроприводів з боку технологічних операцій.

Для визначення потужності двигуна необхідно знати моменти статичних опорів при підйомі вантажу і переміщенні візка. Зведений момент статичних опорів, Н·м, підйомної лебідки при підйомі вантажу визначають за формулою:

$$M_c = \frac{g(m + m_0)D}{2i\eta}, \quad (12.1)$$

де g - прискорення вільного падіння, м/с²; m - маса вантажу, кг; m_0 - маса підйомного пристрою, кг; D - діаметр барабана, м; i - передавальне число механічної передачі; η - ККД підйомного механізму.

При опусканні вантажу в режимі гальмівного спуску:

$$M_c = \frac{g(m + m_0)D\eta}{2i}. \quad (12.2)$$

Необхідна потужність двигуна визначається за формулою:

$$P = K_3 \cdot M_o \cdot \omega_{\partial\partial}, \quad (12.4)$$

де $K_3 = 1,1-1,5$ - коефіцієнт запасу, що враховує динамічні навантаження; $\omega_{\partial\partial}$ - кутова швидкість двигуна, с-1, що визначається за формулою:

$$\omega_{\partial\partial} = 2vi/D, \quad (12.5)$$

де v - швидкість переміщення вантажу, м/с.

Потужність електродвигуна кранового механізму вибирають з урахуванням еквівалентної потужності, яку визначають з навантажувальної діаграми (рис. 12.2).

Тривалість вмикання:

$$TB = \frac{t_1 + t_2}{t_1 + t_2 + t_3} \cdot 100\%, \quad (12.7)$$

де t_3 - тривалість паузи.

Оскільки фактична тривалість вмикання TB_{ϕ} часто не співпадає зі стандартною $TB_{ст}$, то еквівалентну потужність зводять до стандартної за формулою:

$$P_{еквст} = P_{екв} \sqrt{\frac{TB_{\phi}}{TB_{ст}}}. \quad (12.8)$$

Двигун вибирають за умовою $P_{н.дв} \geq P_{екв.ст}$ і перевіряють на перевантажувальну здатність.

Схеми керування крановими механізмами повинні забезпечити:

- реверсивне керування;
- при необхідності регулювання швидкості в заданих межах;
- електромеханічне гальмування при зупинках;
- електричне гальмування при опусканні вантажу;
- обмеження руху лебідки вгору та візка в обидва боки;
- нульове та електричне блокування;
- захист від коротких замикань автоматичними вимикачами та перевантажень за допомогою реле струму.

Механізми підйому і переміщення мають кінцеві вимикачі, які обмежують рух підйомного пристрою вгору і переміщення візка в обидва боки. Електричні кола захищені максимальними струмовими реле, захист тепловими реле не передбачається. Схема повинна мати нульову блокіровку.

2. Електропривод ручних електричних машин

Ручна електрична машина - це така машина, в якій головний робочий рух виконується від електричного двигуна або електромагніта, а допоміжний рух та керування машиною вручну. У сільському господарстві ручні електричні машини застосовують для стрижки овець, в ремонтних та деревообробних майстернях, на будівництві, в побуті. Для підвищення продуктивності ручної праці промисловість випускає більше ста їх типів.

Сучасні ручні електричні машини за призначенням поділяють на дві групи: для використання у побуті та для професійної діяльності.

Оскільки ручні електричні машини працюють безпосередньо в контакт з людиною, до них ставляться такі вимоги: невелика маса, безпека в роботі, зручність в експлуатації, нормовані величини шуму та вібрації, економічність.

Будь-яка ручна електрична машина складається з електродвигуна, передавального пристрою, корпусу, вимикачів, штепсельних з'єднань та кабелю живлення.

Маса ручної електричної машини на 70-80 % визначається масою електродвигунного пристрою, тому для їх приводу застосовуються високошвидкісні двигуни, які найменші за масою. Але підвищення частоти обертання двигуна для ручної електричної машини з невеликою швидкістю руху робочого органу зумовлює необхідність редукторних передач, які ускладнюють машину і тим самим збільшують її масу. Тому при конструюванні ручних електричних машин знаходять оптимальний варіант співвідношення маси двигуна (m_d) та маси редуктора (m_r) для даної частоти обертання робочого органу n . Найменшій загальній масі $m_r + m_d$ відповідає оптимальна частота обертання електродвигуна (рис. 12.4).

Двигуни ручних електричних машин розраховані на номінальні напруги 36, 42, 220, 380 В змінного струму та частоти 50, 200, 400 Гц і постійного струму напругою 9, 12, 24 В.

За робочою напругою та ступенем безпеки РЕМ поділяються на три класи:

- машини на напругу 220 та 380 В тільки з робочою ізоляцією та штепсельними роз'єднувачами, що мають заземлюючий контакт;

II - машини на напругу 220 та 380 В з подвійною або підсиленою ізоляцією без пристрою для заземлення. На паспортних табличках машин II класу наносять знак \square

- машини на напругу 9, 12, 24 В постійного струму та 36, 42 В змінного струму із живленням від автономних джерел струму або трансформаторів (перетворювачів) з окремими обмотками і напругою холостого ходу не вище 50 В. Вторинне електричне коло не повинно бути з'єднане з землею.

При потужності на валу P_2 , частоті обертання n_d , об/хв, та частоті струму живлення f , Гц масу двигуна орієнтовно можна визначити за рівнянням:

$$m = k \sqrt{\frac{50P_2}{fn_d}}, \quad (12.9)$$

де k - експериментальний коефіцієнт, для дво полюсних трифазних двигунів промислової частоти $k = 11$, для дво полюсних двигунів підвищеної частоти (200 Гц) $k = 12-13$. При постійній потужності підвищення частоти струму призводить до зменшення маси двигуна.

Оптимальна частота обертання приводного електродвигуна знаходиться в межах 8-12 тис. об/хв. Практично використовуються двигуни з частотою обертання від 3000 об/хв (асинхронні короткозамкнені двигуни частотою 50 Гц) до 12 тис. об/хв (асинхронні частотою 200 Гц та колекторні).

Для приводів ручних електричних машин використовують спеціальні електродвигуни уніфікованої серії, які повинні відповідати таким вимогам: достатньо жорстка механічна характеристика, велика перевантажувальна здатність, механічна міцність, невелика маса.

3. Електропривод металообробних верстатів

Типовими механізмами верстатів є механізми головного привода, привода подачі та допоміжні механізми. Кожний із цих механізмів має свої особливості, які зумовлені технологічним процесом і конструкцією. Умови роботи механізмів верстатів за характером навантаження, режимом роботи, регулюванням швидкості дуже різні. Цим пояснюється велика різноманітність застосовуваних електроприводів, починаючи від нерегульованих і закінчуючи регульованими з глибокими зворотними зв'язками.

Для головних електроприводів легких і середніх металообробних верстатів характерне навантаження з постійною потужністю, для інших електроприводів - із постійним моментом.

В загальному вигляді рівняння механічної характеристики головних приводів токарно-гвинторізного і свердлильного верстата має вигляд:

$$M_c = M_0 + (M_{сн} - M_0)(\omega/\omega_n) - 1, \quad (12.23)$$

а шліфувального і стругального верстатів:

$$M_c = M_0 + (M_{сн} - M_0)(\omega/\omega_n) \cdot 0, \quad (12.24)$$

де M_c - момент статичних опорів верстата, Н·м, при кутовій швидкості ω , с⁻¹; M_0 - початковий момент, Н·м (для стругальних і токарно-гвинторізних верстатів $M_0 \approx (0,25 - 0,3)M_{сн}$; для шліфувальних і свердлильних - $M_0 \approx (0,2 - 0,25)M_{сн}$); $M_{сн}$ - момент статичних опорів, Н·м, при номінальній кутовій швидкості ω , с⁻¹.

Характерними режимами роботи для металообробних верстатів є тривалий, повторно-короткочасний та переміжний. Головний привод і привод подач працює в тривалому, повторно-короткочасному або переміжному режимі роботи, а допоміжний - у короткочасному з постійним навантаженням. Для вибору потужності двигуна будують навантажувальні діаграми верстата на основі технологічних карт при обробці найбільш поширених деталей. Для того, щоб побудувати навантажувальну діаграму верстата, необхідно знати й мати: креслення деталі, яку необхідно обробити; матеріал деталі та різця; глибину різання; подачу; швидкість різання; ККД верстата. Крім цього, необхідно визначити необхідну потужність механізму при кожній операції, час роботи, тривалість цієї операції.

Потужність для виконання окремої операції токарно-гвинторізним верстатом визначається за формулою:

$$P_{piz} = \frac{F_{piz} v_p}{\eta_n \eta_{em}}, \quad (12.25)$$

де F_{piz} - зусилля різання, Н; v_p - швидкість різання, м/с; η_n , η_{em} - відповідно ККД передачі і верстата.

Зусилля різання

$$P_{piz} = C_p t S^{0,75}, \quad (12.26)$$

де C_p - коефіцієнт, який характеризує оброблюваний матеріал і умови роботи (для сталі $C_p = 200$, для кованого чавуну $C_p = 100-150$, для сірого чавуну $C_p = 114-190$); t - глибина різання, мм (при чистовій обробці $t = 0,1 - 0,2$ мм, при грубій обробці - $t = 3-30$ мм); S - подача, мм/об (при чистовій обробці $S = 0,1-0,4$ мм/об, при грубій обробці - $S = 0,4-3$ мм/об).

Швидкість різання визначається так:

$$v_{piz} = \frac{C_v}{T^m t^x S^y 60}, \quad (12.27)$$

де C_v - коефіцієнт, який характеризується заданими умовами роботи (оброблюваний матеріал, матеріал різця, режим різання, застосування охолодження); x , y - показники степеня, які залежать від глибини різання і подачі

Вбудовані двигуни (АИРВ...П2УЗ, АИРВ...ПУЗ) призначені для вбудовування в механізми і являють собою окремих статор з обмотками і залите алюмінієм осердя ротора без вала, з вентилятором або без нього. Ротор шліфується і балансується разом з робочим органом (шпинделем) верстата. Крім основного виконання існують модифікації цих двигунів: з вбудованим температурним захистом, з підвищеним

ковзанням, з підвищеним пусковим моментом, багатошвидкісні. Діапазон регулювання швидкості головних приводів 100:1, приводів подач - 1000:1.

Двигуни постійного струму незалежного збудження серій 2П, 4П знайшли широке використання у верстатобудуванні за їх можливість глибокого регулювання швидкості при жорсткій механічній характеристиці двигуна. Зворотні зв'язки забезпечують тахогенератори. Нині застосовують імпульсні тахогенератори (фото-імпульсні датчики і приймачі з цифровими лічильниками) або магнітоімпульсні системи (на валу двигуна встановлюють намагнічений диск з виступами і западинами, а поряд - котушку з осердям).

Високомоментні двигуни (ДК-1, ПБВ, 2ПБВ) - це двигуни постійного струму з якорем і постійними литими магнітами замість обмоток збудження. Швидкість обертання двигуна регулюється зміною напруги на якорі від транзисторних або тиристорних перетворювачів напруги. Ці двигуни забезпечують рівномірний хід при малих швидкостях, мають велику перевантажувальну здатність і відносно велику сталу часу нагрівання (60 -100 хв).

Частотно-регульовані асинхронні двигуни серій 4АМ, АІР використовуються для головних приводів і приводів подач верстатів з числовими програмним керуванням і маніпуляторів. Частота обертання головних приводів регулюється зміною частоти струму в діапазоні від 0 до 4000 об/хв, приводів подач - від 0 до 1000 об/хв.

Для зупинки двигуна в схемах керування металообробними верстатами застосовується гальмування противмиканням або динамічне.

4. Електропривод деревообробних верстатів

Круглопиляльні верстати застосовуються для розпилювання колод. їх виготовляють одно- та багатопилковими. В однопилкових верстатах колоди подаються на візку, в багатопилкових - за допомогою ланцюга з упорами, а бруски - вальцями.

Фугувальні верстати бувають одношпindelними з ручною подачею деталей, у яких оброблюється нижня поверхня, а також з двома ножовими валами, які фрезерують і вивіряють дві суміжні сторони деталі, які розміщені під прямим кутом. Привод ножів верстата потребує підвищену частоту обертання, тому їх вмикають в мережу частотою 100 Гц.

Стругальні верстати. Найбільшого поширення у майстернях набули одно- і двосторонні стругальні верстати. У односторонніх стругальних верстатів ширина обробки складає від 300 до 1200 мм. Потужність приводного двигуна ножового вала залежно від ширини обробки деталі знаходиться у межах від 4,5 до 14 кВт, потужність двигуна подачі - від 1 до 2,8 кВт.

Свердлильні і довбальні верстати. Свердлильні та довбальні верстати призначені для свердління отворів і виробітку різних за формою пазів і гнізд, які використовуються в основному для шипових і болтових з'єднань виробів. На свердлильно-пазових верстатах висвердлюються продовгуваті пази чи продовгуваті отвори.

Для побудови навантажувальних діаграм деревообробних верстатів необхідно знати потужність різання чи свердління і режим роботи верстата. У процесі різання чи свердління діють сили, які викликають входження різця в деревину і тим самим утворюють зону деформації, забезпечуючи при цьому відділення стружки, переборювання тертя стружки і різця об деревину.

Зусилля різання, H , визначають за формулою:

$$F_p = \frac{Kbhv_n}{v_p}, \quad (12.41)$$

де K - питомий опір різання, Н/мм²; b - ширина стружки, мм; h - товщина стружки, мм; v_n - швидкість подачі, м/с; v_p - швидкість різання, м/с; pp - частота обертання пилки за хвилину, об/хв.

Зусилля подачі визначається так:

$$F_{II} = F_p \cos \varphi + F_o \sin \varphi + (G + F_p \sin \varphi - F_o \cos \varphi) f, \quad (12.44)$$

де F_p - зусилля різання, Н; F_0 - зусилля відтискування, яке знаходиться в межах $F_0 = (0,2 - 0,08) F_p$, Н; G - вага бруска, Н; f - коефіцієнт тертя деревини об поверхню стола, $f = 0,35 - 0,4$; φ - кут між віссю бруса та напрямом дотичної сили різання.

Зусилля при шліфуванні деталі, Н, визначається за формулою:

$$F_{ш} = (f_{ш} + f_c) F_n, \quad (12.45)$$

де $f_{ш}$ - коефіцієнт тертя шкурки об матеріал поверхні, що шліфується, $f_{ш} = 0,3$; f_c - коефіцієнт тертя стрічки об стіл, $f_c = 0,4$; F_n - зусилля натискання деталі на стрічку, Н, яке дорівнює:

$$F_n = \text{tg}, \quad (12.46)$$

Маючи значення зусиль, швидкостей, ККД передачі і верстата визначають необхідні потужності окремих механізмів за формулою (12.37) і будують навантажувальну діаграму, одна з яких представлена на рис. 12.12. З діаграми випливає, що режим роботи електродвигунів деревообробних верстатів - переміжний або тривалий із змінним навантаженням.

Для привода деревообробних верстатів застосовують одно- та багатошвидкісні трифазні асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором, з фазним ротором, двигуни постійного струму. Якщо робочий інструмент верстата встановлюється безпосередньо на вал двигуна, застосовують двигуни спеціалізованого виконання (наприклад, 4АМХД), які отримують живлення від мережі з частотою струму 50 і 100 Гц. Ці двигуни мають подовжений ротор, підсилені підшипники та подовжений кінець вала.

Електропривод лісопилних рам. Приводні характеристики лісопилної рами мають такі особливості: у кінематичній схемі є кривошипний механізм; момент статичних опорів і момент інерції пилорами залежить від кута повороту кривошипа; механічна характеристика холостого ходу пилорами за середнім моментом є лінійно- зростаюча; навантажувальна діаграма електро-двигуна близька до косинусоїдальнопрямкутної (рис. 12.13), при її розрахунку необхідно враховувати електромеханічні та електромагнітні перехідні процеси; режим роботи при безперервній подачі колод - тривалий, а при подачі колод з перервами - повторно-короткочасний.

Потужність для привода пилорами визначають за формулою:

$$P_{ср} = \frac{M_{ср} \cdot \omega_{кр}}{\eta_n}, \quad (12.47)$$

де $M_{ср}$ - сумарним середній момент статичних опорів:

$$M_{ср} = M_{зр} + \frac{1}{\pi} M_{різ\ макс} + M_{под}, \quad (12.48)$$

де $M_{зр}$ - момент зрушення; $M_{різ\ макс}$ - максимальний момент різання; $M_{под}$ - момент опору механізмів подачі; $\omega_{кр}$ - кутова швидкість кривошипа.

Двигун вибирають за умовою:

$R_{ндв} \geq 1,2R_{ср}$

(12.49)

і перевіряють за умовами пуску і на перевантажувальну здатність.

Сучасні вертикальні лісопилльні рами приводяться в дію від двох двигунів: від більш потужного - кривошипний вал, від іншого - механізм подачі. У деяких з них є третій електродвигун для привода гідронасоса. Приводний вал лісопилльної рами зв'язаний з приводним двигуном, як правило, за допомогою пасової передачі. Частота обертання приводного вала становить 200 - 500 об/хв. Для того, щоб при змінних динамічних навантаженнях хід був рівномірнішим, лісопилльні рами оснащують маховиками, що погіршує умови пуску двигуна.

Контрольні запитання:

1. Які електродвигуни застосовують для привода кранових механізмів?
2. Які вимоги ставляться до схем керування крановими механізмами?
3. Які вимоги ставляться до ручних електричних машин?
4. Які типи електродвигунів застосовуються для привода ручних електричних машин?
5. Які переваги системи живлення електродвигунів ручних електричних машин з частотою 200 Гц порівняно з частотою 50 Гц?
6. Як класифікують ручні електричні машини за ступенем електробезпеки?
7. Поясніть будову і принцип дії електромашинного і електромагнітного перетворювачів частоти.
8. В яких режимах працює електродвигун обкатного стенда при гарячому і холодному обкатуванні двигуна внутрішнього згорання?
9. Які особливості приводних характеристик обкатних стендів?
10. Назвіть головні механізми металообробного верстата.
11. Які особливості приводних характеристик металообробних верстатів?
12. Які електродвигуни застосовуються для привода металообробних верстатів?
13. Які особливості приводних характеристик деревообробних верстатів?
14. Назвіть особливості приводних характеристик лісопилльної рами.

Література:

1. Електропривод: Навчальний посібник/ О.Ю. Синявський, П.І. Савченко, В.В. Савченко, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Ю.М. Хандола, І.П. Ільчов; За ред. О.Ю. Синявського. - К.: Аграр Медіа Груп, 2013.-586 с. ISBN 978-617-646-201-9;
2. Електропривод: підруч. для вузів. Ч.1/О.С. Марченко, Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко, Є.Л. Жулай; за ред. О.С. Марченка. – К. : Урожай, 1995. – 207 с.. – ISBN 5-337-01695-4;
3. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, О.С. Марченко та ін.; Ред. Є.Л. Жулай. – К. : Вища освіта, 2001. – 288 с.. – ISBN 966-95995-2-0.