

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Методичні вказівки щодо виконання самостійної роботи

Суми
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Основи електроприводу

Методичні вказівки щодо виконання самостійної роботи

для студентів 3 (1 с.т.), 4 (2 с.т.) курсів бакалавр,
спеціальність 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»,
денної та заочної форм навчання

Суми
2023

УДК 631.81 (631)
УДК – 5150-(075.8)
P-99

Укладачі:

Рясна О.В., старший викладач кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ

Основи електроприводу /Методичні вказівки щодо виконання самостійної роботи для студентів 3 (1 с.т.), 4 (2 с.т.) курсів бакалавр, спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», денної та заочної форм навчання /Суми, 2023 рік, 138 ст., рис 67 табл. 4, бібл. 7

В методичних вказівках щодо виконання самостійної роботи представлені всі теми для вивчення дисципліни основи електроприводу та наведений приклад для виконання реферату.

Конспект лекцій призначений для студентів 3 (1 с.т.), 4 (2 с.т.) курсу денної і заочної форм навчання, спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Рецензенти: Герасименко В.О., к.ф.-м.н., доцент, завідувач кафедрою вищої математики СНАУ

Кравченко В.О., к. ф.-м. н. , доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ

Відповідальний за випуск: Чепіжний А.В., к.т.н., ст. викладач; завідувач кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ

Рекомендовано до видання навчально-методичною радою інженерно-технологічного факультету. Протокол № 6 від « 22» травня 2023 року

Тематичний план

№ п/п	Назва розділу, теми	Кількість годин	
		Денна форма частина 1/частина 2	Заочна форма
1	СРС	208	174

Зміст

Вступ	9
Тема 1. ВСТУП. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ (ЧАСТИНА 1).....	10
1.1. ЕЛЕКТРОПРИВІД ТА ЙОГО ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ.....	10
1.2. КЛАСИФІКАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ.....	12
1.3. ОСНОВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ.....	16
1.4. КОРОТКА ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ.....	18
ТЕМА 2. БУДОВА ТА ПРИНЦИП ДІЇ ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	21
2.1. ДВИГУНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	21
2.2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГУНІВ.....	23
2.3. ДВИГУНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НЕЗАЛЕЖНОГО ЗБУДЖЕННЯ	24
2.4. ДВИГУНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПАРАЛЕЛЬНОГО ЗБУДЖЕННЯ.....	30
ТЕМА 3. Механічні властивості та режими роботи ДПС з незалежним (паралельним) та послідовним збудженням.....	32
3.1. ДВИГУНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПАРАЛЕЛЬНОГО ЗБУДЖЕННЯ.....	32
3.2. ДВИГУНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПОСЛІДОВНОГО ЗБУДЖЕННЯ.....	32
3.3. ДВИГУНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЗМІШАНОГО ЗБУДЖЕННЯ...	27
3.4. УНІВЕРСАЛЬНІ КОЛЕКТОРНІ ДВИГУНИ.....	38
ТЕМА 4. РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ДПС НЗ.....	42
4.1. ПУСК І РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	42
4.2. МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАШИН.....	44
4.3. МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	45

4.4. МЕХАНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА.....	45
4.5. ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕЖИМИ ДВИГУНА.....	46
ТЕМА 5. БУДОВА ТА ПРИНЦИП ДІЇ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ.....	47
5.1. Асинхронний двигун.....	47
5.2. БУДОВА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА.....	50
5.3. ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА.....	51
5.4 ПРИНЦИП ДІЇ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА	53
ТЕМА 6. МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА РЕЖИМИ РОБОТИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА.....	55
6.1. МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	55
6.2 ЗАПУСК В ХІД АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ.....	56
6.3. РЕЖИМИ РОБОТИ АСИНХРОННИХ МАШИН.....	59
ТЕМА 7. РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ АСИНХРОННОГО.....	61
7.1 Регулювання частоти обертання асинхронних двигунів.....	61
7.2 НАВАНТАЖУВАЛЬНІ ДІАГРАМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ.....	62
ТЕМА 8. БУДОВА ТА ПРИНЦИП ДІЇ СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ.....	66
8.1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.....	66
8.2 ОСНОВНІ ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ.....	67
8.3 ЯКИЙ АГРЕГАТ КРАЩЕ.....	67
8.4 ПРИСТРІЙ СИНХРОННОГО ДВИГУНА.....	68
8.5 СИНХРОННИЙ ДВИГУН: ПРИНЦИП РОБОТИ.....	68
8.6 ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ.....	71
8.7 ВИБІР ДВИГУНА.....	72
8.8 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ.....	72
ТЕМА 9. ОСОБЛИВОСТІ ПУСКУ ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ТА АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ.....	75
9.1.ОСОБЛИВОСТІ ТА СПОСОБИ ПУСКУ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	75
9.2 ЯКИМИ СПОСОБАМИ МОЖНА РЕГУЛЮВАТИ ЧАСТОТУ ОБЕРТАННЯ РОТОРА ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ?.....	75

9.3 ЯК ЗДІЙСНИТИ РЕВЕРСУВАННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ?.....	76
9.4 ЩО ТАКЕ МЕХАНІЧНА І РЕГУЛЮВАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ?.....	77
9.5 ПУСК АСИНХРОННОГО ДВИГУНА.....	77
ТЕМА 10. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МЕХАНІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ.....	80
10.1.ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ МЕХАНІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ.....	80
10.2. ОСНОВНІ ТЕРМІНИ – ЩО СТОСУЮТЬСЯ ВИВЧЕННЯ ОСНОВ РОЗУМІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ.....	81
10.3. ОДНОФАЗНІ АСИНХРОННІ ДВИГУНИ.....	84
10.4 СИНХРОННІ ТРИФАЗНІ ЕЛЕКТРОДВИГУНИ.....	86
ТЕМА 11. ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ.....	88
11.1. ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ.....	88
11.2. ГАЛЬМОВІ РЕЖИМИ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ.....	89
11.3. ПЕРЕХІДНІ РЕЖИМИ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ.....	91
ТЕМА 12. ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ.....	94
12.1. ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ.....	94
12.2 ВИМОГИ ДО МОНТАЖУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ.....	95
12.3 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПО ТИПУ.....	96
12.4 ВИБІР ДВИГУНА ПО ВИКОНАННЮ.....	98
ТЕМА 13. ЕНЕРГЕТИКА ЕЛЕКТРОПРИВОДУ.....	100
13.1. ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ ТА ЕНЕРГІЇ В ЕП.....	100
13.2 .КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ.....	101
13.3 ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИКИ.....	104
ТЕМА 14. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СХЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ.....	107
14.1. КЛАСИФІКАЦІЯ ДАТЧИКІВ.....	107
14.2. МАГНІТНІ ТА ЄМНІСНІ ДАТЧИКИ.....	109
14.3 ГЕНЕРАТОРНІ ДАТЧИКИ.....	112

ТЕМА 15. ПРИНЦИП ПОБУДОВИ ЗАМКНЕНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	115
15.1. ЗАМКНУТІ СИСТЕМИ ЕП.....	115
15.2. СИСТЕМИ ПІДЛЕГЛОГО РЕГУЛЮВАННЯ.....	115
ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ	126
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	137

ВСТУП

У системі підготовки інженера електромеханіка та інженера механіка є дисципліна «Основи електроприводу», одна з основних профільюючих дисциплін.

Метою вивчення дисципліни «Основи електроприводу» є надання майбутнім спеціалістам досить глибоких знань і уявлень в галузі електричних машин, електромеханічного перетворення енергії та управління процесами такого перетворення, що повинно стати основою для практичної діяльності в галузі експлуатації електричних машин, електроприводів та систем автоматизації на їх основі.

Предметом вивчення дисципліни є: будова та принцип дії електричних машин; питання механіки електроприводу та загальні принципи його будови; схеми, характеристики, регульовальні властивості електроприводу з двигунами постійного та змінного струму; питання запуску та гальмування двигунів та їх вибір. Приділяється увага також вивченню розімкнених та замкнених систем електроприводів з двигунами постійного та змінного струму, які використовують у виробничих процесах як гірничорудної промисловості, так і їх елементної бази та ін.

Дисципліна базується на знаннях з вищої математики, фізики, загальної електротехніки, електроніки, теоретичної механіки. Оволодіння студентами навчальної дисципліни «Електропривод і автоматизація» дозволяє успішно засвоїти такі спеціальні дисципліни, як «Охорона праці в галузі», «Технічне обслуговування машин переробних підприємств», «Технічне обслуговування фермерської техніки», «Технічне обслуговування машин і обладнання», «Основи проектування енергетичних об'єктів АПК», «Електричні машини» та застосовувати знання при розв'язанні практичних виробничих завдань.

ТЕМА 1. ВСТУП. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ (ЧАСТИНА 1)

1.1. ЕЛЕКТРОПРИВІД ТА ЙОГО ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ

Електроприводом (ЕП) називається електромеханічна система, що складається із взаємодіючих перетворювачів електричної енергії, електромеханічних та механічних передаточних пристроїв, керуючих та інформаційних пристроїв, і призначена для приведення в рух виконавчих органів робочої машини та керування цим рухом у відповідності до вимог технологічного процесу.

Для виконання зазначених функцій електропривід споживає електричну енергію з мережі або перетворювача електричної енергії та перетворює її в механічну, яка передається виконавчим органам робочої машини. За рахунок цієї енергії виконавчий орган приводиться в рух, забезпечуючи виконання технологічного процесу за потрібним законом (переміщення вантажів у підйомно-транспортних механізмах, механічну обробку деталей на верстатах, подачу повітря або води та ін.).

У процесі роботи ЕП можливий і зворотний потік енергії, коли електродвигун перетворює механічну енергію, що надходить від робочої машини, в електричну та повертає її до мережі. При цьому необхідний закон руху виконавчого органу забезпечується за рахунок механічної енергії, яка накопичується в рухомих елементах робочої машини.

Спрощена функціональна схема автоматизованого електроприводу наведена на рис. 1.1.

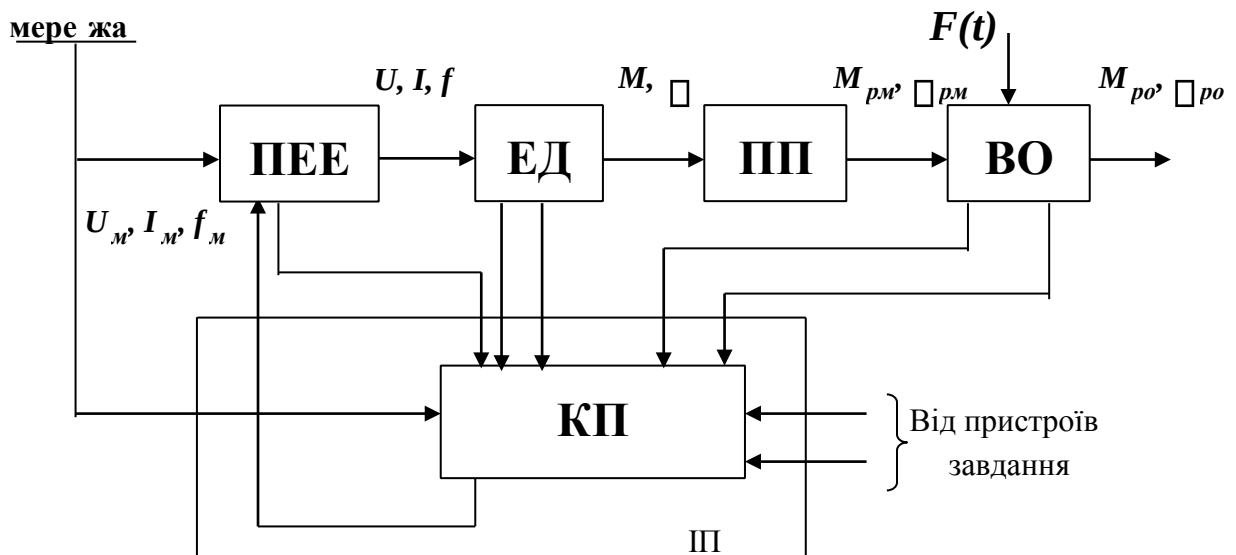


Рис. 1.1. Функціональна схема автоматизованого електроприводу

На рис. 1.1. позначено:

–ПЕЕ – перетворювач електричної енергії, призначений для перетворювання та регулювання параметрів або показників якості електричної енергії, що надходить з електричної мережі. ПЕЕ керує потоками енергії та виконує двосторонній обмін енергією між мережею та електродвигуном з метою регулювання його режимів роботи для реалізації необхідного технологічного процесу конкретної робочої машини. В якості ПЕЕ частіше всього використовуються електромашинні та статичні перетворювачі на цілком керованих напівпровідникових приладах (IGBT, IGCT, GCT та ін.), що перетворюють змінну напругу промислової частоти в регульовану за величиною постійну напругу (перетворювачі напруги) або знов перетворюють у змінну, але іншої частоти та величини (перетворювачі частоти);

–ЕД – електричний двигун постійного або змінного струму (асинхронний або синхронний), який є основою будь-якого електроприводу;

–ПП – механічний передаточний пристрій, що слугує для передачі механічної енергії від електродвигуна до виконавчого органу робочої машини, а також для узгодження виду та швидкостей їх руху. Як ПП можуть використовуватися різні види передач: редукторні, планетарні, ремінні,

ланцюгові, пара гвинт-гайка, кривошипно-шатунні та ін. У ряді випадків ПП відсутній і електродвигун безпосередньо з'єднується з виконавчим органом робочої машини;

–ВО – виконавчий орган робочої машини (або робочий орган) слугує для виконання корисної роботи. Прикладами є: кабіна ліфта, ківш екскаватора, шліфувальний круг або фреза металообробного верстату, валки прокатного стану, стрічка (ланцюг) транспортера або конвеєру та ін. Рухома частина електродвигуна (якір, ротор), ПП та ВО утворюють механічну частину;

–КП – керуючий пристрій призначений для формування керуючих впливів з метою керування процесом перетворювання та циркуляції енергії. Керуючий вплив виробляється на основі інформації про задані режими роботи (сигнали завдання), а також сигналів різноманітних зворотних зв'язків (виробляються спеціальними датчиками), що містять інформацію про поточний стан системи, протікання технологічного процесу та реальні параметри механічного руху електродвигуна або ВО. Використання цієї інформації дозволяє регулювати потрібні закони руху ЕД та ВО, досягати оптимальних режимів роботи виробничих механізмів, забезпечити різні види захисту та блокування при роботі електроприводу;

–ІП – інформаційний пристрій, призначений для отримання, перетворювання, обробки, зберігання та видачі інформації про стан електроприводу та технологічного процесу з метою керування електроприводом та технологічним процесом.

1.2. КЛАСИФІКАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

Залежно від виду руху, ступеня керованості електроприводу та його конструктивного виконання, типу перетворювача електричної енергії та передаточного пристрою, роду струму для живлення електродвигуна існуючі електроприводи класифікуються таким чином.

За видом руху розрізняють електроприводи обертального й поступального односпрямованого та реверсивного руху, а також електроприводи зворотнопоступального руху.

За принципом регулювання швидкості та ступеня керованості електроприводи підрозділяються на:

- нерегульований електропривід, який не забезпечує керовану зміну координат руху виконавчого органу робочої машини. При цьому параметри руху змінюються тільки внаслідок впливів, що збурюють (зміна навантаження на валу двигуна, напруги живлення та ін.);

- регульований електропривід, що забезпечує керовану зміну координат руху виконавчого органу робочої машини у відповідності до вимог технологічного процесу. До регульованих електроприводів належать: системи керований перетворювач – двигун постійного струму (КП – Д); системи перетворювач частоти – асинхронний двигун (ПЧ – АД); асинхронний електропривод подвійного живлення; каскадний електропривод, у якому потужність ковзання повертається в мережу або на вал двигуна; системи імпульсного регулювання періодичним включенням і відключенням джерела живлення; реостатне регулювання;

- електропривід, що спостерігає, який забезпечує переміщення виконавчого органу робочої машини відповідно до сигналу завдання, що змінюється довільно;

- програмно-керований електропривід, що забезпечує переміщення виконавчого органу робочої машини стосовно до заданої програми;

- адаптивний електропривід, який автоматично пристосовується до параметрів, що змінюються, та впливів, що збурюють, шляхом зміни структури та параметрів системи керування;

- позиційний електропривід, що забезпечує переміщення виконавчого органу в задане положення;

- неавтоматизований електропривід, у якому всі операції виконує оператор;

–автоматизований електропривід, у якому частину операцій керування виконують відповідні пристрої керування без участі оператора.

За родом механічного передаточного пристрою розрізняють:

–редукторний електропривід, у якому електродвигун з'єднаний з робочою машиною за допомогою одного з видів передаточних пристроїв;

–безредукторний електропривід, коли електродвигун з'єднаний безпосередньо з робочою машиною.

За типом структури розрізняють:

–електропривід з розімкненою (замкненою) системою керування. Це електропривід, у якому відсутній (є) зворотний зв'язок за регульованою координатою або за збуренням, що діє на керуючий пристрій;

–електричний вал – це взаємозв'язаний електропривід, що забезпечує синхронний рух двох або більше виконавчих органів, які не мають механічного зв'язку.

За родом струму привідного двигуна електроприводи підрозділяються на електроприводи постійного та змінного струму.

За типом електромеханічних перетворювачів – асинхронні з короткозамкнутим або фазним ротором, крокові, лінійні, двигуни постійного струму з незалежним і послідовним збудженням.

За способом передачі механічної енергії виконавчому органу електроприводи діляться на: груповий, індивідуальний, багатодвигунний та взаємозв'язаний.

Груповий електропривід характеризується тим, що від одного двигуна приводиться в рух декілька виконавчих органів однієї або декількох робочих машин. Така система електроприводу, що широко використовувалася на ранньому етапі його розвитку, має складне кінематичне коло (механічний передаточний пристрій), що ускладнює його експлуатацію та автоматизацію виробничих процесів. Складна кінематика таких механізмів, великі затрати на їх індивідуальне проектування, високі вимоги до точності виготовлення є основними недоліками групового електроприводу.

Зростання одиничної потужності виробничих механізмів, необхідність автоматизації виробничих процесів та механічних ліній, прагнення до спрощення механічних передаточних пристроїв робочих машин та механізмів зумовили заміну групового електроприводу індивідуальним.

Індивідуальний електропривід характеризується тим, що рух кожного виконавчого органу робочої машини виконується від окремого електродвигуна. При цьому спрощується механічний передаточний пристрій (кінематичне коло) для передачі руху від двигуна робочої машини, легко реалізується автоматизація технологічного процесу, поліпшуються умови обслуговування робочих машин. Тому цей тип приводу у нинішній час є основним. Прикладом індивідуального приводу може бути привід металообробних верстатів, де кожен механізм (шпиндель, механізми поздовжньої та поперечної подачі) приводиться в рух від окремого двигуна. Перехід до індивідуального електроприводу характеризує якісний стрибок у розвитку електроприводу. Електричний привід разом з виконавчим механізмом, що приводиться в рух, утворюють єдину електромеханічну систему, яка відкриває широкі можливості для формування (шляхом впливу на систему керування) заданих законів руху робочих машин, оптимізацію їх роботи за різними критеріями. При цьому спрощується керування механізмами, що взаємодіють у технологічному процесі.

Багатодвигунний електропривід характеризується тим, що виконавчий орган машини приводиться в рух декількома електродвигунами (платформи механізмів повороту потужних екскаваторів та ін.).

Взаємозв'язаний електропривід містить два або декілька електрично або механічно зв'язаних між собою електроприводів, під час роботи яких підтримується задане співвідношення їх швидкостей, навантажень або положення виконавчих органів робочих машин (металообробні верстати з числовим програмним керуванням, прокатні стани металургійної промисловості та ін.). При сумісній роботі деяких механізмів промислових роботів та маніпуляторів, що не зв'язані між собою електрично, також

спостерігається їх взаємозв'язок. Наприклад, висування руки маніпулятора приводить до збільшення моменту інерції для механізму повороту, а збільшення кутової швидкості механізму повороту викликає додаткове навантаження на механізм висування руки з-за дії відцентрових сил.

1.3. ОСНОВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Сучасний електропривід є основним споживачем (понад 60%) електроенергії, що виробляється. Тому вдосконалення технічних та економічних показників електроприводу є основою прогресу у всіх галузях промисловості й дозволяє успішно розв'язати проблему енергозбереження засобами електроприводу.

Характерною тенденцією розвитку автоматизованого електроприводу є спрощення механічних передаточних пристроїв, вдосконалення й розробка нових типів електродвигунів, застосування нового покоління перетворювачів електричної енергії на базі цілком керованих напівпровідникових модулів та ШІМ для регулювання напруги та струму, а також подальший розвиток систем керування електроприводом, що оптимізують за різними критеріями роботу електроприводу та технологічного процесу.

Основними особливостями розвитку електроприводу на даному етапі є:

- розширення галузі застосування регульованого приводу, головним чином, за рахунок застосування частотно-регульованих приводів змінного струму з використанням цілком керованих напівпровідникових приладів. Електроприводи змінного струму, що використовують більш надійні, економічні та з меншою металоємністю двигуни, будуть інтенсивно витісняти електроприводи постійного струму, що поки мають переважне застосування;

- збільшення вимог до показників точності у динамічних та статичних режимах роботи електроприводу;

- розширення та ускладнення його функцій;

–розширення функціональних можливостей електроприводу в різних виробничих операціях та технологічних процесах, подальше вдосконалення й розвиток систем керування електроприводами шляхом застосування систем числового програмного керування та розширення використання мікропроцесорних пристроїв і керуючих мікро-ЕОМ;

–уніфікація елементної бази та створення комплектних електроприводів, що задовольняють потребам широкого класу виробничих механізмів;

–розширення діапазону потужностей від часток вата до десятка тисяч кіловат та значна різноманітність їх виконання (вбудовувані у шарнірні з'єднання двигуни приводів роботів та маніпуляторів);

–створення потужних безредукторних приводів прокатних станів, шахтних підйомних установок, основних механізмів екскаваторів та інших механізмів у провідних галузях промисловості;

–підвищення енергетичної ефективності всіх типів електромеханічних систем (унікальних та масових), що дуже актуально у зв'язку з енергетичною кризою, яка загострюється як у країні, так і в світі;

–підвищення ККД електроприводів та організація керування режимами роботи виробничими механізмами, яка виключає невиробниче використання електроенергії;

–застосування нового покоління цілком керованих напівпровідникових приладів та засобів керування ними для підвищення ефективності електромеханічного перетворювання енергії, усування несинусоїдальності напруги та струмів;

–використання групового живлення електромеханічних систем з накопичувачами енергії з метою гнучкого керування потоками електроенергії для компенсації реактивної потужності, зниження струмових навантажень на мережу та підвищення низки показників якості електроенергії.

1.4. КОРОТКА ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

У 1838 році академіком Б.С. Якобі був створений перший у світі електродвигун постійного струму, що був установлений на невеликому катері. Однак невідосконаленість конструкції цього двигуна, відсутність надійних та економічних джерел електроенергії стали основною причиною того, що електропривід тоді не отримав визнання та широкого практичного застосування. У 1892 р. електроприводи з ручним керуванням вперше були встановлені на трамваї у місті Києві. Трохи пізніше електроприводи почали застосовувати на шахтах та рудниках Донбасу та Криворізького басейну.

Особливе значення для розвитку електроприводу мала розробка інженером М.О. Доліво-Добровольським основ теорії найбільш економічної та перспективної трифазної системи змінного струму й створення у 1889 р. найрозповсюдженішого у наш час трифазного асинхронного двигуна. З цього часу починається епоха всебічного використання електричної енергії та широкий розвиток електричного приводу. Винахід Л.Н. Яблочковим трансформаторів вирішив проблему передачі електроенергії на великі відстані.

Першою самостійною працею, у якій достатньо повно розглядалися питання теорії електроприводу, була книга С.А. Ринкевича “Электрическое распределение механической энергии”, видана в 1925 р. Подальший розвиток теорія електроприводу отримала у працях В.К. Попова, А.Т. Голована, Д.П. Морозова та інших вчених. Зміст теорії електроприводу у цих роботах був, звичайно, зорієнтований на розімкнені системи з релейно-контактним керуванням.

Викладання теорії електроприводу як окремої дисципліни розпочалося з 30-х років XX-го століття. Важливою умовою розвитку електроприводу була підготовка інженерів-електротехніків. Уперше на Україні у 1892 р. у Харківському технологічному інституті був введений курс електротехніки, а трохи згодом у Київському політехнічному інституті, а у 1918 р. у цьому інституті був відкритий електротехнічний факультет.

Широкому впровадженню та вдосконаленню електроприводу сприяло створення потужної електротехнічної промисловості, науково-дослідних та проектних інститутів.

До початку 20-х років минулого століття одиночний електропривід поступово витіснив трансмісійну систему, основними недоліками якої були великі габаритні розміри, низькі ККД і надійність, а також труднощі регулювання режимів роботи та загальної експлуатації.

З розвитком одиночного електроприводу та збільшенням потужності електродвигунів виникла тенденція застосування багатодвигунного електроприводу, коли на одній робочій машині розміщувалось декілька двигунів для надання руху різним її елементам. Використання індивідуальних двигунів дало змогу спростити конструкцію механізмів, поліпшити їх надійність і техніко-економічні показники.

Важлива роль у розвитку електротехнічної промисловості належить Харківському електромеханічному заводу (ХЕМЗ), на якому у 30-х роках попереднього століття почали виготовляти пристрій для дистанційного керування електроприводами, а потім магнітні пускачі. На ХЕМЗі були розроблені схеми та апаратура автоматичного пуску асинхронних двигунів. Скажімо, у 1932 році було виготовлено релейно-контакторну апаратуру для реверсивного електроприводу прокатного стану потужністю більше 5000 кВт.

Використання електромашинних підсилювачів надало можливість замінити релейно-контакторні схеми більш надійними системами плавного регулювання швидкості, що використовувалися в електроприводах підйомних установок, прокатних станів, екскаваторів та ін.

Замкнуті системи автоматичного керування отримують усе більший розвиток. Швидкими темпами розвивалась елементна база, що дало можливість виготовити першу вітчизняну підйомну машину з електроприводом постійного струму за системою генератор – двигун з апаратурою керування релейної дії.

Великий вплив на розвиток електроприводу зробили розробки та виробництво напівпровідникових керованих вентилів (тиристорів). Створені на

їх основі напівпровідникові перетворювачі постійного та змінного струму поступово витісняли електромашинні та іонні перетворювачі. Це дозволило значно підвищити техніко-економічні показники та швидкодію електроприводу.

Сучасний етап розвитку електроприводу характеризується застосуванням нового покоління цілком керованих напівпровідникових модулів (комбінованих IGBT транзисторів 4-го покоління з вихідним струмом до 1200 А і напругою до 3500 В, тиристорів IGCT, що комутуються керуючим електродом, а також MOS тиристорів з керуванням без споживання струму) для побудови перетворювачів напруги та частоти з використанням ШІМ, а також широким застосуванням мікропроцесорних пристроїв та керуючих мікро-ЕОМ, з метою оптимізації режимів роботи електроприводів та технологічного процесу.

Створення електродвигунів спеціального призначення сприяє вдосконаленню електроприводу. До таких двигунів відносяться: лінійні з поступальним рухом, малоінерційні двигуни з гладким, порожнистим або дисковим якорем, багатокоординатні крокові двигуни та ін.

ТЕМА 2. БУДОВА ТА ПРИНЦИП ДІЇ ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

2.1. ДВИГУНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

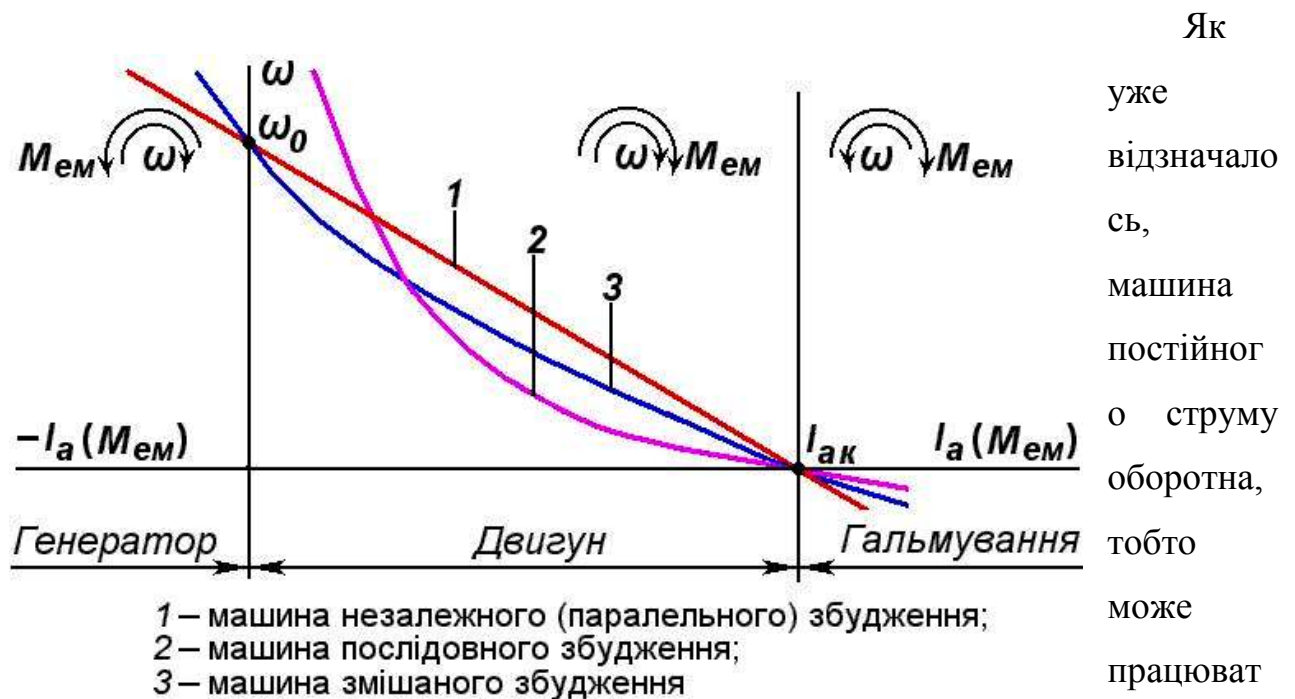


Рисунок 1.47 – Режими роботи машини постійного струму

Як уже відзначалося, машина постійного струму може працювати в режимі двигуна, так і в режимі генератора. Розглянемо на прикладі двигуна паралельного збудження (в коло якоря якого введений додатковий опір), за яких умов відбувається перехід такого двигуна з одного режиму роботи в інший. Припустимо, що, в процесі зміни навантаження, магнітний потік машини залишається незмінним $\Phi = \text{const}$. В цьому випадку, згідно з (1.85), $\omega = \square(I_a)$ є прямою, так як напруга мережі U та опір кола якоря R_a величини незмінні. На (рис. 1.47) це пряма 1, що перетинає як вісь абсцис – точка $I_{ак}$, так і вісь ординат – точка ω_0 . Відрізок прямої $\omega_0 - I_{ак}$ слід розглядати як характеристику роботи двигуна. Дійсно, на цьому відрізку електромагнітний момент $M_{ем}$, що його розвиває машина і під дією якого вона обертається, має той же напрям, що і частота обертання ω . Точка ω_0 називається кутовою частотою обертання *ідеального НХ* (так як струм $I_a = 0$, що реально в режимі двигуна неможливо), точка $I_{ак}$ відповідає струму якоря, який виникає при пуску

двигуна. Слід зазначити, що додатне значення струму на цьому відрізку забезпечується тим, що напруга U , прикладена до обмотки якоря двигуна, більша ніж проти-ЕРС E_a , яка в цій обмотці створюється ($U > E_a$) – це і є умовою роботи машини в *режимі двигуна*.

На відрізку $\omega > \omega_0$ зростання частоти обертання викликає збільшення E_a вище від напруги U , тому струм змінює свій напрям (1.86) і стає направленим не в машину, а в мережу. Причиною зростання частоти обертання може бути будь-який механічний момент, що співпадає з напрямом обертання ротора машини, а електромагнітний момент, як і струм, змінює свій напрям і стає гальмівним. Тому цей режим роботи називається *генераторним*, або *режимом рекуперативного гальмування з віддачею потужності до мережі*.

На ділянці характеристики нижче точки I_{ak} напрям частота обертання не співпадає з напрямом електромагнітного моменту, який розвиває машина. Це можливо в тих випадках, коли на валу машини є активний статичний момент, більший від пускового моменту, що створює двигун, наприклад момент вантажу, який опускається краном. Такий режим роботи називається *гальмівним*, або *гальмуванням противмиканням*. Як видно з (рис. 1.47), значення струму в режимі гальмування досить велике – більше від I_{ak} , тому що напрям обертання змінився, а отже величина струму пропорційна не різниці напруги та ЕРС, яка також змінила напрям, а їх сумі. При такому гальмуванні в коло ротора необхідно увести додатковий опір, щоб обмежити величину струму. Гальмування противмиканням може застосовуватись не лише при опусканні вантажів краном, а і при необхідності швидкої зупинки машини шляхом реверсування. При цьому ротор продовжує обертатись у тому ж напрямі, який він мав до реверсування, а електромагнітний момент направлений, завдяки реверсуванню, у зворотний.

У двигуна послідовного збудження, крива 2 на (рис. 1.47), при зміні струму якоря змінюється і магнітний потік (1.70) тому $\omega = \omega(I_a)$ криволінійна. Ця крива не перетинає вісь ω , тобто двигун з послідовним збудженням не може перейти в генераторний режим. Фізично це пояснюється тим, що зростання

частоти обертання ω не може збільшувати ЕРС якоря E_a , через зниження струму якоря I_a , а отже, і магнітного потоку. Таким чином, двигун послідовного збудження може мати лише два режими роботи – двигуна та гальмування протivismання.

Двигун змішаного збудження, як і двигун паралельного, має всі три режими: крива 3 (рис. 1.47). *Всі характеристики (рис. 1.47) відповідають випадку, коли в коло якоря ввімкнений додатковий опір.*

2.2 ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГУНІВ

Властивості двигунів, як і генераторів, оцінюються їх характеристиками, основними з них є робочі, моментні, швидкісні та механічні.

Робочі характеристики двигуна – це сукупність залежностей частоти обертання $n(\omega)$, струму навантаження I , підведеної потужності P_1 , корисного моменту на валу M_2 , коефіцієнта корисної дії η від корисної потужності на валу P_2 при незмінних напрузі U та опорі в колі збудження R_z . Цими характеристиками визначаються експлуатаційні властивості машини.

$$n(\omega); I; P_1; M_2; \eta = f(P_2). \quad (1.88)$$

Враховуючи, що $P_1 = U \cdot I$ і незмінність напруги, що є умовою знімання цих характеристик, характеристики струму $I = f(P_2)$ та підведеної потужності $P_1 = f(P_2)$ будуть, якщо виразити їх у відносних одиницях, зображуватись однією лінією.

Робочі характеристики двигуна завжди будуються в одній системі координат.

Моментні характеристики – низка залежностей електромагнітного моменту M_{em} від струму якоря I_a , тобто $M_{em} = f(I_a)$ при $U = \text{const}$; $R_z = \text{const}$.

Швидкісні характеристики – це залежності частоти обертання $n(\omega)$ від струму якоря I_a , $n(\omega) = f(I_a)$ при $U = \text{const}$; $R_z = \text{const}$.

Механічні характеристики – залежності частоти обертання $n(\omega)$ від електромагнітного моменту M_{em} – $n(\omega) = f(M_{em})$ при $U = \text{const}$; $R_z = \text{const}$. Слід

зазначити, що швидкісні та механічні характеристики, якщо виражати величини у відносних одиницях, для двигунів незалежного та паралельного збудження будуть зображуватись одними лініями, враховуючи (1.25).

Швидкісні та механічні характеристики можуть бути *природними*, якщо напруга, що підводиться до двигуна, номінальна, додатковий опір в колі якоря відсутній, магнітний потік номінальний. Коли ж будь-яка з перерахованих величин відрізняється від номінальної, то характеристики називаються *штучними*:

- штучна реостатна, якщо в коло якоря увімкнути додатковий опір R_d ;
- штучна на зниженій напрузі, коли напруга менша від номінальної;
- штучна при ослабленому полі, в коло збудження ввімкнений регулювальний опір R_{pz} , який знижує струм збудження і відповідно магнітний потік.

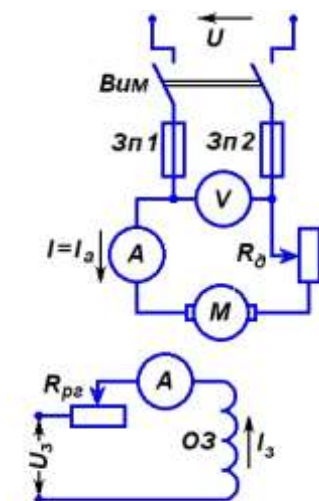


Рисунок 1.48 – Електрична схема двигуна незалежного збудження

2.3 ДВИГУНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НЕЗАЛЕЖНОГО ЗБУДЖЕННЯ

До двигунів незалежного збудження відносяться двигуни, обмотка збудження яких живиться від незалежного джерела, або двигуни з магнітоелектричним збудженням. Схема, за якою можна знімати характеристики двигуна електромагнітного збудження наведена на (рис. 1.48). Межі вимірювання приладів у такій схемі вибирається за номінальними даними

двигуна.

В коло обмотки якоря вмикається додатковий опір R_d , який обмежує пусковий струм при реостатному пуску і дає можливість змінювати частоту обертання двигуна при заданому навантаженні. Резистором R_{pz} установлюється необхідний струм збудження, струм навантаження змінюється навантажувальним пристроєм, наприклад, електромагнітним гальмом, яке

дозволяє змінювати момент навантаження M_2 від нуля до $(1,1 - 1,25) M_{ном}$, що може бути визначений як:

$$M_{ном} = P_{ном} / \omega_{ном} \quad (1.89)$$

або

$$M_{ном} = 9,55 P_{ном} / n_{ном}. \quad (1.90)$$

Робочі характеристики. Ці характеристики знімаються і будуються при номінальних незмінних значеннях напруги ($U = U_{ном} = \text{const}$), магнітного потоку НХ ($\Phi_0 = \Phi_{0ном} = \text{const}$), що створюється обмоткою збудження чи постійними магнітами, та опору кола якоря ($R_a = \text{const}$).

Для аналізу залежності $n = f(P_2)$, що практично є природною швидкісною

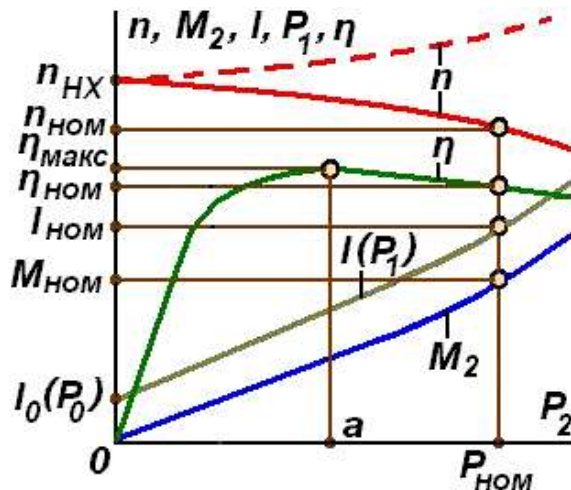


Рисунок 1.49 – Робочі характеристики двигуна незалежного збудження

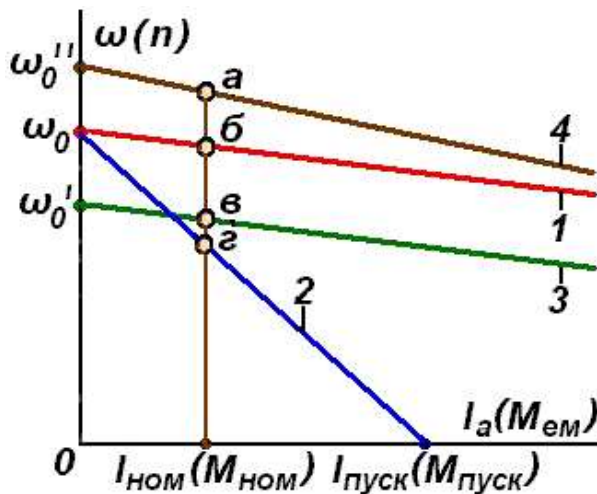
характеристикою,

використовується вираз (1.85) з якого видно, що на частоту обертання двигуна впливає, при незмінності величин U , Φ_0 та R_a і збільшенні навантаження, тільки струм якоря I_a , збільшуючи падіння напруги в колі якоря, а отже знижуючи чисельник виразу. Крім цього, ріст струму якоря

супроводжується зростанням реакції якоря, яка найчастіше викликає зменшення потоку Φ_0 на величину $\Delta\Phi$ і таким чином результатний потік $\Phi = \Phi_0 - \Delta\Phi$, тобто знижується не тільки чисельник (1.85), а і його знаменник. В залежності від співвідношення цього зниження, визначається і крива характеристики $n = f(P_2)$: якщо переважає зниження чисельника – суцільна лінія n (рис. 1.49), коли ж знаменника – пунктирна. Слід зазначити, що стійка робота двигуна можлива тільки за умови падаючої характеристики (суцільна крива), що буде показано дещо далі. Робота двигуна, що супроводжується зростанням частоти обертання (пунктирна крива) внаслідок розмагнічувальної дії реакції якоря недопустима, тому що при значних навантаженнях можливе

необмежене зростання частоти обертання, так званий *рознос двигуна* – аварійний режим при якому зростання частоти обертання викликає такі відцентрові сили, що діють на ротор, від яких він руйнується.

Залежність струму навантаження I та потужності P_1 , що споживається з мережі, враховуючи, що $P_1 = U \cdot I$ (див. В.5) та незмінність напруги, можуть зображуватись однією кривою $I(P_1)$ (рис. 1.49) за умови побудови



1 – природна; 2 – штучна реостатна;
3 – штучна на зниженій напрузі;
4 – штучна при ослабленому полі
Рисунок 1.50 – Швидкісні та механічні характеристики двигуна незалежного збудження

характеристики в масштабах, які відрізняються у величину напруги. В режимі НХ ($P_2 = 0$) на осі ординат характеристика відсікає точку $I_0(P_0)$ – струм НХ та втрати НХ (1.63). Величина струму НХ I_0 незначна (2 – 5) % від номінального струму, ним, у відповідності з (1.25), створюється момент НХ M_0 .

Характеристика $M_2 = f(P_2)$ визначається залежністю, по аналогії з (1.90), $M_2 = 9,55 P_2 / n$ і при $n = \text{const}$, мала б вигляд прямої. Однак зі зростанням навантаження частота обертання

знижується, тому характеристика криволінійна.

Графік зміни ККД крива $\eta = f(P_2)$ має кілька характерних точок: в режимах НХ та КЗ двигун, не виконуючи корисної роботи, має ККД рівний нулю, при навантаженні коли постійні втрати (магнітні та на збудження) рівні змінним (електричним та механічним) – точка *а*, ККД досягає максимального значення, і дещо знижується при номінальному навантаженні $\eta_{\text{ном}}$.

При номінальному навантаженні $P_{\text{ном}}$ всі характеристики мають відповідні точки $n_{\text{ном}}$, $I_{\text{ном}}$, $M_{\text{ном}}$, а точка $P_{I_{\text{ном}}}$ на (рис. 1.49) співпадає з точкою $I_{\text{ном}}$.

Швидкісні та механічні характеристики. В процесі роботи магнітний потік двигуна знижується $\Phi = \Phi_0 - \Delta\Phi$, тому вираз швидкісної характеристики (1.85) можна представити:

$$\omega = (U - I_a R_a) / [k (\Phi_0 - \Delta \Phi)] \quad (1.91)$$

Враховуючи, що ця характеристика розглядається як робоча і вище описана, доцільно розглянути не лише її, а і штучні швидкісні характеристики, знехтувавши розмагнічувальною дією реакції якоря $\Delta \Phi$, і представивши (1.85) як:

$$\omega = [U - I_a (R_a + R_\delta)] / (k \Phi), \quad (1.92)$$

почленний поділ (1.92) на знаменник виразу дає:

$$\omega = \omega_0 - I_a (R_a + R_\delta) / (k \Phi), \quad (1.93)$$

де $\omega_0 = U / (k \Phi)$ – кутова частота обертання ідеального НХ (НХ, при якому ротор обертається, а струм рівний нулю, що реально неможливо); $(R_a + R_\delta) / (k \Phi)$ – нахил характеристики. На відміну від реальних характеристик, характеристики, побудовані за (1.93), будуть зображені прямими лініями (рис. 1.50), тому що (1.93) виражає рівняння прямої $\omega = f(I_a)$.

Природна характеристика **1** розпочинається в точці ідеального НХ і проходить з мінімальним нахилом до осі абсцис, маючи незначне зниження частоти обертання $\Delta \omega$:

$$\Delta \omega = (\omega_0 - \omega_{ном}) * 100 / \omega_{ном}, \quad (1.94)$$

що складає не більше (2 – 8) %, тому вона називається *жорсткою характеристикою*.

Додатковий опір штучної реостатної характеристики **2** на (рис. 1.50) вибраний таким чином, щоб пусковий струм $I_{пуск} \approx 2I_{ном}$, що забезпечує

можливість реостатного пуску цього двигуна на даній характеристиці з точки $I_{\text{пуск}} (M_{\text{пуск}})$. Такий опір суттєво підвищує її нахил, тому вона називається *м'якою характеристикою*. Кутова частота обертання ідеального НХ така ж, як і у природної характеристики. Як витікає із (1.93), зміна величини R_δ не вплине на значення ω_0 , але пропорційно змінює нахил.

Штучна характеристика на зниженій напрузі U , на відміну від реостатної характеристики, має такий же нахил, що і у природної (адже зміна напруги на нахил характеристики не впливає), але меншу кутову частоту обертання ідеального НХ ω' . Подальша зміна напруги буде переміщувати пряму U паралельно самій собі нижче при зниженні напруги і вище – при її підвищенні, не змінюючи жорсткості.

Для двигуна незалежного збудження з постійними магнітами неможливо зняти характеристику при ослабленому полі, тому така штучна характеристика має місце тільки у двигунів електромагнітного збудження – пряма 4. Ця характеристика, у порівнянні з природною, має вищі і нахил, і кутову частоту обертання ідеального НХ ω'' . Будь-яка зміна магнітного потоку буде відповідно змінювати обидва ці параметри характеристики.

Визначивши із (1.25) значення струму якоря $I_a = M_{em}/(k*\Phi)$ і підставивши

його в (1.93), отримаємо аналітичний вираз механічних характеристик $\omega = f(M_{em})$:

$$\omega = \omega_0 - M_{em}*(R_a + R_\delta)/(k^2*\Phi^2), \quad (1.95)$$

з якого витікає, що останні мають такий же вид, як і швидкісні характеристики.

Побудовані для тих же значень напруги і потоку у відповідному масштабі вони будуть зображуватись тими ж лініями, що і швидкісні

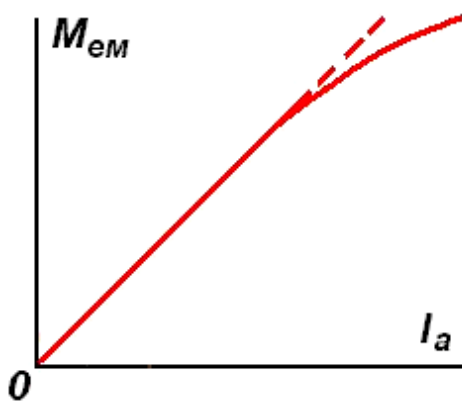


Рисунок 1.51 – Моментна характеристика двигуна незалежного збудження

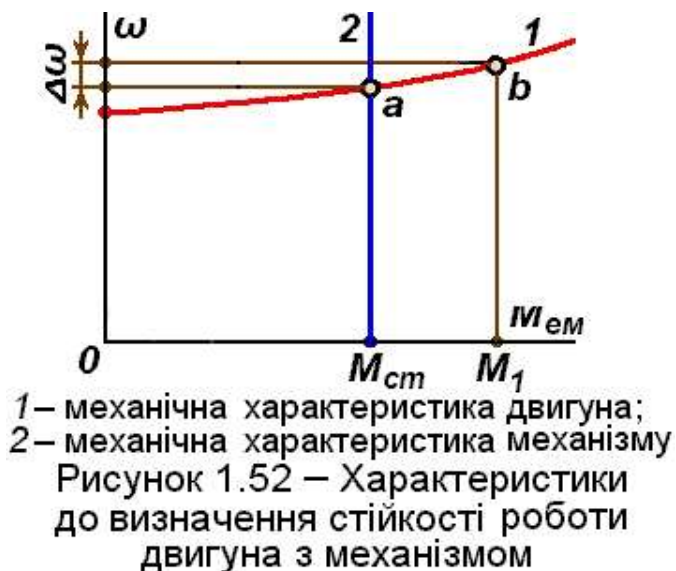
характеристики даного двигуна (рис. 1.50).

Моментна характеристика. Залежність $M_{em} = f(I_a)$ (рис. 1.51) впливає із формули електромагнітного моменту (1.25) і побудова такої характеристики не має сенсу при незмінності магнітного потоку, тому вона будується для врахування розмагнічувальної дії реакції якоря на обертний момент двигуна:

$$M_{em} = k \cdot (\Phi_0 - \Delta\Phi) \cdot I_a. \quad (1.96)$$

Якби магнітний потік залишався незмінним, то електромагнітний момент був би пропорційний струму якоря на (рис. 1.51) така характеристика зображена пунктирною лінією. Дійсна ж характеристика через зниження магнітного потоку буде відхилятися від прямої (суцільна лінія). Таке відхилення найчастіше незначне і в практичних розрахунках може не враховуватись.

Стійкість роботи двигуна. В реальних умовах робота двигуна постійного



струму незалежно від способу збудження може бути стійкою і нестійкою. Останнє має місце при зростаючих механічних характеристиках пряма 1 на (рис. 1.52). Тут же подана механічна характеристика виробничого механізму – пряма 2 паралельна осі ординат з незмінним механічним моментом $M_{cm} = \text{const}$.

В точці *a* спостерігається рівновага моментів:

$$M_{em} = M_{cm}, \quad (1.97)$$

що відповідає усталеному режиму роботи при $\omega = \text{const}$.

Якщо з якоїсь причини кутова частота обертання зросте (наприклад, через розмагнічувальну дію реакції якоря) на величину $\Delta\omega$, то відповідно зросте і електромагнітний момент до значення M_1 , що відповідає роботі в точці *b*, де виникає додатний динамічний момент, тому що $(M_{em} - M_{cm}) > 0$. Під дією цього

моменту частота обертання продовжить зростати до аварійного розносу. Якщо на такій характеристиці частота обертання знизиться, відповідно знизиться і момент, отже буде мати місце $(M_{em} - M_{cm}) < 0$, і частота обертання буде неухильно знижуватись до зупинки. Як і у попередньому випадку це буде аварійний режим, адже до нерухомого двигуна прикладена номінальна напруга (аварійне КЗ).

Аналогічно можна показати, що при падаючій механічній характеристиці робота приводу буде стійкою, тому що будь-яке відхилення кутової частоти обертання на $\pm \Delta\omega$, буде викликати появу надлишкового моменту, направлено на відновлення рівноваги. В загальному вигляді критерієм стійкої роботи електроприводу є нерівність

$$dM_{em}/d\omega < dM_{cm}/d\omega. \quad (1.98)$$

Іноді при проектуванні двигунів незалежного збудження з метою зниження їх габаритів і маси збільшується густина струму та індукція у повітряному проміжку. В таких двигунах розмагнічувальна дія реакції якоря особливо значна і отримати падаючу механічну характеристику неможливо. В таких машинах малої та середньої потужності передбачається спеціальна обмотка з кількох витків, що розташовується на полюсах і вмикається послідовно з обмоткою якоря. Магнітний потік цієї обмотки частково компенсує потік реакції якоря, стабілізуючи основний магнітний потік полюсів (звідси назва цієї обмотки – *стабілізаційна*). Механічні характеристики таких двигунів будуть падаючими, а робота стійкою. Незважаючи на наявність послідовної обмотки збудження такі двигуни не вважаються двигунами змішаного збудження.

2.4 ДВИГУНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПАРАЛЕЛЬНОГО ЗБУДЖЕННЯ

Принципова схема такого двигуна представлена на (рис. 1.53).

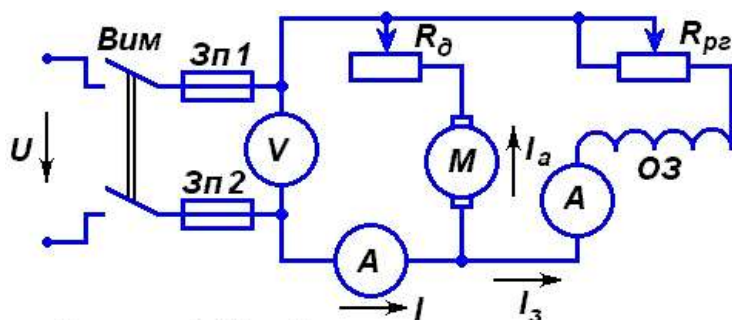


Рисунок 1.53 – Електрична схема двигуна паралельного збудження

В коло обмотки якоря вмикається додатковий опір $R_{\text{д}}$, який обмежує пусковий струм при реостатному пуску і дає можливість змінювати частоту обертання двигуна при заданому навантаженні.

Регулювальний опір $R_{\text{рз}}$ в колі обмотки збудження дозволяє знизити струм збудження, а отже, і магнітний потік. В момент пуску він виставляється в положення, що відповідає нульовому значенню опору.

Враховуючи, що коло обмотки збудження ввімкнене на напругу мережі U , що є незмінною, як і напруга незалежного джерела, то всі характеристики такого двигуна будуть такими ж, як і характеристики двигуна незалежного збудження, і їх окремий розгляд немає сенсу.

ТЕМА 3. МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА РЕЖИМИ РОБОТИ ДПС З НЕЗАЛЕЖНИМ (ПАРАЛЕЛЬНИМ) ТА ПОСЛІДОВНИМ ЗБУДЖЕННЯМ

3.1. ДВИГУНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПАРАЛЕЛЬНОГО ЗБУДЖЕННЯ

Принципова схема такого двигуна представлена на (рис. 1.53).

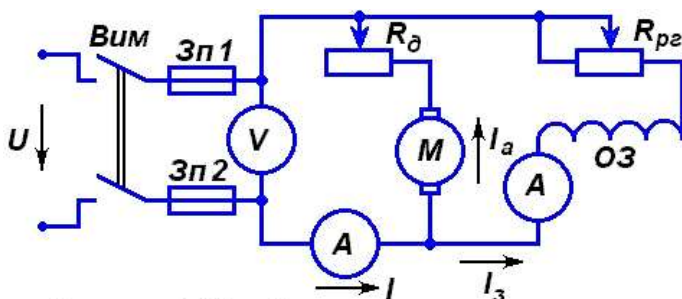


Рисунок 1.53 – Електрична схема двигуна паралельного збудження

В коло обмотки якоря вмикається додатковий опір R_d , який обмежує пусковий струм при реостатному пуску і дає можливість змінювати частоту обертання двигуна при заданому навантаженні. Регулювальний опір R_{pz} в колі обмотки збудження дозволяє знизити струм збудження, а отже, і магнітний потік. В момент пуску він виставляється в положення, що відповідає нульовому значенню опору.

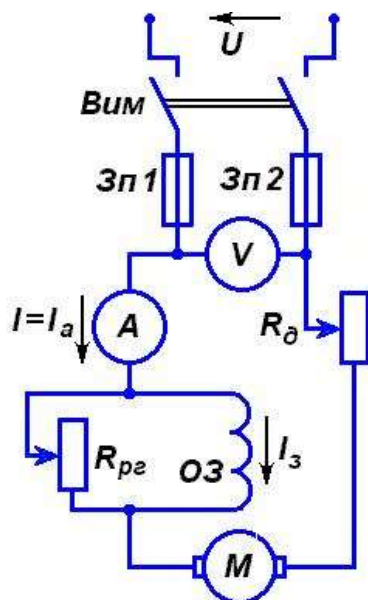


Рисунок 1.54 – Електрична схема двигуна послідовного збудження

Враховуючи, що коло обмотки збудження ввімкнене на напругу мережі U , що є незмінною, як і напруга незалежного джерела, то всі характеристики такого двигуна будуть такими ж, як і характеристики двигуна незалежного збудження, і їх окремий розгляд немає сенсу.

3.2. ДВИГУНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПОСЛІДОВНОГО ЗБУДЖЕННЯ

Характерною особливістю двигунів послідовного збудження є те, що струм якоря I_a є одночасно і струмом збудження I_z , тому що відповідні їх обмотки сполучені послідовно (рис. 1.54).

Як і у схемах двигунів незалежного та паралельного збудження, в електричній схемі двигуна послідовного збудження використовуються додатковий R_d та регулювальний R_{pz} резистори, останній, на відміну від схеми двигунів незалежного та паралельного збудження, вмикається паралельно

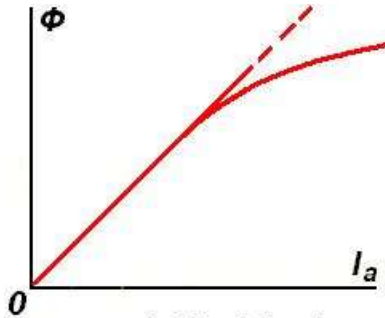


Рисунок 1.55 – Магнітна характеристика двигуна послідовного збудження

обмотці збудження, шунтуючи (при необхідності регулювання) її, і тим самим зменшуючи величину струму збудження у порівнянні зі струмом якоря.

Послідовне сполучення обмоток збудження та якоря суттєво впливає на характеристики цього двигуна, хоча рівняння швидкісних (1.93) та механічних (1.95) характеристик мають такий же вигляд, що і для уже розглянутих двигунів незалежного та паралельного

збудження.

Так як магнітний потік такого двигуна є функція струму якоря ($I_a = I_z$), то залежність $\Phi = f(I_a)$ називається магнітною характеристикою (рис. 1.55). Якщо для спрощення вважати, нехтуючи насиченням магнітної системи, що залежність між потоком і струмом якоря лінійна, пунктирна лінія на (рис. 1.55), то:

$$\Phi = k_{\Phi} \cdot I_a, \quad (1.99)$$

де k_{Φ} – коефіцієнт пропорційності між потоком і струмом, враховуючи (1.25), електромагнітний обертовий момент такого двигуна можна представити:

$$M_{em} = k \cdot k_{\Phi} \cdot I_a^2. \quad (1.100)$$

Як видно із (1.100) момент, що його розвиває двигун послідовного збудження, пропорційний квадрату струму якоря ($M_{em} \propto I_a^2$), тоді як у інших двигунів постійного струму така залежність пряма. Ця обставина суттєво

впливає на вигляд всіх характеристик двигуна послідовного збудження та на можливості його використання.

Робочі характеристики. Ці характеристики (рис. 1.56) знімаються за

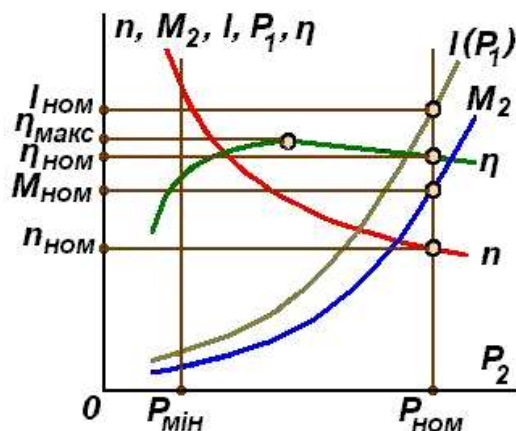
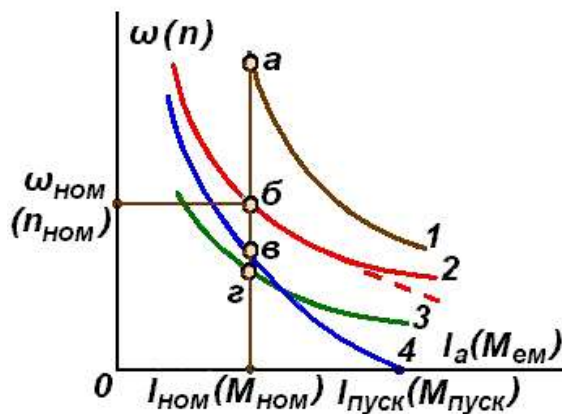


Рисунок 1.56 – Робочі характеристики двигуна послідовного збудження

електричною схемою (рис. 1.54). При цьому двигун навантажується, наприклад електромагнітним гальмом, до значення струму (1,15 – 1,25) $I_{ном}$, а потім навантаження поступово зменшується до величини $P_{мін}$, нижче якої через надмірне зростання частоти обертання двигун розвантажувати не можна. Таким чином характеристики двигуна послідовного

збудження не мають точок в режимі НХ через ймовірність розносу. $P_{мін}$, як правило, не нижче (20 – 25) % від $P_{ном}$. Слід зазначити, що мікродвигуни (потужністю до 100 Вт) послідовного збудження можуть працювати в режимі НХ, тому що у них момент M_0 , зумовлений втратами у самому двигуні, відносно великий. Щоб запобігти розносу, вали потужних двигунів послідовного збудження жорстко з'єднуються з робочим механізмом муфтою або зубчатою передачею. Застосування ремінних з'єднань не допускається, так як при обриві, чи скиданні ременю, двигун може піти в рознос. Залежності $I = f(P_2)$, $P_1 = f(P_2)$, $M_2 = f(P_2)$, $\eta = f(P_2)$ мають приблизно такий же характер, як і у двигунів незалежного та паралельного збудження, а залежність $n = f(P_2)$ має різко виражений нелінійний характер (така характеристика називається м'якою). Різке зростання частоти обертання при зниженні навантаження зумовлюється не тільки зростанням чисельника виразу (1.85), а і зниженням його знаменника.



1 – штучна при ослабленому полі;
2 – природна; 3 – штучна на зниженій
напрузі; 4 – штучна реостатна

Рисунок 1.57 – Швидкісні та
механічні характеристики
двигуна послідовного збудження

Швидкісні та механічні характеристики. Як уже зазначалось, рівняння цих характеристик ті ж, що і у двигунів незалежного та паралельного збудження і визначаються виразами (1.93) та (1.95). Якщо ж (1.99) підставити у (1.85) то частоту обертання двигуна послідовного збудження можна виразити:

$$\omega = (U - I_a \cdot R_a) / (k \cdot k_\phi \cdot I_a) \quad (1.101)$$

Так як падіння напруги в колі якоря $I_a \cdot R_a$ незначне і при $I_a = I_{a \text{ ном}}$ складає (2 – 4) % від $U_{\text{ном}}$, то зміна чисельника (1.101), при зміні струму якоря, досить незначна, у порівнянні зі зміною знаменника, і *природна швидкісна (механічна) характеристика 2* (рис. 1.57)

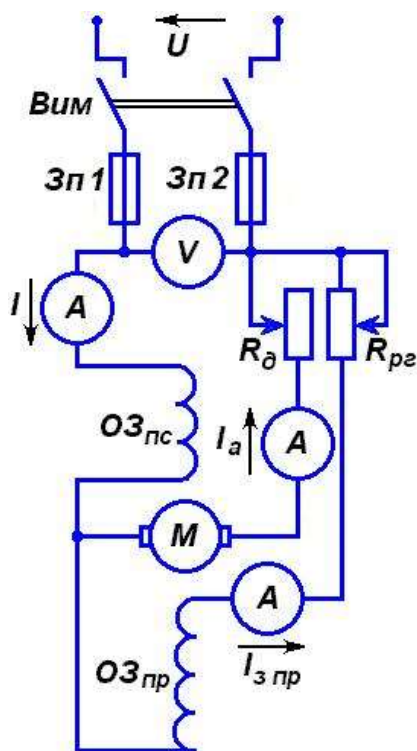


Рисунок 1.58 – Електрична
схема двигуна
змішаного збудження

$\omega = f(I_a)$ [$\omega = f(M_{em})$] носить гіперболічний характер. Особливістю цієї характеристики є її значна крутизна при малих струмах навантаження. Збільшення частоти обертання при таких навантаженнях зумовлене відповідним зниженням магнітного потоку. Дійсна характеристика $\omega = f(I_a)$ при струмах, що перевищують (0,7 – 0,8) $I_{\text{ном}}$, буде відхилятися від гіперболічної залежності (штрихова лінія). Пов'язано це з тим, що при значних струмах, у зв'язку з насиченням магнітного кола, магнітний потік, із зростанням струму, зростає на менше значення, ніж витікає із (1.99), через що кутова частота обертання стає дещо більшою. Крім цього розмагнічувальна дія

реакції якоря також знижує магнітний потік, а це ще збільшує частоту обертання.

Штучна реостатна характеристика цього двигуна **4** має ще більш м'який характер і дозволяє здійснити пуск при відносно незначному пусковому моменті $M_{\text{пуск}}$. Досягається така характеристика шляхом ввімкнення додаткового опору в коло двигуна. *Характеристика двигуна на зниженій напрузі 3* при незначних навантаженнях має більш крутий нахил, а при навантаженнях близьких до номінальних, практично, повторює, при нижчій частоті обертання, природну характеристику. *Штучна при ослабленому полі характеристика* двигуна **1** може бути отримана шляхом шунтування обмотки збудження регулювальним опором R_{pz} (рис. 1.54).

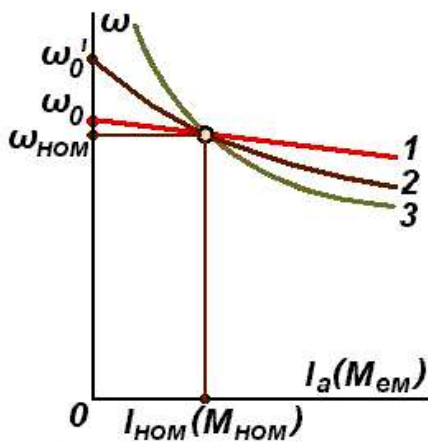
Враховуючи особливості двигуна послідовного збудження, а саме, квадратичну залежність електромагнітного моменту від струму якоря (1.100), такі двигуни використовують там, де існують важкі умови пуску і роботи та необхідно регулювати частоту обертання в широких межах, наприклад, електротранспорт, електропривод прокатних станів тощо. Пояснюється це тим, що при значних змінах навантаження, що супроводжуються поштовхами моменту, струм і потужність, що споживаються з мережі, будуть змінюватися у меншій мірі, ніж у двигунів незалежного та паралельного збудження. Так для двигуна послідовного збудження струм якоря, відповідно до (1.99)

$$I_a = \sqrt{M_{em}} / (k * k\phi), \quad (1.102)$$

тобто для такого двигуна $I_a \equiv \sqrt{M_{em}}$ тоді як у двигунів паралельного збудження при $\Phi = \text{const}$, згідно (1.25) $I_a \equiv M_{em}$. Враховуючи незмінність напруги мережі, відповідну пропорційність має і потужність, що споживається з мережі $P_1 = U * I$.

3.3. ДВИГУНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЗМІШАНОГО ЗБУДЖЕННЯ

Принципова електрична схема двигуна змішаного збудження зображена на (рис. 1.58), вона включає в себе, як і схеми двигунів з іншими способами збудження, вимірювальні прилади, підібрані за номінальними даними двигуна, додатковий R_d та, ввімкнутий у коло паралельної обмотки збудження OZ_{np} ,



1 – двигун незалежного (паралельного) збудження;
2 – двигун змішаного збудження;
3 – двигун послідовного збудження
Рисунок 1.59 – Швидкісні (механічні) характеристики двигунів постійного струму

регульовальний R_{pe} резистори. В таких двигунах послідовна OZ_{nc} і паралельна обмотки збудження вмикаються так, щоб магнітні потоки, які вони створюють, співпадали:

$$\Phi = \Phi_{np} + \Phi_{nc}, \quad (1.103)$$

де Φ_{np} – магнітний потік, створюваний паралельною обмоткою, $Bб$; Φ_{nc} – магнітний потік, створюваний послідовною обмоткою збудження, $Bб$.

Результатний потік Φ за рахунок обмотки послідовного збудження буде зростати зі зростанням струму якоря. Збільшення магнітного потоку буде тим значніше, чим більше витків має ця обмотка. Зустрічне ввімкнення обмоток збудження веде до зниження результатного потоку і, як наслідок, зростання частоти обертання при збільшенні навантаження. В такому випадку (див. 1.6.6) робота двигуна виявиться нестійкою, а отже і неможливою.

Всі характеристики двигунів змішаного збудження займають проміжні положення між відповідними характеристиками двигунів паралельного та послідовного збудження. Якщо послідовна обмотка збудження має незначну кількість витків (називається така обмотка слабкою), то характеристики наближаються до характеристик двигуна паралельного збудження, якщо ж ця

обмотка сильна – до характеристик двигуна послідовного збудження. На (рис. 1.59) представлені для порівняння природні швидкісні (механічні) характеристики двигуна незалежного (паралельного) збудження **1**, двигуна змішаного збудження **2** та двигуна послідовного збудження **3**. При цьому вважається, що всі три двигуна мають однакові номінальні дані. Частота обертання при ідеальному НХ ($I_a = 0$ та $M_{em} = 0$) ω' у двигуна змішаного збудження має кінцеве значення і визначається потоком Φ_{np} .

Двигуни змішаного збудження використовуються, в залежності від

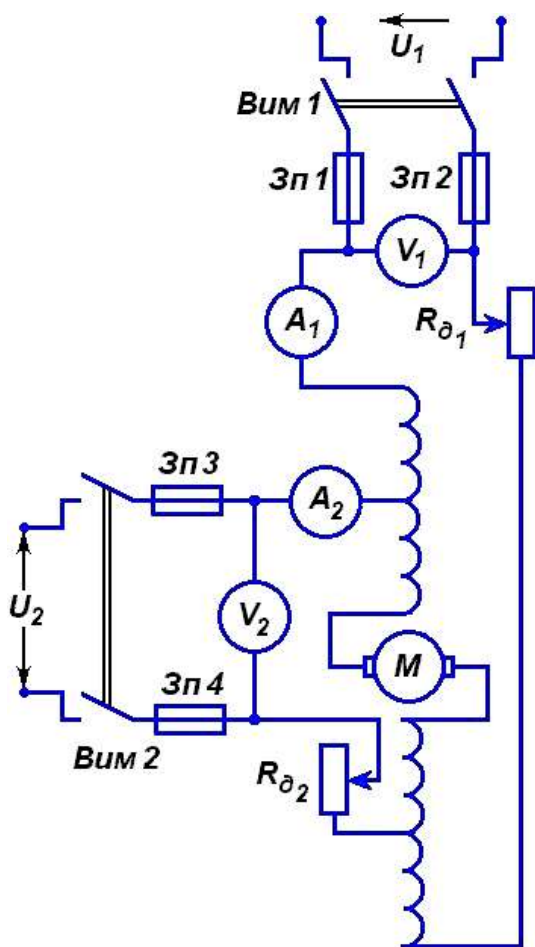


Рисунок 1.60 – Електрична схема універсального колекторного двигуна

магніторушійної сили послідовної обмотки збудження, або замість двигунів паралельного, або замість двигунів послідовного збудження, а також там, де необхідні значні пускові моменти, швидке прискорення при розгоні, стійка робота, що допускає лише незначне зниження частоти обертання при збільшенні навантаження на валу (прокатні стани, вантажні підйомники, насоси, компресори тощо).

3.4. УНІВЕРСАЛЬНІ КОЛЕКТОРНІ ДВИГУНИ

Універсальний двигун – це такий двигун, який може працювати як від мережі постійного, так і від мережі змінного струму.

Будь-який колекторний двигун постійного струму також може працювати і від мережі змінного струму. Пояснюється це тим, що при переході від додатного півперіоду напруги до від'ємного, при живленні змінним струмом, напрям електромагнітного моменту не змінюється в результаті одночасної

зміни напрямку струму як в якорі, так і в обмотці збудження, тобто зміною полярності полюсів при зміні струму в обмотці якоря.

Однофазні колекторні двигуни переважно мають послідовне збудження (рис. 1.60), чим забезпечується достатній електромагнітний момент. Паралельне збудження таких двигунів не застосовується через незначний обертовий момент, що розвиває двигун при такому збудженні. Пояснюється це тим, що обмотка паралельного збудження має значну індуктивність і кут між її струмом та струмом якоря досить великий, а це знижує електромагнітний момент, який пропорційний косинусу кута між струмом якоря та потоком основних полюсів. При послідовному збудженні $I_a = I_z$, а отже кут між струмом якоря та потоком обмотки збудження незначний, а електромагнітний момент достатній.

При живленні змінним струмом будуть мати місце пульсації моменту, але це практично не впливає на роботу двигуна, тому що ці пульсації згладжуються за рахунок моменту інерції ротора, який обертається.

Конструктивно універсальні колекторні двигуни відрізняються від двигунів постійного струму шихтованими з електротехнічної сталі ярмом і основними полюсами. Це дає можливість скоротити магнітні втрати в статорі при роботі на змінному струмі.

Основний недолік універсальних двигунів – важкі умови комутації при живленні змінним струмом. Пояснюється це тим, що в комутованій секції крім реактивної ЕРС та ЕРС крутіння, змінним магнітним потоком основних полюсів, створюється ще і трансформаторна ЕРС $E_{тр}$:

$$E_{тр} = 4,44f_1 \cdot w_c \cdot \Phi_{маск}, \quad (1.104)$$

де f_1 – подвійна частота мережі змінного струму; w_c – число витків секції; $\Phi_{маск}$ – максимальне значення змінного магнітного потоку обмотки збудження.

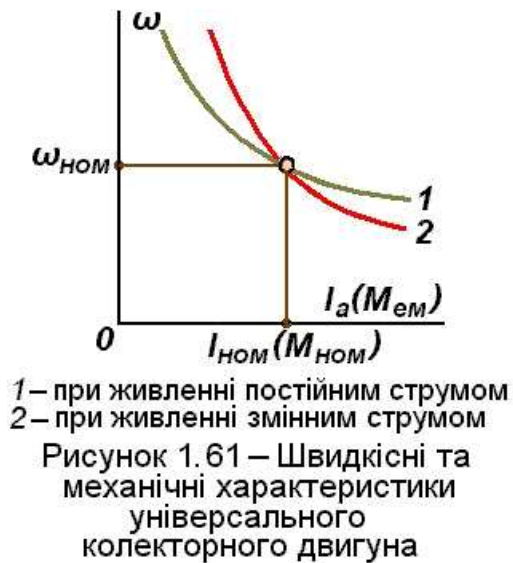


Рисунок 1.61 – Швидкісні та механічні характеристики універсального колекторного двигуна

Для зниження $E_{тр}$ обмотка якоря виконується з одновиткових секцій і зменшується магнітний потік полюса, а тому, щоб потужність двигуна не змінилась, збільшується число полюсів. Застосування додаткових полюсів дозволяє досягти повної компенсації трансформаторної ЕРС лише при визначених струмі та частоті обертання. При інших режимах роботи умови комутації досить складні і це викликає іскріння між щітками та

колектором.

Регулювання частоти обертання і реверсування універсального колекторного двигуна виконується так, як і в двигунах постійного струму послідовного збудження.

В універсальних двигунах намагаються отримати приблизно однакові характеристики як на постійному, так і на змінному струмі. Досягається це тим, що обмотка збудження виконується з відпайками: при роботі на постійному струмі використовується вся обмотка, а при змінному – лише її частина (рис. 1.60).

Розбіжність між характеристиками при живленні змінним та постійним струмом (рис. 1.61) пояснюється тим, що при роботі на змінному струмі (крива 2) на величину і фазу струму впливають індуктивні опори обмоток якоря і збудження. Слід зазначити також, що характеристики при роботі від мережі постійного струму (крива 1) жорсткіші, ніж при роботі від мережі змінного струму. Так при номінальному навантаженні струм і потужність, що споживаються з мережі на постійному струмі нижчі, а ККД вищий, ніж при живленні змінним струмом, що викликано магнітними втратами в статорі двигуна.

Універсальні колекторні двигуни мають широке використання: в автоматиці; для приводу різного електроінструменту з важкими умовами пуску

та роботи (наприклад електродриль); там, де необхідно створити частоту обертання таку, яку неможливо отримати двигунами змінного струму (наприклад пилососи, кухонні комбайни тощо); в пристроях, що можуть використовуватися як у мережі постійного, так і в мережі змінного струму (наприклад електробритви) тощо.

ТЕМА 4. РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ДПС НЗ

4.1. ПУСК І РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

У відповідності з (1.20) кутову частоту обертання двигуна можна виразити як:

$$\omega = E_a / (k_* \Phi), \quad (1.84)$$

або враховуючи (1.74):

$$\omega = (U - I_a R_a) / (k_* \Phi), \quad (1.85)$$

тобто кутова частота обертання пропорційна напрузі і зворотно пропорційна магнітному потоку збудження. Фізично це можна пояснити тим, що підвищення (зниження) напруги U або зниження (підвищення) потоку викличе збільшення (зменшення) різниці $(U - E_a)$, що в свою чергу, приводить згідно (1.73) до зростання (зниження) струму якоря I_a . Зростаючи (зменшуючись), струм підвищує (знижує) електромагнітний момент M_{em} (1.25), а так як момент навантаження залишається незмінним, то зростає (знижується) частота обертання. Іншими словами, у двигунах постійного струму всяка зміна частоти обертання ω зумовлюється необхідністю підтримки електричної рівноваги в колі якоря.

Вираз (1.85) вказує на можливі шляхи регулювання частоти обертання двигуна постійного струму:

- *зміною напруги U* , яка підводиться до обмотки якоря; при цьому частота обертання може бути зміненою від нуля до $1,15 \omega_{ном}$ [підвищення напруги більше ніж $(10 - 15) \%$ від номінального значення небажане через підвищення напруги між колекторними пластинами і погіршення комутації];

- *введенням додаткових опорів у коло якоря*, що дає можливість змінювати кутову частоту обертання від номінального значення $\omega_{ном}$ до нуля;

- *зміною магнітного потоку* (не може бути реалізованим у двигунів з постійними магнітами), в насиченій машині потік можна лише знижувати і тим самим збільшувати частоту обертання (це досягається зменшенням струму обмотки збудження) від номінальної частоти обертання до $(2 - 3) \omega_{ном}$. Підвищення частоти обертання більше ніж у $(2 - 3)$ рази обмежене умовами комутації та механічною міцністю обертових частин.

Струм якоря двигуна постійного струму визначиться згідно (1.73) як:

$$I_a = (U - E_a)/R_a \quad (1.86)$$

При незмінних напрузі U та опорі кола якоря R_a , струм I_a залежить лише від проти-ЕРС E_a , тому найбільшого значення струм якоря досягає в момент пуску, коли проти-ЕРС в обмотці якоря не створюється, так як $\omega = 0$. Отже безпосередньо в момент пуску, пусковий струм двигуна

$$I_{\text{пуск}} = U/R_a \quad (1.87)$$

можна вважати справедливим і для двигунів паралельного та змішаного де $I_{a \text{ пуск}} \approx I_{\text{пуск}}$, враховуючи що ($I_{a \text{ пуск}} \gg I_3$).

Загальний опір кола якоря незначний, тому пусковий струм при номінальній напрузі досягає недопустимо великих значень, що в (10 – 20) разів перевищують номінальний струм двигуна. Такий струм дуже небезпечний для двигуна. По-перше, він може викликати круговий вогонь по колектору, по-друге, такий струм викликає значний пусковий момент, який своєю ударною дією може привести до механічного руйнування обертових частин якоря і, нарешті, цей струм викликає значне падіння напруги в мережі, що шкідливо діє на роботу інших споживачів, які ввімкнені в мережу. Враховуючи все це, пуск безпосереднім ввімкненням двигуна в мережу (*безреостатний пуск*) можна застосувати лише для двигунів потужністю не більше (0,7 – 1,0) кВт. В таких двигунів, завдяки збільшеному опору кола якоря, пусковий струм не перевищує номінальний більше, ніж (3 – 5) раз, що не уявляє небезпеки ні для двигуна, ні для мережі. Що ж стосується двигунів більшої потужності, то при їх пуску, для обмеження пускового струму, слід, згідно (1.87), або знижувати напругу, або збільшувати опір кола якоря.

Пуск на зниженій напрузі застосовується лише в двигунах великої потужності, наприклад, у тягових двигунах електровозів, на момент пуску вони умикаються послідовно, а після пуску – паралельно один другому.

Пуск збільшенням опору в колі ротора досить поширений для двигунів потужністю більше 1 кВт. Такий пуск називається *реостатним пуском* і здійснюється із застосуванням спеціальних *пускових реостатів*, що вмикаються послідовно з обмоткою якоря і дозволяють ступінчасте зниження пускового опору від максимального значення [при якому $I_{\text{пуск}} = (2 - 3) I_{\text{ном}}$] до нуля.

Враховуючи, що електромагнітний момент пропорційний основному потоку Φ (1.25), для зниження пускового струму, магнітний потік повинен бути

найбільший, а отже обмотки збудження двигунів паралельного і змішаного збудження вмикається в мережу без регулювальних опорів.

Реверсування двигуна (зміна напрямку обертання) досягається або зміною напрямку струму в обмотці якоря при незмінному напрямі струму в обмотці збудження, або, навпаки, зміною струму в обмотці збудження при незмінному напрямі струму в обмотці якоря. *Зміна полярності затискачів двигуна до реверсування не призводить, тому що змінює одночасно напрям струму в обох обмотках.*

4.2.МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАШИН

Механічною характеристикою двигуна, або робочої машини називають залежність силового параметра від одного чи кількох кінематичних параметрів і часу.

При доборі двигуна до робочої машини для узгодження оптимального значення кутових швидкостей треба, щоб механічна характеристика двигуна відповідала характеристиці робочої машини. Щоб зменшити габарити та масу агрегату, треба застосовувати швидкохідні двигуни, бо потужність двигуна N дорівнює

$$N = M_p \omega, /15.3/$$

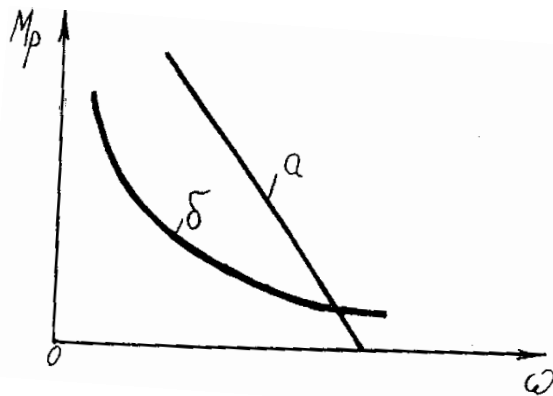
де M_p - момент рушійних сил, ω - кутова швидкість.

У більшості машинних агрегатів безпосереднє з'єднання двигуна з робочою машиною здійснити неможливо. Тому для збільшення величини крутного моменту і відповідного зменшення кутової швидкості між двигуном і робочою машиною встановлюють редуктор.

Залежно від типу двигуна чи робочої машини механічні характеристики бувають більш-менш складними. Розглянемо механічні характеристики деяких машин.

На рис 15.2 показані механічні характеристики електродвигунів постійного струму: *а* - з паралельним збудженням; *б* - з послідовним збудженням.

4.3. МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ



a - з паралельним збудженням; *б* - з послідовним збудженням

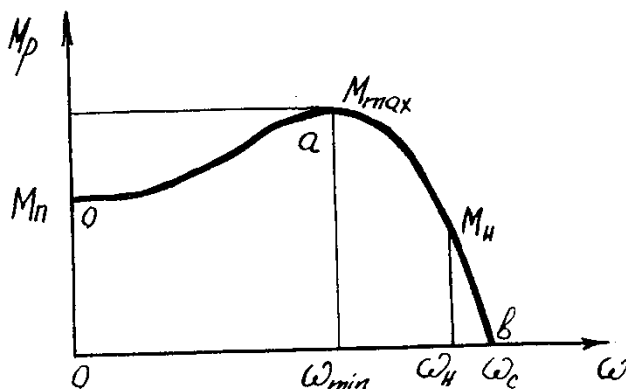
Рис.15.2

На рис.15.3 показано механічну характеристику асинхронного електродвигуна трифазного струму.

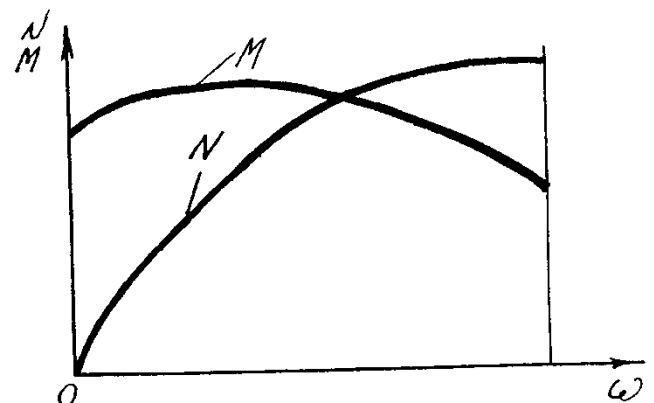
Механічна характеристика цього двигуна складається з двох частин: перша - висхідна, нестійка частина

розташована ліворуч M_{max} ; друга - низхідна, стійка частина розташована праворуч M_{max} , ця частина являється робочою. При деякому значенні кутової швидкості ω , що відповідає номінальному моменту M_n , двигуна і номінальній швидкості ω_n , двигун розвиває максимальну потужність. Кутова швидкість ω_c , при якій $M_p = 0$, називається синхронною і з цією швидкістю ротор обертається під час холостого ходу. Точка *a* діаграми визначає положення максимального перекидного моменту M_{max} мінімально допустимої кутової швидкості ω_{min} робочої частини характеристики, а т.О визначає початковий пусковий момент M_n при нульовій кутовій швидкості ротора. Умови роботи електродвигунів при низьких швидкостях обертання значно погіршуються.

4.4. МЕХАНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА



Механічна характеристика двигуна внутрішнього згоряння показана на рис.15.4 двома кривими, що виражають залежність моменту M , який розвивається на головному валу, і потужності N від швидкості ω .



4.5. ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕЖИМИ ДВИГУНА

Електродвигун постійного струму перетворює енергію постійного струму в механічну. Закріплений нерухомо статор з головними і додатковими полюсами, що мають обмотки, на обертовому валу двигуна закріплений якір має обмотку, і колектор. Щітки встановлені в щіткотримачах в статорі, концентрично колектору.

Властивості електродвигунів постійного струму залежать від способу включення обмотки збудження:

1. незалежний - харчування обмотки здійснюється додатковим джерелом, а обмотка якоря підключена до основного джерела і реостат регулює швидкість обертання, реостат пусковий обмежує струм якоря;
2. паралельний - в ланцюг обмотки включений реостат регульовальний, а в ланцюг якоря реостат пусковий, підключені до одного джерела, характеристика аналогічна способу незалежного включення;
3. послідовний - обмотки з обмоткою якоря включені послідовно, у способу м'яка характеристика, але не допускається застосування в пристроях з малими навантаженнями, холостим ходом, двигун необмежено збільшує обороти;
4. змішаний - обмотки попарно включені послідовно і паралельно з обмотками якоря, у способу м'яка характеристика і працює на холостому ході.

Двигуни влаштовані однаково відрізняються тільки включенням обмоток.

Швидкість двигуна регулюють, змінюючи напругу якоря, магнітний потік, величину опору в якорі. Режим гальмування застосовується нарівні з режимом руху для зменшення часу зупинки і реверсу, зниження швидкості обертання, виключення надмірного збільшення швидкості. Режими гальмування: генераторний, електродинамічний і противключення.

Переваги двигунів: простота, надійність, хороші параметри регулювання, створення великого моменту при пуску, робота в режимі генератора. Недоліки: висока вартість, потреба в незалежному джерелі живлення, обслуговування колекторно-щіткового вузла. Застосовуються в механізмах, де двигуни змінного струму не забезпечують виконання пропонованих вимог.

Електродвигуни послідовного способу включення і паралельного застосовують для механізмів відрізняються величиною пускового моменту. У підйомних механізмах та електротранспорті двигуни використовують послідовного способу включення, а механізмах включаються на холостому ході паралельного. Мікродвигуни, застосовувані в побутовій техніці та автоматичі, виробляють в основному послідовного включення, вони при включенні розвивають великий пусковий момент.

ТЕМА 5. БУДОВА ТА ПРИНЦИП ДІЇ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

5.1. АСИНХРОННИЙ ДВИГУН: НАВІЩО ПОТРІБЕН, ПРИНЦИП РОБОТИ, КОНСТРУКЦІЯ



Рисунок 5.1

Асинхронний двигун - це простий і надійний пристрій, здатний перетворити електричну енергію на механічну. Його винайшов інженер Доліво-Добровольський наприкінці 19 століття. Інтерес розробників різного обладнання та апаратури до цього пристрою постійно зростає, тому в статті ми розглянемо не тільки що таке асинхронний двигун, але і як він працює, з чого складається і які переваги має.

Асинхронний двигун: конструкція

Конструкція пристрою досить проста. Основні частини асинхронного двигуна такі:

- Статор має форму циліндра. Він збирається із листів сталі. У його осерді є пази, зміщені один до одного на 120° . В них укладається обмотка.
- Ротор. Буває короткозамкненим або фазним. У першому випадку ротором служить осердя, в якому стрижні з алюмінію закорочені торцевими ущільнювачами. Фазний ротор складається із 3-ох фазної обмотки. Пристрій із

фазним ротором завжди трифазний, а з короткозамкненим ротором виділяють 3 види асинхронних двигунів – одно-, дво- та трифазні.

- Конструктивні елементи. Це деталі, які у конструкції асинхронного двигуна відповідають за виконання обертальних, охолоджуючих та захисних функцій.

Що означає асинхронний двигун та його принцип дії

Асинхронний - той, у якого в роботі відсутня синхронність, у якого при старті статична і рухлива частини при обертанні мають різну частоту магнітного потоку. Цей показник рухомого елемента менший, ніж нерухомого.

Розглянемо принцип роботи асинхронного двигуна на прикладі: достатньо взяти постійний магніт і почати обертати його навколо своєї осі на невеликій відстані від диска з міді. Незабаром диск починає обертання, слідуючи за магнітом. Така поведінка диска пояснюється тим, що через магніт, що обертається поблизу, в ньому з'являються струми Фуко, які рухаються по замкнутому контуру. Це струми короткого замикання, що нагрівають металеву конструкцію. У диску з'являється власний магнітний потік, який починає взаємодіяти з полем магніту.

В асинхронному електродвигуні джерелом поля, що обертає, виступають обмотки статора. Під дією утвореного обмотками магнітного потоку в провідниках елемента, що обертається, формується електрорушійна сила. Коли магнітний потік статора починає взаємодіяти з індукованим струмом в обмотці частини, що обертається, з'являється електромагнітна сила. Вона починає обертати вал електродвигуна.

Щоб зрозуміти, як працює асинхронний двигун, представимо дії, що відбуваються в ньому, покроково:

Двигун запускається, і магнітний потік нерухомої частини перетинає контур елемента, що обертається, формуючи електрорушійну силу.

У короткозамкненому роторі утворюється змінний струм.

Під дією магнітних потоків нерухомої і обертової частини утворюється момент, що крутить.

Елемент, що обертається, прямує до поля нерухомої частини.

У певний момент у нерухомої і обертової частини двигуна збігається частота обертання магнітного потоку, тоді момент, що крутить, дорівнює 0, що призводить до згасання електромагнітних проявів в обертовому елементі двигуна.

Контур ротора починає відставати, магнітний потік статора починає збуджувати його.

Повільність ротора в порівнянні з магнітним полем статора і забезпечує несинхронну роботу електродвигуна.

Формування струму в роторі відбувається безконтактно, тому не потрібно встановлювати у пристрої ковзні контакти. Ця особливість електродвигуна робить його більш ефективним та надійним. Змінити напрям обертання мотора можна, змінивши фази на клеммах однієї з обмоток. Напрямок електромагнітної сили можна визначити за «правилом буравчика».

Переваги пристрою:

Головними достоїнствами асинхронних двигунів є простота їх конструкції та легкість використання. Також пристрій характеризує:

- Надійність та довговічність. Через безконтактну взаємодію між основними деталями пристрою вони рідко ламаються і не зношуються;
- Доступна ціна. Проста конструкція та недорога сировина для виробництва електродвигунів забезпечує низьку вартість обладнання;
- Простий принцип використання. Для роботи з асинхронним двигуном не потрібно мати спеціальні навички.
- Універсальність. Електродвигун асинхронного типу встановлюється практично у будь-яке обладнання.

Ці переваги пояснюють широке застосування асинхронних двигунів у всіх галузях промисловості та сферах людського життя.

5.2. БУДОВА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Магнітна система (магнітопровід) асинхронного двигуна складається із двох частин: зовнішньої нерухомої, що має форму порожнього циліндра і внутрішньої - обертового циліндра (рис. 5.2).

Обидві частини асинхронного двигуна збираються з аркушів електротехнічної сталі товщиною 0,5 мм. Ці аркуші для зменшення втрат на вихрові струми ізолюваний друг від друга шаром лаку.

Нерухлива частина машини називається статором, а обертова – ротором (від латинського stare – стояти й rotate – обертатися).

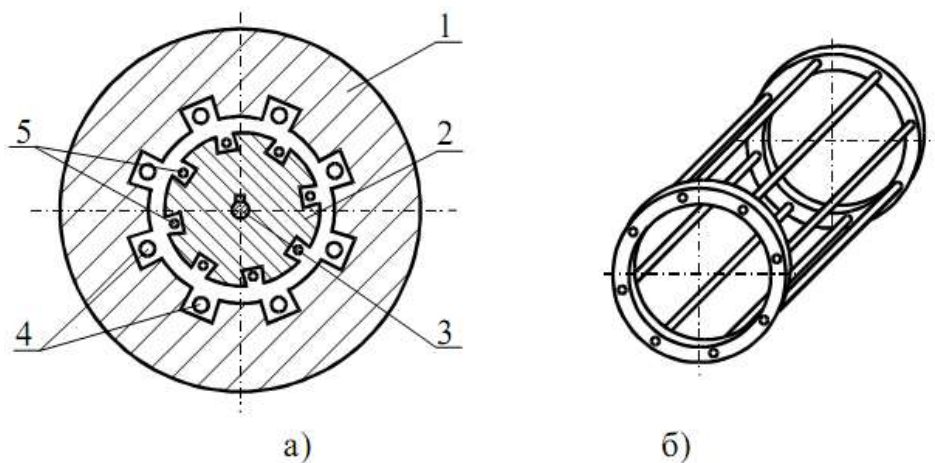


Рисунок 5.2 - Схема пристрою асинхронного двигуна:

поперечний розріз (а); обмотка ротора(б)

1 - статор; 2 - ротор; 3 - вал; 4 - витки обмотки статора;

5 - витки обмотки ротора

У пазах із внутрішньої сторони статора покладена трифазна обмотка, струми якої збуджують обертове магнітне поле машини. У пазах ротора розміщена друга обмотка, струми в якій індукуються обертовим магнітним полем.

Магнітопровід статора укладений у масивний корпус, що є зовнішньою частиною машини, а магнітопровід ротора укріплений на валу.

Ротори асинхронних двигунів виготовляються двох видів: короткозамкнені й з контактними кільцями. Перші з них простіші по будові пристрою й частіше застосовуються.

Обмотка короткозамкненого ротора являє собою циліндричну клітку («біляче колесо») з мідних шин або алюмінієвих стрижнів, замкнених накоротко на торцях двома кільцями (рис. 5.2, б). Стрижні цієї обмотки вставляються без ізоляції в пази магнітопроводу.

Застосовується також спосіб заливання пазів магнітопроводу ротора розплавленим алюмінієм з одночасною відливкою і замикаючих кілець.

5.3. ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Швидкість обертання обертового магнітного поля визначається або кутовою частотою ω , або числом обертів n у хвилину. Ці дві величини зв'язані формулою

$$n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} \quad (7.6)$$

Характерною величиною є відносна швидкість обертового магнітного поля, називана *ковзанням*

$$s = \frac{\omega - \omega_p}{\omega} \text{ або } s = \frac{n - n_p}{n},$$

де ω_p - кутова частота ротора, рад/с;

n_p - число обертів у хвилину, об/хв.

Чим ближче швидкість ротора n_p до швидкості обертового магнітного поля n , тим менше ЕРС, що індукуються полем у роторі, а, отже, і струми в роторі.

Убування струмів зменшує обертаючий момент $M_{вр}$, що впливає на ротор, тому ротор двигуна повинен обертатися повільніше обертового магнітного поля - асинхронно.

При збільшенні механічного навантаження асинхронного двигуна гальмуючий момент на валу стає більше обертаючого й ковзання s зростає.

Збільшення ковзання викликає зростання ЕРС і струмів в обмотці ротора, завдяки чому збільшується обертаючий момент $M_{вр}$ і відновлюється динамічна рівновага обертаючого $M_{вр}$ и гальмуючого $M_{т}$ моментів:

$$M_{вр} = M_m = M.$$

Таким чином, збільшення навантаження асинхронного двигуна викликає збільшення його ковзання.

У сучасних асинхронних двигунів ковзання навіть при повному навантаженні відносно невелике - близько 0,04 (чотири відсотки) у малих і близько 0,015-0,02 (півтора-два відсотки) у великих двигунів.

Характерна крива залежності M від ковзання S показана на рис. 5.2,а.

Максимум обертового моменту розділяє криву $M = f(S)$ на стійку частину від $S = 0$ до S_k і нестійку частину від S_k до $S = 1$, у межах якої обертаючий момент зменшується з ростом ковзання.

На ділянці від $S = 0$ до S_k при зменшенні гальмуючого моменту M_m на валу асинхронного двигуна збільшується швидкість обертання, ковзання зменшується, так що на цій ділянці робота асинхронного двигуна стійка.

На ділянці від S_k до $S = 1$ зі зменшенням M_m швидкість обертання збільшується, ковзання зменшується й обертаючий момент збільшується, що приводить до ще більшого зростання швидкості обертання, так що робота двигуна нестійка.

Таким чином, поки гальмуючий момент $M_m < M_{max}$, динамічна рівновага моментів автоматично відновлюється. Коли ж $M_m > M_{max}$, при подальшому збільшенні навантаження зростання ковзання приводить до зменшення обертового моменту M і двигун зупиняється внаслідок переваги гальмуючого моменту над обертаючим.

Для практики велике значення має залежність швидкості двигуна n_p від навантаження на валу $n_p = F(M)$. Ця залежність зветься *механічною характеристикою* (рис. 5.3,б).

Як показує крива малюнка 5.3,б, швидкість асинхронного двигуна лише незначно знижується при збільшенні обертаючого моменту в межах від нуля до максимального значення M_{max} . Таку залежність називають жорсткою.

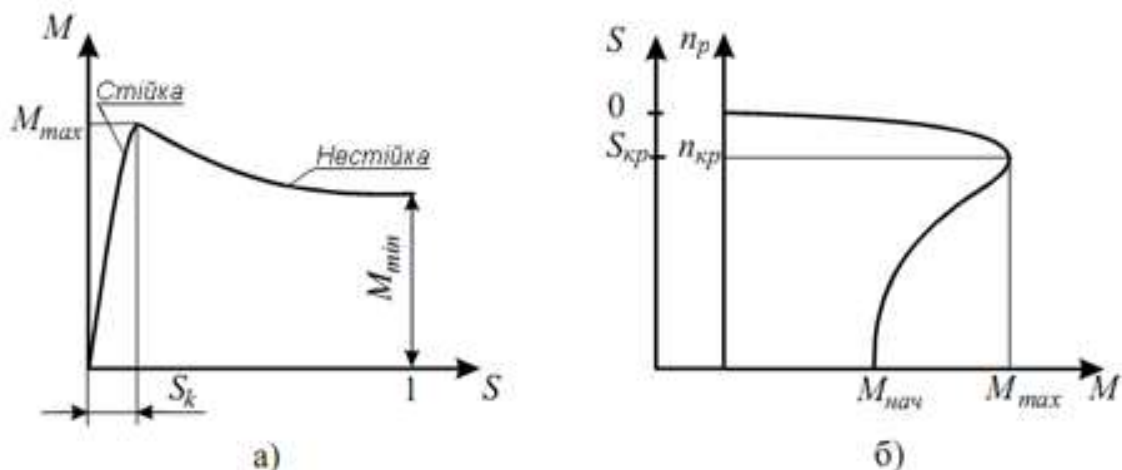


Рисунок 5.3 - Залежність обертаючого моменту на валу асинхронного двигуна від ковзання (а) і механічна характеристика (б)

Механічна характеристика асинхронного двигуна може бути представлена як залежність $M(s)$:

$$M = \frac{2M_{max}}{\frac{s}{s_{kp}} + \frac{s_{kp}}{s}}, \quad (7.7)$$

При перевантаженні понад максимальний момент M_{max} двигун входить в область нестійкого режиму й зупиняється.

Асинхронні двигуни одержали широке поширення завдяки наступним достоїнствам:

- простоті пристрою;
- високої надійності в експлуатації;
- низької вартості.

За допомогою асинхронних двигунів приводяться в рух підйомні крани, лебідки, ліфти, ескалатори, насоси, вентилятори й інші механізми.

Як недоліки асинхронних двигунів слід зазначити таке:

- струм при пуску асинхронного двигуна в 5-7 разів перевищує струм у номінальному режимі $I_n = (5-7)I_n$;
- пусковий обертаючий момент відносно моменту в номінальному режимі незначно більший $M_n = (1,2 - 1,6)M_n$;
- регулювання швидкості обертання ротора утруднено.

5.4 ПРИНЦИП ДІЇ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Помістимо між нерухомими котушками (рис. 5.4) в області обертового магнітного поля укріплений на осі рухливий металевий циліндр - ротор.

Нехай магнітне поле обертається «за годинниковою стрілкою», тоді циліндр щодо обертового магнітного поля обертається у зворотному напрямку.

З огляду на це, за правилом правої руки знайдемо напрямки наведених у циліндрі струмів.

На рис. 7.4 напрямки наведених струмів (уздовж утворюючої циліндра) показані хрестиками («від нас») і крапками («до нас»).

Застосовуючи правило лівої руки (рис. 5.4, б) одержуємо, що взаємодія наведених струмів з магнітним полем породжує сили F , що приводять в обертовий рух ротор у тім же напрямку, у якому обертається магнітне поле.

Частота обертання ротора ω_p менша від частоти обертання магнітного поля ω , тому що при однакових кутових швидкостях відносна швидкість ротора й обертового магнітного поля дорівнювала б нулю і в роторі не було б наведених ЕРС і струмів. Отже, не було б сил F , що створюють обертаючий момент. Розглянутий найпростіший пристрій пояснює принцип дії *асинхронних двигунів*. Слово «асинхронний» (грецькою) означає неодноразовий. Цим словом підкреслюється розходження в частотах обертового магнітного поля й ротора - рухомої частини двигуна.

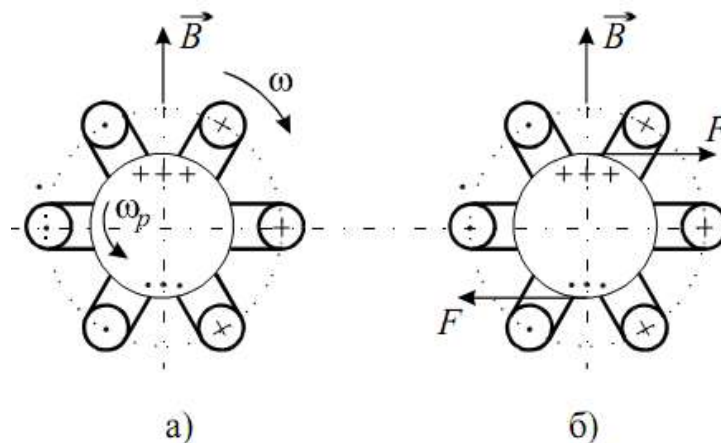


Рисунок 5.4. До принципу дії асинхронного двигуна

Обертове магнітне поле, створюване трьома котушками, має два полюси й називається двухполюсним обертовим магнітним полем (одна фаза полюсів). За один період синусоїдального струму двухполюсне магнітне поле робить один оберт. Отже, при стандартній частоті $f=50$ Гц це поле робить три тисячі обертів у хвилину. Швидкість обертання ротора дещо менша від цієї синхронної швидкості.

У тих випадках, коли потрібний асинхронний двигун з меншою швидкістю, застосовується багатополюсна обмотка статора, яка складається із шести, дев'яти й т.д. котушок. Відповідно обертове магнітне поле буде мати дві, три й т.д. пари полюсів.

У загальному випадку, якщо поле має p пар полюсів, то його швидкість обертання

$$n = \frac{60f}{p}, \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

ТЕМА 6. МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА РЕЖИМИ РОБОТИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

6.1. МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Ця характеристика, що являє собою графічну залежність $M = f(s)$ при $U_1 = \text{const}$ і $f_1 = \text{const}$, може бути побудована за рівнянням (11.26), якщо задатися різними (додатними і від'ємними) значеннями ковзання (рис. 11.7а). З рисунка видно, що момент досягає максимуму при деякому ковзанні $s_{кр} \gg 0,15, 0,3$, що називається *критичним*. Форма кривої $M = f(s)$ вказує на те, що асинхронний двигун може стійко працювати тільки в діапазоні ковзань від $s = 0$ до $s = s_{кр}$, коли момент збільшується з ковзанням від $M = 0$ до $M = M_{\max}$. Після перевищення критичного ковзання момент зменшиться і двигун неминуче повинен зупинитися. Таким чином, асинхронний двигун має границю по навантаженню, що визначає максимум обертового моменту.

Варто пам'ятати, що в діапазоні великих ковзань ($s > s_{кр}$), згідно рівнянь (11.5) і (11.20), різко збільшуються втрати у сталі і обмотці ротора в порівнянні з номінальним режимом. Теплота, що при цьому виділяється, може призвести до несправності двигуна, навіть до виплавлення "білчиної клітки" ротора.

Рис. 11.7. Механічні характеристики асинхронної машини

Максимальне значення моменту (критичне ковзання) можна визначити, взявши похідну від моменту (11.26) по ковзанню і прирівнявши до нуля, тобто $dM / ds = 0$. В результаті цієї звичайної математичної операції отримаємо

$$s_{кр} = \pm \frac{r_2 \phi}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2 \phi)^2}} \quad (11.27)$$

У звичайних електричних машинах $r_1 \ll (x_1 + x_2 \phi)$; тому, нехтуючи величиною r_1 отримуємо

$$s_{кр} \gg \pm \frac{r_2 \phi}{x_1 + x_2 \phi} = \pm \frac{r_2 \phi}{x_k} \quad (11.27б)$$

Де $x_k = x_1 + x_2 \phi$ - один з параметрів короткого замикання за (8.28в)

Значення максимального моменту визначимо за (11.26), підставляючи значення $s_{кр}$ з (11.27б) і приймаючи $r_1 = 0$:

$$M_{\max} = \pm \frac{pm_1 U_1^2}{2w_1 x_k} = \pm \frac{pm_1 U_1^2}{4p f_1 x_k} \quad (11.28)$$

де знак "+" відноситься до режиму двигуна, "-" до режиму генератора.

З рівняння (11.28) видно, що максимальний момент залежить лише від конструктивних параметрів двигуна, (величини x_k) і в процесі експлуатації не може бути змінений. Активний опір кола ротора за (11.27) визначає тільки значення $s_{кр}$ при $M_{\max}$.

Відношення максимального моменту до номінального називається коефіцієнтом перевантажувальної здатності; звичайно

$$k_M = M_{\max} / M_{\text{ном}} = 1,8 \text{ , } 2,5$$

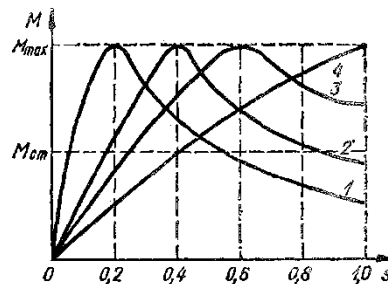
В момент запуску $s=1$; тому значення $M_{\text{ном}}$ можна отримати, підставивши це значення ковзання асинхронного двигуна в загальноприйнятій функції $n=f(M)$ побудована на рис. 11.76 із залежності $M=f(s)$, так як і пов'язані між собою виразом (11.3). Суцільною лінією зображена робоча частина характеристики.

Як бачимо, при збільшенні навантаження навалі, частота обертання двигуна зменшується. За своїм виглядом робоча частина характеристики аналогічна механічній характеристиці двигуна постійного струму паралельного збудження.

Якщо навантаження на валу збільшиться до $M_{\max}$, то двигун може перейти на постійну (штрихову) частину характеристики, де одночасно почне зменшуватися і обертальний момент, що розвиває двигун, і частота обертання аж до зупинки двигуна.

6.2 ЗАПУСК В ХІД АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Запуск двигунів в хід має бути простим, при найбільшому можливому пусковому моменті і найменшому пусковому струмі. Практично використовують три таких способи:



1. безпосереднє підключення статора до мережі (прямий запуск);
2. зниження напруги, що підводиться до статора при запуску;
3. ввімкнення в коло ротора пускового резистора.

Прямий пуск застосовують для двигунів з короткозамкненим ротором. Двигун автоматично розганяється згідно механічної характеристики (див. рис. 11.7) від точки, що відповідає $M_{\text{зоп}}$, то точки на робочій характеристиці, в якій встановлюється рівновага моментів [див. вираз (7.6)].

Рис.11.8. Механічні характеристики асинхронного двигуна при різних опорах кола ротора

Відношення моментів $M_{\text{зоп}} / M_{\text{ном}} = k_n$ називають *кратністю початкового пускового моменту*. Для двигунів потужністю до 100 кВт $k_n = 1, 2$; потужністю більше 100 кВт $k_n = 0,7, 1$.

Недоліком прямого запуску є порівняно невелике значення k_n і надзвичайно великий стрибок пускового струму, що в 5-7 разів перевищує $I_{\text{ном}}$.

Запуск при зниженій напрузі застосовують з метою зменшення стрибка пускового струму. Для цього на період запуску в коло статора вмикають реактор, на якому спадає частина напруги, пропорційна пусковому струмові, або знижують напругу за допомогою автотрансформатора.

Застосовують також перемикання обмотки статора при запуску з робочої схеми "трикутник" (D) на пускову схему "зірка" (Y). При ввімкненні статора по схемі Y напруга, що подається на фази обмотки зменшується в $\sqrt{3}$ разів, що обумовлює таке зменшення фазних струмів, а лінійних - в три рази. Останнє дуже важливо для системи електропостачання. Слід пам'ятати, що згідно (11.26), зниження фазної напруги в $\sqrt{3}$ рази зменшує момент запуску у $(\sqrt{3})^2$ рази.

Ввімкнення в коло ротора пускового резистора можливе при запуску двигуна з фазним ротором (див. рис. 11.1). З виразу (11.27б) видно, що при збільшенні активного опору кола ротора, росте значення $s_{\text{кр}} = 1$, тобто максимум моменту, залишаючись незмінним за значенням настає при великих ковзаннях. Підібравши таке значення опору пускового резистора r_p , щоб, згідно (11.27б), $r_p + r_2 \gg x_k$, можна отримати $s_{\text{кр}} = 1$, тобто двигун при запуску розвине максимальний момент. Збільшення опору кола ротора, як видно з виразу (11.12), зменшить повний пусковий струм.

Фізичне пояснення цьому, здавалося б, парадоксальному явищу (струм зменшується, а момент зростає) впливає з виразу (11.23). Резистор хоч і зменшує повний струм, але збільшує його активну складову, оскільки

збільшується активна складова опору Z_2 кола ротора; дійсно, $Z_2 = \sqrt{r_2^2 + x_2^2}$, з резистором $Z_{2p} = \sqrt{(r_2 + r_2') + x_2^2}$.

Механічні характеристики двигуна при різних опорах ротора зображені на рис. 11.8. Тут характеристика з більшим порядковим номером відповідає більшому опорі кола ротора. Для кривої $4s_{кр} = 1 \cdot M_{доп} = M_{мах}$ Виводячи сходинокми пусковий реостат, переходять на характеристики 3, 2, поки не вийдуть на звичайну характеристику 1. Після цього щітки піднімають з кілець, а обмотка ротора закорочується.

Асинхронні двигуни одержали широке поширення завдяки наступним достоїнствам:

- простоті пристрою;
- високої надійності в експлуатації;
- низької вартості.

За допомогою асинхронних двигунів приводяться в рух підйомні крани, лебідки, ліфти, ескалатори, насоси, вентилятори й інші механізми.

Як недоліки асинхронних двигунів слід зазначити таке:

- струм при пуску асинхронного двигуна в 5-7 разів перевищує струм у номінальному режимі $I_n = (5-7)I_n$;
- пусковий обертаючий момент відносно моменту в номінальному режимі незначно більший $M_n = (1,2 - 1,6)M_n$;
- регулювання швидкості обертання ротора утруднено.

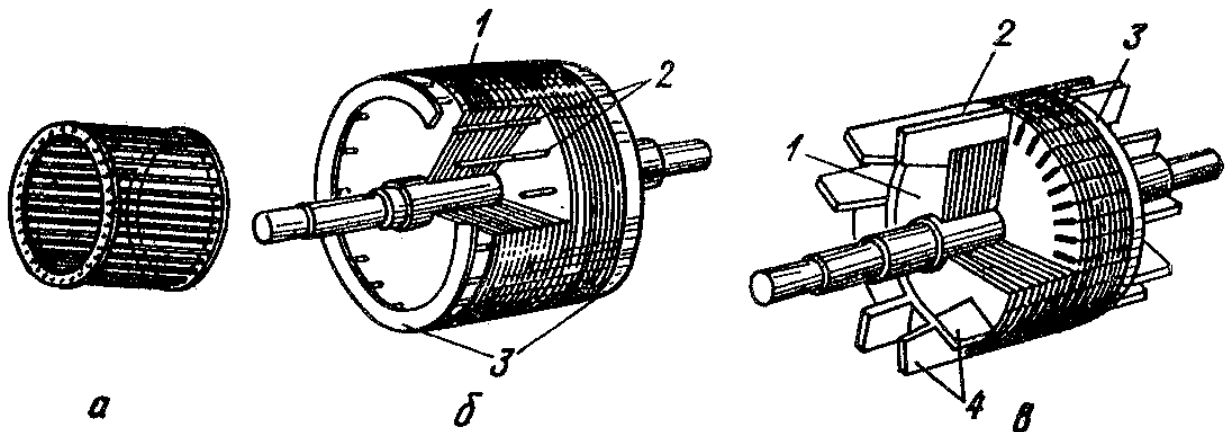


Рис. 11.3. Асинхронна машина з короткозамкненим ротором (а) і схема її ввімкнення (б)

Рис.11.4. Конструкція короткозамкненого ротора

6.3. РЕЖИМИ РОБОТИ АСИНХРОННИХ МАШИН

Режим двигуна. Цей режим є основним. В момент запуску, коли $n=0$, згідно (11.2), $s=1$. Якщо б після запуску ротор досяг синхронної частоти обертання $n=n_1$, то ковзання дорівнювало б нулю. Таким чином діапазони частот обертання і ковзання асинхронного двигуна такі:

$$0 < n < n_1; 0 < s < 1$$

Ковзання, що відповідає номінальному навантаженню двигуна, називається номінальним ковзанням. Практично $s_{ном} = 0.01, 0.03$, лише у малих і спеціальних (наприклад тягових) машинах

номінальне ковзання $s_{ном} = 0.05, 0.07$.

При нерухомому (загальмованому) роторі ($n=0$) асинхронна машина нічим не відрізняється від трансформатора. В роторі, як і у вторинній обмотці трансформатора, індукується ЕРС E_2 , що має частоту мережі f_1 . Якщо ж ротор обертається з частотою n , то частота обертання магнітного потоку Φ відносно ротора згідно (11.1) і (11.2) буде

При $s_{ном} = 0.01, 0.03$ в роторі протікає струм I_2 , частота, якого $f_2 = f_1 s = 50(0.01, 0.03) = 0.5, 1.5$ Гц. Враховуючи те, що частота мала, втрати в сталі при $s_{ном}$ приймають рівними нулю.

Струм в багатофазній обмотці ротора викликає появу магнітного поля, що обертається, яке відносно самого ротора, згідно (10.5), буде обертатися зі швидкістю $\omega_2 = 2p f_2 = 2p p n_2$. Але через те, що ротор обертається в просторі з частотою n , то поле ротора відносно будь-якої нерухомої точки простору буде обертатися з частотою $n_2 + n$. Беручи до уваги вираз (11.4) отримаємо

$$n_2 + n = n_1 s + n = n_1 \frac{n_1 - n}{n_1} + n = n_1$$

Отже, поле ротора обертається в просторі синхронно з полем статора, тобто ці поля нерухомі одне відносно одного і утворюють загальне поле, що обертається.

Режим генератора. Приклавши до валу ротора зовнішній обертальний момент, ротор можна, привести в обертання-в напрямі обертання поля статора з частотою, вищою від синхронної. У цьому випадку ротор буде переганяти поле статора, а напрям ЕРС і активної складової струму ротора у порівнянні з режимом двигуна зміниться на зворотне. Значить, зміниться на зворотній і

напряг електромагнітного моменту, котрий стане тепер гальмівним, а машина почне працювати в режимі генератора, віддаючи енергію в мережу.

Частота обертання ротора, при цьому теоретично може як завгодно великою. Отже, асинхронна машина, працюючи як генератор, характеризується такими діапазонами частот обертання і ковзання:

$$n_1 < n < \omega; -\omega < s < 0$$

Не дивлячись на виключну простоту і дешевизну асинхронних машин, а також дуже просте переведення їх в режим генератора, асинхронні генератори застосовуються рідко.

Справа в тому, що як і трансформатор, асинхронна машина, споживає з мережі індуктивний струм намагнічування, а оскільки цей струм через наявність повітряного проміжку, що чинить магнітному потокові значний опір, дуже великий: він може досягати 30-40 % номінального струму машини. Значить, на три асинхронних генератора потрібний один синхронний, що дорівнює їх за потужністю, який забезпечував би перші струмом намагнічування. Можливо і самозбудження асинхронних генераторів, коли до затискачів статора під'єднується батарея конденсаторів. Але вони дорогі і мають великі розміри. Останнім часом, у зв'язку з появою малогабаритних конденсаторів, асинхронні машини використовують на маленьких електростанціях, які використовують енергію вітру.

Режим електромагнітного гальма. Якщо нерухомий ротор почати обертати в напрямі, зворотному напрямові обертання поля статора, то виникає електромагнітний момент, що діє в напрямі обертання поля статора. Він буде гальмувати ротор, що обертається проти поля.

Такий режим отримаємо, наприклад, коли під дією сили тяжіння вантаж, що висить на гаку крана, примусить обертатися проти поля ротор кранового двигуна. Те саме станеться, коли в асинхронному двигуні, що обертається "перекинути" виводи обмотки статора, змінити напрям обертання поля, тобто здійснити протилежне ввімкнення. Ротор може бути приведений в рух "проти поля" з будь-якою великою частотою.

Отже, в режимі електромагнітного гальма асинхронна машина працює при

$$-\omega < n < 0; 1 < s < +\omega$$

Тому частота струму в роторі $f_2 = f_1 s > f_1$ значить надзвичайно великі втрати у сталі; дуже значний також і струм I_2 . В режимі електромагнітного гальма асинхронна машина, з короткозамкненим ротором може працювати дуже короткий час. В коло фазного ротора для обмеження струму вмикають додатковий резистор.

ТЕМА 7. РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ АСИНХРОННОГО

7.1 РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Підставивши у вираз значення синхронної частоти обертання n і ковзання s , отримаємо формулу

$$n = \frac{f_1}{p} \left(1 - \frac{P_{m2}}{P_{em}}\right)$$

з якої випливає три принципово можливих способи регулювання n : зміною частоти f_1 напруги живлення, кількості пар полюсів p і електричних втрат P_{m2} у колі ротора (ввімкненням резистора в коло ротора).

Частотне регулювання вимагає застосування спеціальних джерел живлення зі змішаною частотою. Швидкий розвиток напівпровідникової техніки робить цей спосіб регулювання більше і більше поширеним. Особливо важливе значення таке регулювання має для тягового електроприводу, бо плавне безступінчатє регулювання частоти f_1 дає можливість так само плавно змінювати частоту обертання двигуна n , а значить, і швидкість руху екіпажу.

Однак частотне регулювання зводиться не тільки до зміни частоти f_1 ; одночасно вимагається і зміна значення напруги живлення U_1 . Закони її зміни можуть бути різними в залежності від властивостей, котрі хочуть надати двигуну, а причини необхідності регулювання пояснюються далі.

Індуктивний опір короткого замикання $x_k = \omega L_k = 2\pi f_1 L_k$, і формула набере вигляду

$$M_{с_{\max}} = \pm \frac{pm_1 U_1^2}{8p^2 f_1^2 L_k} = \pm_{\max} \frac{U_1^2}{f_1^2} \quad (11.30)$$

Де $c_{\max} = pm_1 / (8p^2 L_k)$ - стала.

З (11.30) випливає, що при зміні f_1 одночасно з частотою обертання змінюється величина $M_{\max}$, тобто коефіцієнт перевантажувальної здатності k_m . Наприклад, при підвищенні швидкості руху електровозу у 1,41 рази у стільки ж збільшується і частота f_1 ; тоді при незмінному значенні U_1 максимальний момент зменшується у $(1,41)^2 = 2$ рази, що може виявитися неприпустимим по умовах стійкої роботи двигуна.

Зміна частоти f_1 при незмінному значенні U_1 призводить до змін в оберненій пропорційності магнітного потоку Φ , що видно з формули (10.2),

оскільки $U_1 \gg E_1$. Це є неприпустимим, бо при збільшенні потоку викличе сильне насичення магнітного кола і ріст намагнічування індуктивного струму, а зменшення Φ призведе до недовикористання машини, зниження як вже було сказано, її перевантажувальної здатності.

Основний закон регулювання частоти виражений М. П. Костенко такою формулою:

$$\frac{U_1}{U_{1ном}} = \frac{f_1}{f_{1ном}} \sqrt{\frac{M}{M_{ном}}} \quad (11.31)$$

де U_1, f_1 і M - поточні значення напруги, частоти і обертового моменту.

Наприклад, якщо при частотному регулюванні необхідно мати $M = M_{ном}$, то вираз (11.31) дістає, вигляд $U_1 / f_1 = U_{1ном} / f_{1ном} = const$, тобто при зміні частоти f_1 треба пропорційно змінювати і напругу U_1 .

Формула (11.31) дозволяє визначити взаємозалежність U_1 і f_1 при будь-яких умовах, що вимагаються.

Регулювання зміною кількості пар полюсів застосовується у двигунах з короткозамкненим ротором, бо при цьому достатньо обійтися тільки перемиканням обмотки статора. Якщо на статорі укласти обмотку, що допускає перемикання кількості пар полюсів у відношенні 1:2, то отримаємо двошвидкісну машину.

Іноді на статорі вкладають дві обмотки, котрі перемикаються. Тоді отримуємо чотиришвидкісну машину. Наприклад, двигун з двома обмотками, котрі перемикаються на $p=2$ і $p=4$, $p=3$ і $p=6$ при $f_1 = 50$ Гц має синхронну частоту обертання 1500/1000/750/500 об/хв.

Багатошвидкісні двигуни більші за розмірами, масою і вартістю у порівнянні з двигунами нормального виконання; регулювання частоти їх обертання обмежене, як правило, чотирма ступенями.

Регулювання ввімкненням резистора в коло ротора можливе тільки в двигунах з фазним ротором. При збільшенні опору резистора збільшуються втрати r_{m2} і, згідно (11.29), частота обертання знижується. При заданому статичному моменті $M_{ст}$ відбувається перехід з характеристики 1 на характеристику 2, 3 тощо із збільшенням ковзання (див. рис. 11.8).

Цей спосіб дозволяє змінювати частоту обертання у широких межах, але він пов'язаний з великими втратами енергії у регулювальному резисторі.

7.2 НАВАНТАЖУВАЛЬНІ ДІАГРАМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

Навантажувальна діаграма ЕП характеризує залежність у часі обертового моменту, струму або потужності, що розвиває двигун.

Навантажувальні діаграми використовуються для оцінювання перевантажувальної здатності ЕП, співставлення її з допустимими короточасними навантаженням для конкретного типу ЕД, а також для перевірки попереднього вибраного двигуна за нагріванням.

Навантажувальна діаграма ураховує статичні й динамічні навантаження, які долає ЕП протягом циклу роботи механізму

Статичні навантаження визначаються на підставі технологічних даних, що характеризують роботу того чи іншого класу виконавчих механізмів, а динамічні навантаження оцінюються інерційними моментами, які розвиваються ЕП для забезпечення відповідних кутових прискорень, які забезпечують задані параметри технологічному процесу, або механізму.

Навантажувальні діаграми доцільно розглядати для конкретних типових механізмів, наприклад, електропривода шахтного підіймача зі зрівноваженням канатом.

Кінематична схема його подана на рисунку 6.6.

Підіймач укомплектований урівноваженням канатом, шківом тертя, двома клітьми та двома напрямними шківками. Канат закріплений своїми кінцями з клітьми й охоплює приводний й обидва напрямних шківки.

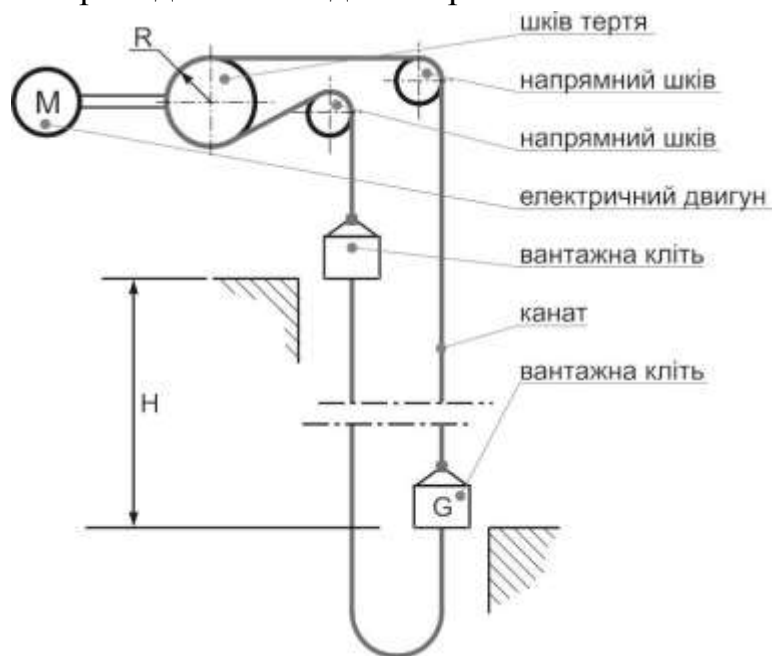


Рисунок 6.6 – Кінематична схема шахтного підіймача зі зрівноваженням канатом

На рисунку прийняті такі умовні позначення:

R – радіус шків тертя;

G – вантаж;

H – висота підіймання.

Побудова навантажувальної діаграми (рисунок 6.7) полягає в наступному. У відповідності до технологічного процесу та параметрів механічного обладнання, а також відповідно з продуктивністю підіймача задається наближена діаграма швидкості (тахограма) одного циклу роботи підіймача й наближена діаграма прискорення

$$v = f(t) ,$$

- лінійна швидкість кліті, $\frac{m}{c}$;

$$\varepsilon = f(t) ,$$

ε - кутове прискорення, $\frac{1}{c^{-2}}$.

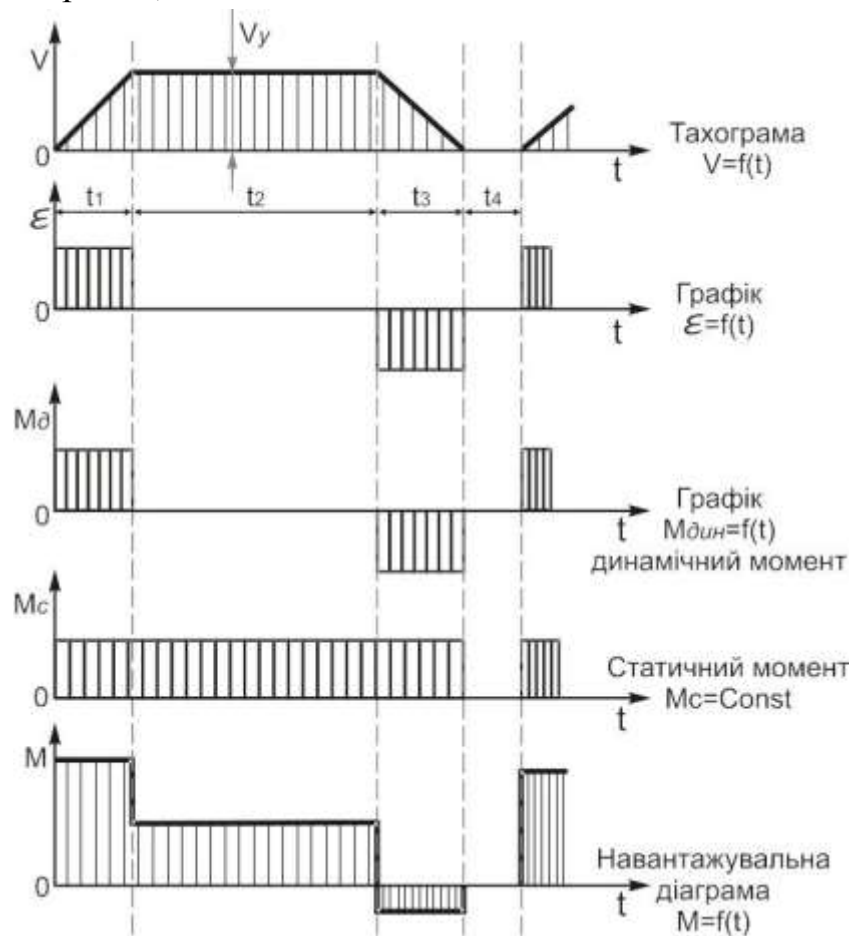


Рисунок 6.7 - Побудова навантажувальної діаграми

Тахограма передбачає час кутового прискорення t_1 , тривалість усталеного режиму t_2 з усталеною швидкістю V_y , час кутового сповільнення t_3 й час паузи між сусідніми підніманнями t_4 усі $[c]$.

Графіку швидкості відповідає графік кутового прискорення й сповільнення, значення яких постійні за величиною та різні за знаком

відповідно на ділянках γ . На ділянках пуску й гальмування складові динамічного моменту дорівнюють

$$M_{\text{дин}} = J^{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} \left[\kappa_2 \cdot M^2 \cdot c^{-2} = \frac{\kappa_2 \cdot M}{c^2} \cdot M = H \cdot M \right],$$

де $J^{\Sigma} [\kappa_2 \cdot M^2]$ - зведений до вала момент інерції рухомої частини ЕП.

Далі визначається статичний момент навантаження зведений до вала двигуна:

$$M_c = F_c R \cdot \frac{1}{\eta},$$

де F_c - статичне зусилля на обводу шківа, H ;

- радіус шківа тертя, M ;

η - к.к.д. передач.

Зусилля тяжіння клітей та каната не враховується, бо вони зрівноважені.

Тоді орієнтовно потужність двигуна буде розрахована:

$$P = \frac{\kappa_3 \cdot F_c \cdot V_y}{\eta} \cdot 10^{-3} [\text{кВт}],$$

де $\kappa_3 = 1,2-1,3$ – коефіцієнт запасу, що враховує вплив динамічних моментів;

$[]$ - усталена швидкість підіймача за значенням якої у відповідності до рівняння

$$V_y = \omega \cdot R$$

визначається кутова швидкість двигуна (оскільки підіймач відноситься до 1-го класу виконавчих механізмів, для яких $M_c = \text{Const}$).

Нарешті останній графік

$$M = f(t)$$

є навантажувальною діаграмою ЕП, яка одержана складанням статичного з динамічним моментів у відповідності до рівняння руху

$$M = M_c + M_d.$$

Таким чином, навантажувальна діаграма

$$M(t) = M_c + M_d(t)$$

у залежності від співвідношення статичного й динамічного моментів на ділянці уповільнення ЕП може мати, або додатне, або від'ємне значення.

ТЕМА 8. БУДОВА ТА ПРИНЦИП ДІЇ СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

8.1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Електродвигуни можна розділити на дві основні категорії - синхронні і асинхронні (індукційні) двигуни. Ці два види досить сильно відрізняються один від одного. Різниця вже видно в самих назвах. Відрізнити агрегати можна по вибитому на табличці кількості оборотів (якщо там немає тип мотора), у асинхронном мотора неокруглённое число (наприклад, 950 об / хв), у синхронного округлене (1000 об / хв).

Є й інші важливі відмінності, в цій статті ми розглянемо найбільш показові з них: конструктивні, робочі та цінові.

Будь-двигун складається з двох елементів: нерухомого і обертового. Статор має осьові прорізи - пази, на дно яких укладаються струмонесучі мідні або алюмінієві проводки. У електродвигуна на валу кріпиться ротор з обмоткою збудження.

У синхронних моделей при малих потужностях вони являють собою постійні магніти.



Змінна напруга подається на обмотку статора, ротор підключається до постійного джерела живлення. Проходить по обмотці збудження постійний струм наводить магнітне поле статора. Крутний момент створюється з-за рогу запізнювання між полями. Ротор має таку ж швидкість, як і магнітне поле статора.

Асинхронні моделі - це досить недорогі двигуни, які застосовуються часто і всюди. Вони простіше в конструктивному плані, незважаючи на те, що нерухомі частини в принципі у всіх моторів схожі.

За обмотці статора пропускається змінний електрострум, який взаємодіє з роторної обмотки. Два поля обертаються з однаковою швидкістю в одному напрямі, але не можуть бути рівними, інакше б не створювалася

індуцирована ЕРС і, тим більше що крутиться момент. Це стає причиною виникнення індукованого струму в обмотці роторі, напрямок якого згідно з правилом Ленца таке, що він схильний протистояти причини свого виробництва, т. Е. Швидкості ковзання.

Швидкість обертання ротора не збігається зі швидкістю магнітного поля, вона завжди менше. Таким чином, ротор намагається наздогнати швидкість обертового магнітного поля і зменшити відносну швидкість.

8.2 ОСНОВНІ ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ

Асинхронні агрегати не потребують будь-якого додаткового джерела живлення. Синхронним необхідне додаткове джерело постійного струму для подачі напруги на обмотки.

Сінхроннікі мають відносно невисокою чутливістю до перепадів напруги і стабільністю обертання незалежно від навантаження.

Індукційні двигуни не вимагають наявності контактних кілець, за винятком двигунів з фазним ротором, які їх мають для плавного пуску або регулювання швидкості. У синхронних двигунах більше вразливих місць, так як використовуються контактні кільця зі щітками. Отже, деталі швидше зношуються і контакт між ними слабшає.

Сінхроннікі потребують допоміжних пускових механізмів, так як не володіють функцією самопуску. Для індукційних електродвигунів, що мають власні пускові моменти, такий механізм не потрібно.

8.3 ЯКИЙ АГРЕГАТ КРАЩЕ?

На завершення слід зазначити, що говорити, нібито один мотор кращий за інший, не можна. Однак, асинхронні моделі надійніше в експлуатації, відрізняються простотою конструкції. Якщо агрегати не перевантажувати, то їх тривалим терміном служби користувач може залишитися задоволеним.

Перевагою синхронної моделі є те, що можна легко встановити високий коефіцієнт потужності. Тому модель є набагато ефективнішою, але за ціною вона буде відповідно дорожче. Машини застосовуються в системах з необхідною потужністю 100 кВт і більше.

Перш ніж розглядати принцип дії синхронного двигуна, необхідно пам'ятати, що це електрична машина, яка працює на змінному струмі, у якій ротор обертається з частотою, яка дорівнює частоті обертання магнітного поля в повітряному прошарку.

Синхронний двигун складається з основних частин - якоря і індуктора. Зазвичай, його виконання зроблено таким чином, що якір розташований на статорі, а індуктор - на роторі, відділеному повітряним прошарком.

8.4 ПРИСТРІЙ СИНХРОННОГО ДВИГУНА

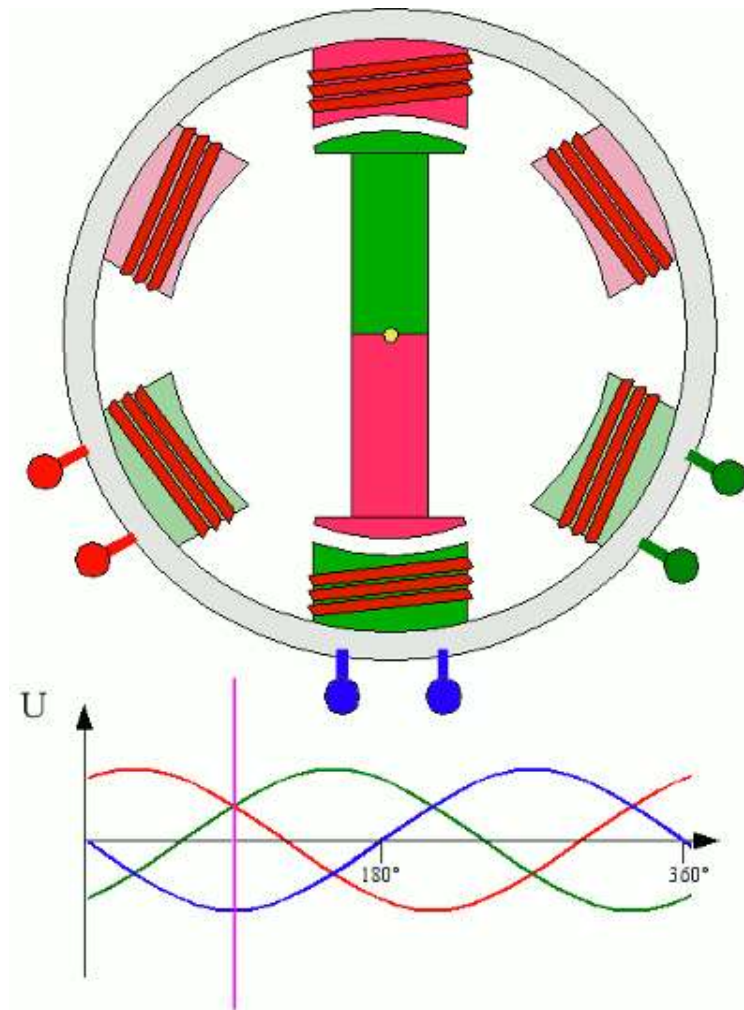
До складу якоря входять одна або кілька обмоток змінного струму. При роботі двигуна струми, що надходять в якір, призводять до обертання магнітного поля, пересічного з полем індуктора і перетворює енергію. Поле якоря носить іншу назву - поле реакції якоря. У генераторі таке поле створюється за допомогою індуктора.

До складу індуктора входять, звані полюсами. У всіх синхронних агрегатах індуктори бувають двох конструкцій - явнополюсная і не явнополюсная, що відрізняються розташуванням полюсів.

Щоб зменшити магнітне опір і поліпшити проходження магнітного потоку, використовуються феромагнітні сердечники, розташовані в роторі і статорі, для виготовлення яких використовується спеціальна електротехнічна сталь. Вона володіє цікавими властивостями, наприклад, підвищеним вмістом кремнію, з метою підвищення її електричного опору і зменшення вихрових струмів.

8.5 СИНХРОННИЙ ДВИГУН: ПРИНЦИП РОБОТИ

Принцип дії синхронного двигуна ґрунтується на взаємному впливі магнітних полів якоря і полюсів індуктора. При зверненої конструкції агрегату розташування якоря і індуктора виконано навпаки, тобто, перший розташований на роторі, а інший - на статорі. Такий варіант використовують кріогенні синхронні машини, у яких до складу обмоток збудження входять матеріали з властивостями надпровідності.



При запуску двигуна його розганяють до частоти близькою до тієї, з якою в зазорі обертається. Тільки після цього він переходить в синхронний режим. У даній ситуації відбувається перетин магнітних полів якоря і індуктора. Цей момент отримав назву входу в синхронізацію.

Як правило, при розгоні використовується стан асинхронного режиму, коли відбувається замикання обмоток індуктора за допомогою реостата або короткозамкненим шляхом, подібно асинхронним машинам. Для того, щоб здійснювати запуск в такому режимі, ротор оснащується короткозамкненою обмоткою, яка одночасно є заспокійливою обмоткою, здатної усунути розгойдування ротора під час синхронізації. Після того, як швидкість стає близькою до номінальної, в індуктор подається постійний струм.

Для двигунів, де встановлені постійні магніти, застосовуються спеціальні зовнішні розгінні двигуни.

Особливістю роботи двигуна є рівність швидкості обертання ротора і швидкості обертання магнітного потоку. Тому швидкість вала двигуна не залежить і не змінюється від величини підключається навантаження. Це досягається за рахунок того, що індуктор синхронного електродвигуна є електромагнітом, в деяких випадках постійним магнітом.

Кількість пар полюсів ротора однаково з числом пар полюсів у рухомого магнітного поля. Взаємна вплив цих полюсів дає можливість вирівнювання швидкості ротора. На валу в цей момент може бути будь-яка за величиною навантаження. Вона не впливає на швидкість обертання індуктора.

Конструктивні особливості та принцип роботи

Основними складовими частинами синхронного електродвигуна є: статор, який нерухомий, і ротор, іншими словами званий індуктором. Статор має іншу назву - якір, але від цього його суть не змінюється. Ці частини двигуна розділені прошарком повітря. Між пазами закладена трифазна обмотка, яка найчастіше має з'єднання з.

Коли двигун після запуску почав працювати, струми якоря утворюють рухається магнітне поле, його обертання дає перетин поля індуктора. В результаті такої роботи двох полів виникає енергія. Магнітне поле статора за своєю суттю є полем його реакції. В роботі генераторів таку енергію отримують за допомогою індукторів.

Полюсами є електромагніти статора, що працюють на постійному струмі. Статори синхронних двигунів можуть виконуватися за різними схемами: неявнополюсного, а також явнополюсної. Вони відрізняються становищем полюсів.

Для зниження магнітного опору і оптимізації умов проходження магнітного поля використовують сердечники з феромагнітного матеріалу. Вони знаходяться в роторі і якорі. Виробляються вони з електротехнічної сталі, яка містить велику кількість кремнію. Це дає можливість знизити вихрові струми і збільшити електричний опір сталі.

Довгий час для розгону мотора застосовували окремий пусковий

При досягненні ротором номінальної швидкості, до індуктора підключають постійний струм. Однак, для пуску моторів з постійними магнітами не обійтися без застосування пускових зовнішніх двигунів.

В кріогенних синхронних електродвигунах застосовується звернена конструкція. У ній якір і індуктор розміщені навпаки, індуктор знаходиться на статорі, а якір розташований на роторі. У таких машин збуджуючі обмотки складаються з двигун. Його з'єднували механічним шляхом з синхронним мотором. При запуску ротор двигуна прискорювався і досягав синхронної швидкості. Далі мотор самостійно втягувався в синхронне рух. При виборі потужності пускового двигуна керувалися 15% потужності від номіналу розганяється двигуна. Цього резерву потужності було досить для запуску синхронного двигуна, навіть при наявності невеликого навантаження.

Такий метод розгону більш складний, значно підвищує вартість обладнання. У сучасних конструкціях синхронні електродвигуни не мають

такої схеми розгону. Застосовують іншу систему розгону. Реостатом замикають обмотки індуктора по аналогії з асинхронним двигуном. Для запуску на ротор монтується короткозамкненою обмоткою, що є також і заспокійливою обмоткою, яка запобігає розгойдуванню ротора при синхронізації надпровідності матеріалів.

8.6 ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ

Синхронні двигуни мають основна перевага в порівнянні з асинхронними двигунами той факт, що порушення від постійного струму зовнішнього джерела дає можливість роботи при значній величині коефіцієнта потужності. Ця особливість дає можливість збільшити значення коефіцієнта потужності для загальної мережі завдяки включенню синхронного двигуна.

Синхронні електродвигуни мають і інші переваги:

- Електродвигуни синхронного типу працюють з підвищеним коефіцієнтом потужності, що створює зменшення витрати енергії і знижує втрати. ККД синхронного двигуна вище при тій же потужності асинхронного двигуна.
- Синхронні електродвигуни мають момент обертання, який прямо залежить від напруги мережі. Тому він при зменшенні напруги зберігає свою потужність більше асинхронного. Це є фактором надійності подібних конструкцій моторів.

•

Недоліками є такі негативні моменти:

- При проведенні порівняльного аналізу конструкцій двох моторів, можна відзначити, що синхронні електродвигуни виконані за більш складною схемою, тому їх вартість буде вище.
- Наступним недоліком для синхронних двигунів стала необхідність в джерелі струму у вигляді випрямляча, або іншого блоку живлення постійного струму.
- Запуск двигуна відбувається за складною схемою.
- Регулювання швидкості вала двигуна можлива тільки одним способом, за допомогою застосування частотного перетворювача.

У підсумку можна сказати, що все-таки переваги синхронних двигунів перебивають недоліки. Тому двигуни такого виду широко застосовуються в технологічних процесах, де йде постійний безперервний процес, і не потрібно часта зупинка і запуск обладнання: на Млинові виробництві, в компресорах, дробарках, насосах і так далі.

8.7 ВИБІР ДВИГУНА

До питання придбання синхронного електродвигуна потрібно підходити, ґрунтуючись на наступні чинники:

Умови експлуатації електродвигуна. За умовами вибирають тип двигуна, який може бути захищеним, відкритим або закритим. А також мотори відрізняються по захисту струмових частин від вологи, температури, агресивних середовищ. Для вибухонебезпечного виробництва існують спеціальні захисти, що запобігають утворенню іскор в двигуні. Особливості отримання інформації щодо під'єднання електродвигуна зі споживачем.

Синхронні компенсатори

Вони служать для компенсування коефіцієнта потужності в електричній мережі та стабілізації номінального значення напруги в місцях підключення навантажень до двигуна. Нормальним режимом синхронного компенсатора є режим перезбудження в момент віддачі в електричну мережу.

Такі компенсатори ще називають генераторами реактивної потужності, так як вони призначені для виконання такої ж завдання, як батареї конденсаторів на підстанціях. Коли потужність навантажень зменшується, то часто необхідно дію синхронних компенсаторів в збудженому режимі при їх споживанні реактивної потужності і індуктивного струму, тому що напруга в мережі намагається збільшитися, а для його стабілізації на робочому рівні потрібно навантажити мережу струмом індуктивності, який викликає в мережі зниження напруги харчування.

Для таких цілей синхронні компенсатори забезпечуються регулятором автоматичного збудження. Регулятор змінює струм збудження таким чином, що напруга на компенсаторі не змінюється.

8.8 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Широке використання електродвигунів асинхронного типу зі значними недовантаженням робить роботу станцій і енергосистем складніше, так як зменшується коефіцієнт потужності системи, це веде до незапланованих втрат, до їх неповного використання по активної потужності. У зв'язку з цим виникла необхідність у використанні двигунів синхронного типу, особливо для приводів механізмів значної потужності.

Якщо порівнювати синхронні електродвигуни з асинхронними, то гідністю синхронних стала їхня робота коефіцієнтом потужності рівному 1, завдяки дії збудження постійним струмом. При цьому вони не витрачають

реактивну потужність з мережі живлення, а якщо працюють з перепорушенням, то навіть віддають деяку величину реактивної потужності для мережі.

В результаті коефіцієнт потужності мережі поліпшується, і знижуються втрати напруги, збільшується коефіцієнт потужності генераторів електростанцій. Найбільший момент синхронного електродвигуна прямо залежить від напруги, а у синхронного електромотора - від квадрата напруги.

Тому, при зменшенні напруги синхронний електромотор має як і раніше значну навантажувальну здатність. Також, застосування можливості підвищення збудливого струму синхронних двигунів дає можливість підвищувати їх надійність експлуатації при раптових зниженнях напруги, і оптимізувати в таких випадках роботу всієї енергосистеми.

Через велику величини повітряного проміжку додаткові втрати в сталевих сердечниках і в роторі синхронних двигунів менше, ніж у двигунів асинхронного виду. Тому ККД синхронних двигунів частіше буває більше.

Однак пристрій синхронних двигунів набагато складніше, а також необхідний збудник або інший пристрій харчування збудження. Тому синхронні мотори мають більш високу вартість у порівнянні з асинхронними з короткозамкненим ротором.

Запуск і регулювання швидкості у синхронних електродвигунів має свої складності. Але при великих потужностях їх переваги перевершують недоліки. Тому вони застосовуються в багатьох місцях, де не потрібні часті пуски, зупинки обладнання, а також немає необхідності в регулювання обертів двигуна з приводом механізмів насосів, компресорів, млинів і т.д.

В цілому, електричний двигун являє собою електромеханічний пристрій, який перетворює електричну енергію в механічну.

За типом підключення двигуни бувають однофазні та 3-х фазні. Серед 3-х фазних двигунів найбільш поширеними є індукційні (асинхронні) і синхронні електродвигуни.

Коли в 3-х фазному двигуні електричні провідники розташовуються в певному геометричному положенні (під певним кутом відносно один одного), виникає електричне поле. Утворене електромагнітне поле обертається з певною швидкістю, яка називається синхронної швидкістю.

Якщо в цьому обертається магнітному полі присутній електромагніт, він магнетично замикається з цим обертовим полем і обертається зі швидкістю цього поля. Фактично, це нерегульований двигун, оскільки він має всього одну швидкість, яка є синхронною, і ніяких проміжних швидкостей там бути не може. Іншими словами, він працює синхронно з частотою мережі. Нижче дана формула синхронної швидкості:

В принципі, його будова практично аналогічно 3-фазному асинхронного двигуна, за винятком того факту, що на ротор подається джерело постійного струму (в цьому ми розберемося пізніше). А поки розглянемо основна споруда такого типу двигуна.

Основні властивості синхронних двигунів:

- Синхронні електродвигуни не є самозапускаючий механізм. Вони вимагають певного зовнішнього впливу, щоб виробити певну синхронну швидкість.
- Двигун працює синхронно з частотою електричної мережі. Тому при забезпеченні безперебійного постачання частоти він поводить себе так, як двигун з постійною швидкістю.
- Цей двигун має унікальні характеристики, функціонуючи під будь-яким коефіцієнтом потужності. Тому вони використовуються для збільшення фактора сили.

Відео: Будова і принцип роботи синхронного двигуна

Принципи роботи синхронного двигуна

Електронно-магнітне поле синхронного двигуна забезпечується двома електричними вводами. Це обмотка статора, яка складається з 3-х фаз і передбачає 3 фази джерела живлення і ротор, на який подається постійний струм.

3 фази обмотки статора забезпечують обертання магнітного потоку. Ротор приймає постійний струм і виробляє постійний потік. При частоті 50 Гц 3-х фазний потік обертається близько 3000 оборотів в 1 хвилину або 50 обертів на 1 секунду. У певний момент полюса ротора і статора можуть бути однієї полярності (++) чи (--), що викликає відштовхування ротора. Після цього полярність відразу ж змінюється (+ -), що викликає притягання.

Але ротор через свою інерцію не в змозі обертатися в будь-якому напрямку через сили тяжіння або сили відштовхування і не може залишатися в стані простою. Він не самозапускаючий.

Щоб подолати інерцію сили, необхідна певна механічна дія, яке обертає ротор в тому ж напрямку, що і магнітне поле, забезпечуючи необхідну синхронну швидкість. Через деякий час відбувається замикання магнітного поля, і синхронний двигун обертається з певною швидкістю.

ТЕМА 9. ОСОБЛИВОСТІ ПУСКУ ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ТА АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

9.1. ОСОБЛИВОСТІ ТА СПОСОБИ ПУСКУ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Для двигунів постійного струму можуть бути застосовані три способи пуску:

1) прямий, при якому обмотка якоря підключається безпосередньо до мережі; Зазвичай в двигунах постійного струму падіння напруги $I_{\text{НОМ}} R_a$ у внутрішньому опорі ланцюга якоря становить 5.10% від U , Тому при прямому пуску струм якоря $I_{\text{п}} = U_{\text{НОМ}} / R_a = (10 \dots 20) I_{\text{НОМ}}$, Що створює небезпеку поломки вала машини і викликає сильне іскріння під щітками. Тому *прямий пуск застосовують в основному для двигунів малої потужності* (До декількох сотень ват), в яких опір R_a відносно велике, і лише в окремих випадках для двигунів з послідовним збудженням потужністю в декілька кіловат.

2) реостатний, при якому в ланцюг якоря включається пусковий реостат для обмеження струму; Цей спосіб отримав найбільше застосування. Для обмеження струму в ланцюг якоря включають пусковий реостат R_p . Він зазвичай має кілька ступенів R_1, R_2, R_3 , які в процесі пуску замикають накоротко спеціальними вимикачами 1,2,3. При цьому опір реостата поступово зменшується, що забезпечує високе значення пускового моменту на протязі всього часу розгону двигатля.

3) шляхом плавного підвищення напруги живлення, яке подається на обмотку якоря. При реостатному пуску виникають досить значні втрати енергії в пусковому реостаті. Цей недолік можна усунути, якщо пуск двигуна здійснити при зниженій напрузі з подальшим плавним підвищенням напруги, що подається на його обмотку. Однак для цього необхідно мати окреме джерело постійного струму з регульованою напругою (генератор або керований випрямляч). Таке джерело використовують також для регулювання частоти обертання двигуна

9.2 ЯКИМИ СПОСОБАМИ МОЖНА РЕГУЛЮВАТИ ЧАСТОТУ ОБЕРТАННЯ РОТОРА ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ?

Регулювання частоти обертання ротора електродвигуна постійного струму здійснюється зміною: струму збудження двигуна, напруги, що підводиться до двигуна, і опору в ланцюзі якоря. Найбільш широке застосування отримали перші два способи регулювання; третій спосіб

застосовують рідко, так як частота обертання ротора двигуна при цьому значно залежить від коливань навантаження. Регулювання частоти обертання зміною напруги, що підводиться зустрічає труднощі, пов'язані зі складністю перетворення напруги постійного струму. Для цієї мети або застосовують статичні перетворювачі напруги, або живлять двигун від окремого генератора постійного струму, що допускає плавне регулювання напруги (система генератор - двигун). Такі системи застосовують лише для окремих спеціальних приводів, які потребують регулювання частоти обертання за складною програмою, наприклад для головних двигунів прокатних станів. Регулювання частоти обертання потоком є найбільш економічним способом, так як втрати в регулювальних резисторах, що включаються для цієї мети послідовно з обмоткою збудження, невеликі через малого струму збудження. Однак цей спосіб дозволяє лише збільшувати частоту обертання двигунів в порівнянні з номінальною. Такий спосіб регулювання передбачений для всіх серійних двигунів постійного струму. Включення додаткового резистора в ланцюг якоря (додаткового опору ($R_{\text{я}} = R_{\text{я}} + R_{\text{доб}}$)) дає можливість плавно регулювати частоту обертання, але пов'язане з великими втратами в регулювальному реостаті, по якому проходить повний струм навантаження. Цей спосіб використовується, наприклад, для регулювання частоти обертання тягових двигунів.

9.3 ЯК ЗДІЙСНИТИ РЕВЕРСУВАННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ?

Під реверсуваннюм двигуна розуміють зміна напрямку обертання його якоря. В основному, управління двигунами постійного струму відбувається по 2-х провідній лінії. У разі необхідності зміни напрямку обертання потрібно поміняти місцями проводи або на якорі, або на обмотці збудження. Для цього можна використовувати різні комутаційні прилади.

9.4 ШО ТАКЕ МЕХАНІЧНА І РЕГУЛЮВАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ?

Найважливішою з характеристик є механічна $n(M_c)$ - Залежність частоти обертання n від моменту на валу. Горизонтальна вісь (абсцис) - момент на валу ротора, вертикальна вісь (ординат) - частота обертання ротора. Механічна характеристика ДПТ є пряма, що йде з негативним нахилом. Вона показує вплив механічного навантаження (моменту) на валу двигуна на частоту обертання, що особливо важливо знати при виборі та експлуатації двигунів.

Інші характеристики двигунів: регульовальна швидкісна n (I_a), Робочі M , P_1 , n , I , h (P_2). Механічні характеристики можуть бути природними і штучними. під *природними* характеристиками розуміються характеристики, зняті за відсутності в схемі будь-яких додаткових опорів, наприклад, реостатів в ланцюгах якоря або збудження, *штучними* - При наявності таких опорів.

9.4 ПУСК АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Типи пуску, особливості спрацьовування

Першим ділом позначимо підходи до набору режимної швидкості. За техніко-механічної градації розрізняють три версії схем для забезпечення початкового імпульсу:

Прямий пуск.

Запуск за допомогою схеми «зірка-трикутник».

Старт з використанням пристроїв плавного пуску.

Розглянемо кожне з рішень в найдрібніших подробицях.

Прямий імпульс

На зорі винаходу асинхронних агрегатів такої дилеми, як способи запуску трифазного асинхронного двигуна не існувало, оскільки двигуни стартували безпосередньо. Примітно, що і сьогодні прямий пуск залишається популярним ізатребуваним способом. Це найпростіша з погляду технічної реалізації схема, що не потребує додаткових фінансових витрат, оскільки для її налагодження достатньо мати базовий набір проводів.

І все-таки прямий старт має свої обмеження. Він застосовується тільки до двигунів малої потужності, оскільки має ряд технічних недоліків, обумовлених електричними та механічними обмеженнями.

Вивчаючи способи пуску асинхронного двигуна, безпосередньо підключеного, можна помітити, що при першому імпульсі відбувається великий стрибок струму. Цей імпульс призводить до зниження напруги, що негативно позначається на якості роботи інших механізмів і може призвести до спрацьовування захисних автоматів. Ситуація погіршується при затяжному пуску, який зазвичай пов'язаний з високою потужністю установки. Період тривалого старту збільшує навантаження у 6-8 разів. В результаті кабель перегрівається, як і обмотки двигуна. Одним словом, такі «болючі» маніпуляції серйозно знижують експлуатаційний ресурс електродвигуна.

Крім електричних, прямий пуск та механічні проблеми. Стартовий імпульс призводить до ривка, що передається приводним ременям, підшипникам, кріпленням та іншим важливим елементам конструкції. Під удар потрапляє не тільки трифазний асинхронний електродвигун, але й допоміжні вузли, без яких навіть повністю справний мотор не здатний працювати на 100%. Простий протягом доби на великому підприємстві дорівнює багатомільйонним збиткам, тому підключати високооборотні установки до мережі безпосередньо не рекомендується!

Пуск за допомогою схеми зірка-трикутник. Продовжуючи розбирати способи пуску асинхронних двигунів, ми дісталися до іншого рубежу. Пуск, при якому задіюється особлива схема розведення обмоток, сприяє зниженню механічного навантаження при початковому ривку. Секрет полягає у обмеженні значення первинного імпульсу. Спосіб хороший і дієвий, але не ідеальний.

Недоліки

Для підключення «зірка-трикутник» потрібно 6 клем, які є не у кожній моделі двигуна.

Потрібно мінімум 3 - контактора, які відчутно збільшують габарити та вартість двигуна.

Необхідно протягнути два кабелі від установки до пункту керування. Якщо пункт управління знаходиться далеко, це вимагатиме пристойних фінансових вкладень.

Та й найголовніший недолік схемного старту полягає у зупинці ротора. Він припиняє свою роботу так само як і у разі прямого з'єднання, тобто різко.

Всі вище розглянуті види пуску асинхронного двигуна вважаються компромісними, тому що поряд з плюсами мають чимало мінусів, що обмежують функціонал, то потужність, то період експлуатації. Залишається розглянути третій, найцікавіший і найсучасніший підхід до організації запуску електромотора.

Плавний запуск електродвигуна: особливості, сильні сторони

З технічної точки зору плавний пуск асинхронного двигуна – це система, яка може бути організована за допомогою електронного, механічного або гібридного електромеханічного вузла. Головною перевагою використання цього підходу вважається м'який розгін ротора без ривків і таке ж м'яке гальмування.

Якщо оцінювати глобально, то пуск асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором через вузол «пом'якшення», позитивно впливає на всю електромережу, яка не зазнає перевантажень, просядок, стрибків. Стабільність підвищується, а разом із нею продовжується експлуатаційний період дорогого обладнання.

Принцип м'якого старту заснований на роботі напівпровідників, які знижують первинну напругу двигуна та поступово повертають його в норму в міру набору обертів.

В даний час застосовуються спеціалізовані пристрої плавного пуску двигуна та перетворювачі частоти. Перетворювачі частоти коштують дорожче, плюс, додають у мережу синусоїдні спотворення, зате істотно розширюють функціонал двигуна за допомогою зміни частоти струму.

ТЕМА 10. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МЕХАНІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

10.1.ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ МЕХАНІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Існує декілька приводів, тобто пристроїв, призначених для перетворення різних видів енергії (теплової, енергії стиснутого повітря, гідравлічної...) на механічну енергію, яка потім використовується для приведення в рух виконавчих органів машини, а також пристроїв для керування цим рухом.

Згідно ГОСТ 50369-92 - це електромеханічна система, котра складається із взаємодіючих електричних, електромеханічних і механічних перетворювачів, керуючих та інформаційних пристроїв і пристроїв, які поєднані з електричними, механічними, керуючими та інформаційними системами, призначених для приведення у рух виконавчих органів робочої машини і керування цим рухом з метою виконання технічного процесу.

Особливостями сучасного електропривода є: широке використання напівпровідникових перетворювачів енергії для регулювання швидкості електроприводів; застосування мікропроцесорних контролерів для реалізації задач керування електроприводами. Структура сучасного електропривода промислового механізму:



Мережа електропостачання є джерелом електричної енергії. Перетворювач електричної енергії використовується для керування потоком електричної енергії, що поступає від мережі до двигуна. Керуючи електричною енергією, перетворювач дозволяє керувати швидкістю двигуна.

Сучасні перетворювачі виготовляються на базі потужних напівпровідникових елементів. Найбільш поширеними різновидами перетворювачів енергії є перетворювачі частоти та випрямлячі. Система автоматичного керування входить до складу перетворювача і являє собою мікропроцесорну систему, запрограмовану спеціальними законами стабілізації швидкості двигуна.

Двигун – це перетворювач електричної енергії в механічну. Окрім класичних двигунів, що обертаються, існують лінійні двигуни, рухлива частина яких рухається лінійно. Редуктор використовується для зміни параметрів механічної енергії (наприклад, зменшення швидкості та підвищення моменту або для перетворення обертального руху на прямолінійний).

Виконавчий механізм – механізм, який безпосередньо виконує корисну роботу (підйом вантажу, рух транспорту, обертання вентилятора тощо). Система автоматизації технологічного процесу – комп'ютеризований пристрій, який керує роботою виконавчого механізму. Керування відбувається шляхом розрахунку завдання на поточну швидкість. Завдання на швидкість подається на систему керування перетворювача електричної енергії. Предметом діяльності інженера з автоматизованого електроприводу є керування електричними двигунами. На сучасному ринку праці до інженера з електроприводу висуваються вимоги: уміння налагоджувати цифрові електроприводи (насамперед перетворювачі частоти, пристрої плавного пуску); здатність програмувати та налаштовувати сучасні засоби автоматизації (програмовані логічні контролери, цифрові регулятори, технологічні датчики); володіння програмами автоматизованого проектування.

10.2. ОСНОВНІ ТЕРМІНИ – ЩО СТОСУЮТЬСЯ ВИВЧЕННЯ ОСНОВ РОЗУМІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Електропривод – електромеханічна система, призначена для приведення до руху механізмів і машин та керування цим рухом. Складається з електричного двигуна, перетворювача енергії, механічної частини та системи автоматичного керування.

Регульований електропривод – електропривод, здатний цілеспрямовано змінювати швидкість руху та рушійний момент. До його складу обов'язково має входити перетворювач енергії. Автоматизований електропривод – електропривод, який виконує свої функції автоматично, а завдання людини (оператора) полягає лише в контролі і подачі команди на початок руху та зупинку.

Електричний двигун (електродвигун) – електрична машина, яка перетворює електричну енергію на механічну. Є складовою частиною електропривода та основним типом двигунів у промисловості, на транспорті, комунальному господарстві та у побуті.

Електродвигун змінного струму – двигун, який для свого живлення потребує електричну енергію знакозмінного струму.

Електродвигун постійного струму – двигун, який для свого живлення потребує електричну енергію знакопостійного струму.

Перетворювач енергії – складова частина електропривода, від якої електричний двигун отримує електричну енергію. Є звичайно силовим електронним пристроєм, який здійснює перетворення роду електричної енергії.

Система керування електроприводом – система, яка складається з регулятора (регуляторів) та давачів і призначена для керування (звичайно автоматичного) швидкістю, моментом, струмом електричного двигуна, положенням виконавчого органу механізму.

Давач – пристрій, який вимірює поточне значення технологічного параметру (швидкості, положення, струму, напруги, тиску, температури тощо) та перетворює його на електричний сигнал.

Регулятор – керуючий пристрій (переважно електронний), який за допомогою давача слідкує за поточним станом об'єкту керування та формує сигнал керування ним.

Автоматизація – один з напрямів науково-технічного прогресу, спрямований на застосування саморегульованих технічних засобів і систем керування в процесах отримання, перетворення, передачі і використання енергії, матеріалів чи інформації. Метою автоматизації є звільнення людини від участі в цих процесах або істотне зменшення міри цієї участі чи трудомісткості виконуваних людиною операцій.

Механічна частина електроприводу – сукупність механічних пристроїв, які забезпечують перетворення характеру руху (обертотий на поступальний) або величини швидкості. Для перетворення обертотого руху на поступальний використовують кульково-гвинтові передачі, пари «зубчасте колесо/рейка», барабани. Для зменшення (збільшення) швидкості застосовують зубчасті редуктори (мультиплікатори).

Зворотний зв'язок – принцип керування, широко використовуваний в системах автоматичного керування (у тому числі в автоматизованому електроприводі). Реалізується за допомогою регулятора та давача. Згідно с принципом зворотного зв'язку зміна технологічного параметру (наприклад, швидкості) призводить до формування регулятором такого керуючого сигналу, який спричинює повернення до попереднього значення цього параметру.

Система автоматичного керування – сукупність регулятора, давача та об'єкту керування, в якій звичайно використовується принцип зворотного зв'язку. Забезпечує стабілізацію певного технологічного параметру або його зміну за заданим законом.

Програмований логічний контролер (ПЛК) – спеціалізований електронний пристрій, що використовується для автоматизації технологічних процесів. На відміну від комп'ютера призначений не лише для обробки інформації, а й для керування виконавчими механізмами. Для цього він має велику кількість входів (для отримання інформації від давачів) та виходів (для передачі керуючих сигналів). Здатен тривалий час працювати в автоматичному режимі без втручання людини. Програмується за допомогою персонального комп'ютера з використанням спеціальних мов програмування.

Інвертор – силовий електронний перетворювач енергії, призначений для перетворення енергії постійного струму на енергію змінного струму (переважно з регульованою частотою). Використовується для живлення і регулювання швидкості обертання електродвигунів змінного струму (синхронних та асинхронних).

Випрямляч – силовий електронний перетворювач енергії, призначений для перетворення енергії змінного струму на енергію постійного струму (переважно з регульованим рівнем напруги). Найчастіше використовується для живлення і регулювання швидкості обертання електродвигунів постійного струму.

Перетворювач частоти – силовий електронний перетворювач енергії, призначений для живлення та регулювання швидкості електродвигунів змінного струму. Живиться від мережі змінного струму та складається з випрямляча та інвертора. Промислова комунікаційна мережа – цифрова телекомунікаційна мережа, що зв'язує територіально розподілені давачі, виконавчі механізми, промислові контролери. Використовується в промисловій автоматизації для обміну інформацією між інтелектуальними технологічними пристроями і контролерами.

Електропривод із цифровим керуванням – електропривод, регулятори якого реалізовані на основі мікроконтролерів.

Мікроконтролер, або однокристальна мікроЕОМ – виконана у вигляді мікросхеми спеціалізована мікропроцесорна система, що включає мікропроцесор, блоки пам'яті для збереження коду програм і даних, порти вводу-виводу і блоки зі спеціальними функціями (лічильники, компаратори, аналого-цифрові перетворювачі та ін.). Програмування мікроконтролерів зазвичай здійснюється на мовах асемблер або С, є основою сучасних систем автоматизації, електроприводів з цифровим керуванням, вмонтованих систем.

Мікропроцесор – програмована інтегральна мікросхема, яка виконує функції центрального процесора або спеціалізованого процесора. Частотно-керований електропривод – електропривод змінного струму з перетворювачем частоти. Різновид електроприводу, що найбільш інтенсивно розвивається протягом останніх років.

Панель людино-машинного інтерфейсу (операторська панель) – спеціалізований обчислювальний пристрій, призначений для взаємодії оператора та ПЛК. Має сенсорний дисплей (для відображення текстової, цифрової та графічної інформації) та органи керування. Обмін інформацією з ПЛК здійснюється через промислову комунікаційну мережу. Програмується за допомогою спеціального програмного забезпечення.

Пристрій плавного пуску (софтстартер) – перетворювач енергії, призначений для плавного розгону та гальмування електродвигунів змінного струму. Здатний обмежувати рівень пускового струму та динамічних навантажень механічної частини електроприводу.

10.3. ОДНОФАЗНІ АСИНХРОННІ ДВИГУНИ

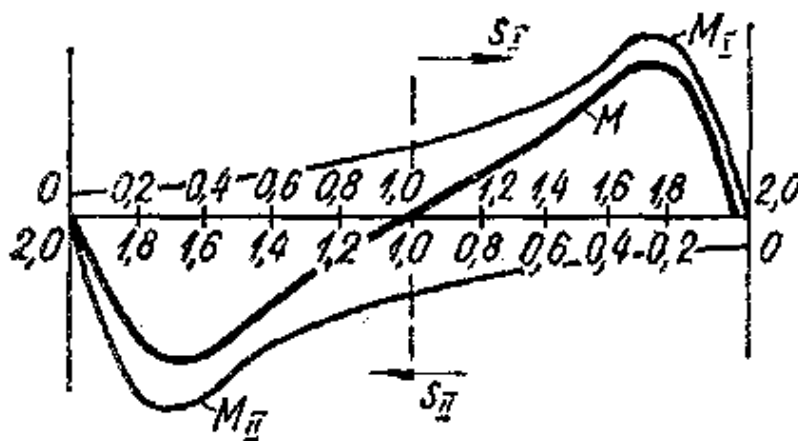
У цілому ряді випадків (на транспорті, у побутових умовах тощо) виникає необхідність живлення машин змінного струму від однофазних мереж. Тут знаходять застосування однофазні двигуни, котрі легко отримати з трифазних, відімкнувши одну з фаз статора, а дві, що залишилися, з'єднати послідовно або паралельно. Очевидно, що потужність однофазного двигуна при цьому навіть теоретично не може бути більшою $2/3$ потужності трифазного. У спеціальних однофазних двигунах обмоткою заповняють також не більше $2/3$ пазів, оскільки при більшому їх заповненні обмотковий коефіцієнт - (див. п. 10.1) виходить невеликим, витрати міді зростають, а ЕРС, що виникає, значить, і потужність практично не збільшуються.

Однофазний струм у статорі створює пульсуюче магнітне поле, яке можна розкласти (див. 10.2) на два поля, що обертаються у різні боки. При нерухомому роторі ці поля створюють однакові за значенням, але різні за знаками обертальні моменти M_I і M_{II} . Результуючий момент $M_{\text{вон}} = M_I - M_{II}$. тому без спеціальних пристроїв двигун з місця не рухається.

Якщо ротор привести в обертання в будь-який бік, то одне поле - пряме, те, що обертається в той самий бік, що і ротор, - буде діяти аналогічно полю трифазного двигуна $[f_{2I} = p(n_1 - n) = f_1 s]$. Друге - зворотне поле - створює режим електромагнітного гальма, виникла в роторі ЕРС матиме частоту $f_{2II} = p(n_1 + n) = p(n_1 + n + n_1 - n_1) = p[2n_1 - (n_1 - n)] = pn_1[2 - (n_1 - n)/n_1] = f_1(2 - s)$, де $(2 - s)$ - ковзання ротора відносно поля, що обертається у зворотному напрямі.

При $0 < s < 1$ величина $(2 - s) > 1$; $f_{2H} > f$. Наприклад, при номінальному значенні $f_{ном} 0,02 f_{2H} = 1$ Гц, а $f_{2H} = 50(2 - 0,02) = 99$ Гц. Тому індуктивний опір обмотки ротора струмові I_{Φ} дуже значне ($X_{\Phi} = 2\pi f_{2H} L_2$), струм є практично чисто індуктивним і здійснює розмагнічуючу дію на поле, що зворотно обертається. Очевидно, що при цьому сильно зменшується зворотній момент M_H і ротор обертається у напрямі прямого моменту M .

На рис. 11.11 зображені механічні характеристики однофазного асинхронного двигуна, причому залежність $M_H = f(s_H)$ зображена нижче осі абсцис, бо момент M_H напрямлений проти моменту M_1 . Результуючий момент $M = M_1 = M_H$ співпадає з напрямом обертання ротора.



Для отримання початкового моменту запуску необхідно створити магнітне поле, що обертається. При використанні трифазних двигунів з цією метою можна скористатися однією зі схем, зображених на рис. 11.12.

Рис. 11.11. Механічна характеристика однофазного асинхронного двигуна

Якщо уявити собі еквівалентну магнітну вісь двох послідовно ввімкнених за схемою Y фаз, то третя (вільна) фаза буде їй перпендикулярна; цим забезпечується зсув магнітних осей в просторі на кут 90° ел. Третя фаза відіграє роль обмотки запуску. Ввімкнені в її коло конденсатор, резистор або індуктивність, створюючи зсув у часі, забезпечує появу поля, що обертається. Якщо навіть це поле не є коловим, створений момент дає можливість запустити двигун у хід. Реверсування такого двигуна здійснюється зміною під'єднання пускового елемента до мережі.

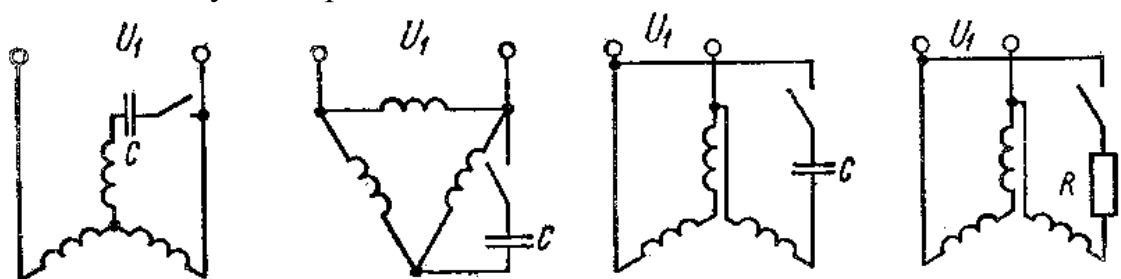


Рис. 11.12. Схеми ввімкнення трифазних асинхронних

Відповідним вибором ємності, пускового конденсатора можна забезпечити зсув у часі на кут 90° , тоді поле буде коловим. У деяких однофазних машинах обмотку запуску намотують дротом меншою перерізу, що підвищує її опір і не становить небезпеку у короткий період запуску. У такому випадку немає необхідності у використанні спеціального резистора, тим більше, що сама обмотка запуску володіє індуктивністю. Після запуску двигуна обмотку запуску вимикають.

10.4 СИНХРОННІ ТРИФАЗНІ ЕЛЕКТРОДВИГУНИ

Синхронна машина що працює паралельно з мережею, автоматично переходить в режим двигуна, якщо до її вала, від'єднавши первинний двигун, прикласти гальмівний момент. При цьому машина споживає з мережі основну потужність і виникає обертальний момент. Частота обертання ротора залишається *незмінною*, жорстко зв'язаною з частотою мережі співвідношенням (12.1). Приведені на рис 12.6 кутові характеристики при $\varphi < 0$ справедливі для двигунів такого режиму.

Корисною властивістю синхронного двигуна є його здатність панувати з $\cos \varphi = 1$ навіть з випереджуючим $\cos \varphi$ в режимі значного збудження.

Запуск в хід синхронного двигуна викликає певні труднощі, оскільки двигун не має початкового пускового моменту. Якщо двигун зі збудженим індуктором ввімкнути в мережу змінного струму, то ротор через інерцію не може бути відразу поведений полем статора, електромагнітний момент двічі змінить свій напрям і стійкий зв'язок між полями ротора і статора не виникне. Отже, для запуску в хід необхідно *розігнати ротор за допомогою зовнішнього моменту до частоти обертання, близької до синхронної.*

Джерелом такого зовнішнього моменту може бути сторонній двигун (синхронний або постійного струму). Але запуск при цьому можливий практично без навантаження. Коли ротор двигуна досягає частоти обертання, близької до синхронної, статор вмикається в мережу.

Найбільше розповсюдження дістав асинхронний запуск. В цьому випадку двигун запускається в роботу як асинхронний, для чого він забезпечений спеціальною короткозамкненою обмоткою запуску (див. п. 12.2). При досягненні частоти обертання, близької до синхронної ($n \gg 0,95n_1$), обмотку збудження вмикають до джерела постійного струму, що створює синхронізуючий момент і ротор втягується в синхронізм. При асинхронному запуску обмотку збудження не можна залишати розімкненою бо поле статора.

яке обертається, наводить в ній дуже велику ЕРС, небезпечну для цілісності ізоляції і обслуговуючого персоналу. Тому обмотку збудження на період запуску замикають на резистор, опір якого приблизно в 10 разів перевищує її опір.

У деяких випадках можливий *частковий запуск*, коли двигун живлять від окремого синхронного генератора, частоту якого плавно піднімають від нуля. При цьому двигун приходить в синхроне обертання вже при невеликій частоті. Порівняння синхронного двигуна з асинхронним дозволяє відзначити його переваги і недоліки.

До переваг синхронного двигуни відносяться:

- а) можливість роботи не тільки з $\cos \varphi = 1$, але й випереджуючим $\cos \varphi$, що істотно покращує коефіцієнти потужності мереж; струм синхронного двигуна менший, ніж у асинхронного з однаковою потужністю;
 - б) менша чутливість до коливань напруги, бо його обертальний момент пропорційний напрузі в першій степені, а не в квадраті [пор. рівняння (12.8) і (11.26)];
 - в) суворі постійність частоти обертання незалежно від навантаження на валу.
- Недоліками синхронного двигуна є:
- а) складність конструкції і вартість, особливо у порівнянні з короткозамкненим асинхронним двигуном;
 - б) порівняна складність запуску в роботу;
 - в) складність регулювання частоти обертання, яке можливе тільки зі зміною частоти напруги живлення.

ТЕМА 11. ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ

11.1. ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ

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

Для асинхронних електродвигунів, крім того, знижується коефіцієнт потужності. Якщо потужність електродвигуна занижена, то температура його окремих частин перевищить допустимі за нормами величини, що призводить до зниження терміну служби електродвигуна, до його передчасної відмови. Наприклад, термін служби електродвигуна скорочується удвічі при підвищенні температури ізоляції класу В проти норми на 8°C . Потужність електродвигуна, вказана заводом виготівником (на його щитку і в каталозі), розрахована на використання його при температурі довкілля $+40^{\circ}\text{C}$. При меншій температурі допустиме граничне навантаження може бути декілька вище номінального, а при температурі, більшій 40°C , допустиме навантаження має бути менше номінального.

Вибір потужності електродвигунів вимагає також розрахунку навантаження привода не лише при усталеній роботі, але і в періоди перехідних режимів. З цією метою звичайно будуються так звані навантажувальні діаграми, під якими розуміють зміни обертового моменту, потужності і струму електродвигуна в часі. В кожному випадку електродвигун, вибраний відповідно до заданої навантажувальної діаграми, має бути повністю завантажений і при цьому повинен працювати, не перегріваючись понад допустимих границь.

Він повинен також забезпечувати нормальну роботу при перевантаженнях і мати достатній пусковий момент. У переважній більшості випадків вибір потужності електродвигуна здійснюється за нагрівом, а потім він перевіряється за навантажувальною здатністю $5 M_{\text{маx}} \leq K_{\text{П}} M_{\text{Н}}$, (1) де $M_{\text{маx}}$ —максимальне значення моменту на валу двигуна; $K_{\text{П}}$ —коефіцієнт перевантаження двигуна.

Для машин постійного струму при номінальному збудженні за умовами комутації $K_{\text{П}} \approx 1,5$. Для асинхронних двигунів тривалого режиму $K_{\text{П}}=1,7-2,2$. При виборі потужності двигуна за умовами нагрівання розрізняють три основні режими роботи: тривалий (довгочасний), короткочасний і повторно-короткочасний.

11.2. ГАЛЬМОВІ РЕЖИМИ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Робота багатьох виробничих механізмів зв'язана з необхідністю швидкої і точної зупинки та зміни напрямку руху (реверсування). Гальмування двигунів з незалежним збудженням можна здійснювати такими способами: гальмуванням з віддачею енергії в мережу (рекуперативне);

- динамічне гальмування;
- гальмування противмиканням.

Гальмування з віддачею енергії в мережу здійснюють тоді, коли швидкість двигуна більша швидкості ідеального холостого ходу (при регулюванні магнітним потоком). Тоді при швидкому збільшенні магнітного потоку до номінального значення ЕРС обмотки якоря стає більшою напруги в мережі живлення і струм змінює знак, бо

$$E - U = -IR_{\partial} . \quad (3.16)$$

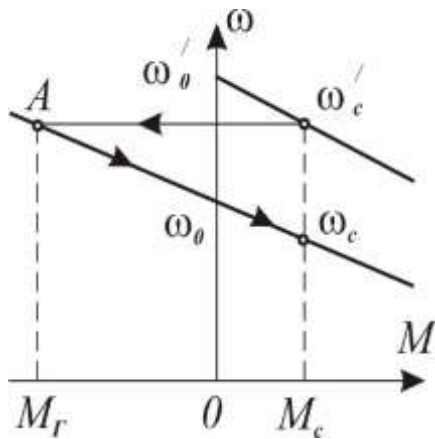


Рис.3.11. Механічні характеристики при рекуперативному гальмуванні

Момент двигуна також змінює знак і з рушійного стає гальмівним – відбувається процес гальмування. При цьому кінетична енергія, накопичена в рухомих частинах привода і робочого механізму, за вирахуванням втрат у двигуні перетворюється у електричну і віддається у мережу живлення за умови $\omega > \omega_0$.

Підставивши в (3.3) від'ємне значення моменту, одержимо рівняння механічної характеристики

$$\omega = U_n k_{\partial} + MR_{\partial} k_{\partial}^2 , \quad (3.17)$$

на яку перейде працювати двигун, як показано стрілками на рис.3.11. На ділянці $A - \omega_0$ двигун працює в генераторному режимі, а на ділянці $\omega_0 - \omega_n$ – у режимі двигуна. Такий же режим гальмування виникає, коли швидко зменшити напругу живлення в регульованому електроприводі.

Гальмування з віддачею енергії в мережу двигунів послідовного збудження здійснити не можна, бо при $E > U$ одночасно змінюється напрям струму і магнітного потоку і, отже, гальмівного моменту не виникає.

Динамічне гальмування відбувається при відмиканні якоря двигуна від мережі і замиканні на гальмівний резистор. В режимі динамічного гальмування як і у рекуперативному двигуни працюють в генераторному режимі, перетворюючи кінетичну енергію системи в електричну, яка виділяється у виді тепла в опорах якорного кола. При цьому потрібно переключити обмотку збудження двигуна послідовного збудження так, щоби струм в ній не змінив свого напрямку.

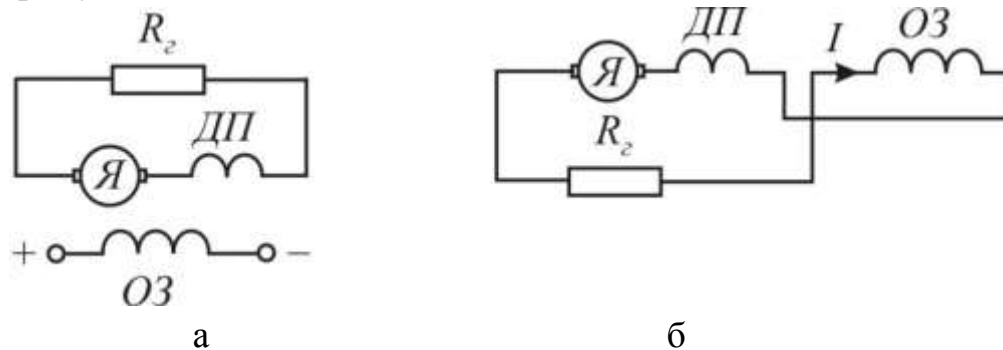
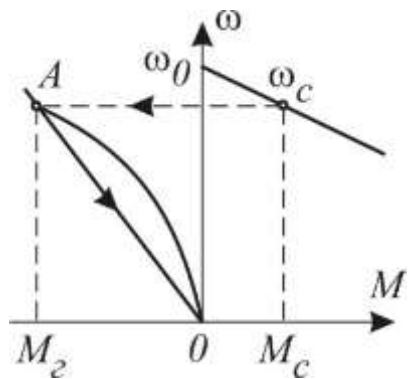


Рис.3.12. Схеми динамічного гальмування двигунів незалежного (а) і послідовного(б) збудження



Механічна характеристика при гальмуванні двигуна з незалежним збудженням описується рівнянням

$$\omega = M_{\bar{a}} (R_{\bar{a}} + R_{\bar{a}}) k_{\bar{a}}^2 \quad (3.18)$$

і представляє собою пряму лінію (пряма ОА на рис.3.13.).

Величина гальмівного опору

$$R_{\bar{a}} = \frac{\omega_{\bar{n}}}{k_{\bar{a}} I_{\bar{a}} \bar{i}} - R_{\bar{a}} \quad (3.19)$$

Рис.3.13. Механічні характеристики при динамічному гальмуванні

$$\omega = M_{\bar{a}} (R_{\bar{a}} + R_{\bar{a}}) \frac{1}{k^2 \hat{O}^2} \quad (3.20)$$

В (3.20) магнітний потік залежить від струму і тому механічна характеристика має вид, наведений на рис.3.13 (крива АО).

Гальмування противмиканням часто використовують для швидкого гальмування і воно зводиться до зміни полярності напруги тільки на якорі. При цьому напруга і ЕРС обмотки якоря складаються, струм змінює свій знак і

за умови нехтування індуктивністю кола якоря.

Рис.3.14. Механічні характеристики двигунів в режимі противмикання

мережі і гальмування закінчується. Якщо цього не зробити, то двигун почне розганятися у протилежну сторону (реверсуватись) і в точках C_n чи C_n наступають усталені режими.

11.3. ПЕРЕХІДНІ РЕЖИМИ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Перехідні режими викликані двома основними причинами.

По-друге, непередбачені чинники, такі як аварія, порушення умовального електропостачання (спад, часткове або повне зникнення напруги живлення, змінювання частоти мережі, поява асиметрії навантаження у трифазних системах й таке інше).

91

якість роботи виробничих механізмів (наприклад, скорочення часу на протікання перехідних процесів подовжує час роботи ЕП в усталених режимах, які визначають продуктивність праці).

Проте, конструкція й будова виробничого механізму і особливо технологічні вимоги та вимоги охорони праці накладають певні обмеження на величину навантаження, швидкості, прискорення, температури, шумів й таке інше. Збоку техніки й технології ці обмеження викликані прагненням запобігання поломки механізмів, виходу із ладу обладнання, браку продукції. ЕП повинен забезпечити не тільки власне протікання перехідних процесів, але й їх характер. На ці обмеження впливають також властивості й характеристики самого електропривода (запобігання перегріву двигуна, його зупинки, або порушення синхронізації, погіршення комутації МПС, порушення точності позиціонування та інше).

На характер протікання перехідного режиму впливають такі чинники:

- властивості виконавчого механізму;
- тип електродвигуна;
- особливості механічної передачі (кінематики);
- принцип дії та властивості апаратури керування;
- режим роботи.

Теоретичний розгляд перехідних режимів з урахуванням основних їх факторів у багатьох випадках являє великі складнощі. Вони можуть описуватись диференційними рівняннями досить високого порядку, часто з нелінійними залежностями, вирішення яких пов'язано зі значними математичними утрудненнями.

До цього часу ще не вирішені досить точно такі задачі:

- змінювання індуктивності обмоток при змінюванні напруженості магнітного поля;

- величина опору перехідного контакту колектор-щітка;
- точне урахування насиченості магнітного матеріалу й інше.

Це часто вимушує користуватись наближеними розрахунками, даними дослідів (криві або коефіцієнти), графічними побудовами й графічним інтегруванням.

Проте не у всіх випадках практики потрібне детальне і точне урахування усіх явищ. Тому, при вирішення конкретних задач перехідні режими можуть розглядатись з певними наближеннями й спрощеннями.

У будь-якому перехідному режимі ЕП одночасно й взаємопов'язано між собою діють перехідні механічні, електромагнітні й теплові процеси. При швидкоплинних процесах змінювання теплового стану ЕП, яке протікає більш-менш повільно, у більшості випадків не чинить суттєвого впливу на інші

процеси, тому при вивченні таких перехідних режимів у ЕП зміна теплового стану двигуна не ураховується.

Якщо тепла інерція не враховується, то розглядаються тільки механічна й електромагнітна інерції. У деяких випадках нехтують й електромагнітною інерцією, тоді розглядаються тільки механічні процеси.

Таким чином, у перехідному режимі ЕП у певному кількісному співвідношенні діють такі інерції:

- інерція механічна виконавчих механізмів, проміжних передач, рухомих частин двигунів та апаратів, як таких, що обертаються, або рухаються поступально;
- інерція електромагнітна, що обумовлена індуктивністю та активним опором електричних елементів привода, у основному, це обмотки й контакти;
- інерція тепла електричних машин та деяких електричних апаратів.

Всі ці фактори уповільнюють протікання перехідних режимів. Ступінь впливу інерційностей того чи іншого виду визначається інерційними сталими. Механічна інерція ЕП характеризується електромеханічною сталою часу T_M , [с] (більш докладніше розглянуто в підрозділі 4.3). Вона залежить як від механічних параметрів (махових мас та статичного моменту опору), так і від електромеханічних властивостей, які у свою чергу залежать від опору електричних кіл двигуна.

Електромагнітна інерція характеризується електромагнітною сталою часу T_E . Вона визначається співвідношенням індуктивності, [Гн] та активного опору R , [Ом] :

$$T_E = \frac{L}{R}, [с].$$

Теплова інерція характеризується сталю часу нагрівання. Вона

характеризується співвідношенням теплоємності C_T , $\left[\frac{Дж}{^{\circ}C} \right]$ та

теплопередачі A_T , $\left[\frac{Дж}{^{\circ}C \cdot c} \right]$: $\Theta = \frac{C_T}{A_T}$, .

Розрахунок перехідних режимів ЕП в основному зводиться до одержання, або побудови залежностей

$$i = f_1(t) ; M = f_2(t) ; \omega = f_3(t) .$$

ТЕМА 12. ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ

12.1. ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ

Привід електродвигуна повинен відповідати всім параметрам робочої машини або механізму, електричної установки, умовам навколишнього середовища, у якому він буде працювати. Потужність, що розвивається електродвигуном, повинна відповідати максимальній потужності та частоті обертання виробничої машини або механізму, а також характеру їхніх навантажень.

За характером навантажень виробничі машини і механізми розділяються на 8 видів, кожному з яких відповідає визначений режим роботи електродвигуна. Двигуни загальнопромислового призначення основного виконання з підвищеним ковзанням і багатошвидкісні можуть працювати в різних режимах відповідно до ГОСТ 28173 (МЕК 60034-1).

Основні режими роботи електродвигунів:

Тривалий режим роботи S1 - робота машини при незмінному навантаженні P і втратах PV достатньо тривалий час для досягнення сталої (незмінною) температури всіх її частин.

Короткочасний режим роботи S2 - робота машини при незмінному навантаженні P протягом часу ATP , недостатнього для досягнення всіма частинами машини сталої температури, після чого слідує зупинка машини на якийсь час, достатнє для охолодження машини до температури, не більше ніж на $2^{\circ}C$ навколишнього середовища, що перевищує температуру.

Періодичний повторно-короткочасний режим роботи S3 - послідовність ідентичних циклів роботи, кожний з яких включає час роботи при незмінному навантаженні, за яке машина не нагрівається до сталої температури, і час стоянки, за який машина не охолоджується до температури навколишнього середовища. При цьому втрати при пуску не роблять впливу на температуру частин машини.

Більшість сільськогосподарських машин і механізмів має невисоку частоту обертання ($500 \dots 600 \text{ хв.}^{-1}$ і менше). Частота обертання машин і електродвигунів співпадають рідко. Тому частоту обертання електродвигуна і вид передачі вибирають одночасно. Електродвигунам із більшою частотою обертання віддають, як правило, перевагу, тому що вони мають за інших рівних умов меншу масу і габарити, кращі електричні характеристики і меншу вартість.

Більш застосовні в сільськогосподарському виробництві електродвигуни з номінальною частотою обертання 960 1440 хв.⁻¹. Для тихохідних машин доцільно застосовувати мотор-редуктори, що випускаються промисловістю. Якщо робота електропривода пов'язана зі зміною частоти обертання і припустимо ступінчасте регулювання в діапазоні від 2:1 до 4:1, то можуть застосовуватися багато швидкісні асинхронні двигуни трифазного струму з переключенням числа пар полюсів.

Для плавного регулювання частоти обертання в різноманітних діапазонах може застосовуватися спеціальний електропривод змінного і постійного струму.

12.2 ВИМОГИ ДО МОНТАЖУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Згідно вимог ПУЕ 2007 5.3.23 електродвигуни і апарати повинні бути встановлені в такий спосіб щоб виключити можливість потрапляння на їх обмотки води, мастил, емульсій і т.д., а вібрація обладнання, фундаментів і частин будівлі не перевищувала допустимих меж.

Компоновка електромашинних приміщень (ЕМП) повинна допускати зручне транспортування і монтаж обладнання. Якщо електроустановка містить електродвигун і апарати масою 100 кг і більше то повинні бути передбачені пристосування для їх такелажу.

Частини електродвигуна, що обертаються і частини, що з'єднують електродвигуни з механізмами (муфти, шків) повинні мати огороження від випадкових торкань. Ширина проходів між фундаментами або корпусами електродвигунів, електродвигунами і частинами приміщення або обладнання повинні бути не менше 1 м. Допускається звуження проходів між виступаючими частинами машин і будівельними конструкціями до 0,6 м на довжині не більше 0,5 м.

Відстань між корпусом електродвигуна і стіною приміщення або між корпусами, а також між торцями сусідніх двигунів при наявності проходу з іншого боку повинна не менше 0,3 м при висоті двигунів до 1 м і не менше 0,6 м при висоті понад 1 м. Ширину проходу між електродвигунами і фасадом пульта або шафи керування повинна бути не меншою 2 м, а між корпусом двигуна і торцем пульта або шафи – 1 м. Електродвигуни, за винятком тих, що мають ступінь захисту не менше IP44, повинні бути установлені на відстані не менше 1 м від конструкцій приміщень, виконаних із горючих матеріалів.

Зовнішні проводи або кабелі, що приєднуються до електродвигунів, встановлених на віброізолюючих основах, на ділянці між нерухомою і рухомою частинами основи, повинні мати гнучкі мідні жили.

Електродвигуни змінного струму напругою до 1000 В вмикають без сушіння, якщо обмотка статора має опір не менше 0,5 МОм при температурі 10-30 °С. При меншому значенні опору ізоляції сушать струмом. Сушіння обмоток припиняють, якщо опір ізоляції незмінний протягом трьох годин.

12.3 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПО ТИПУ

Вибір роду струму, напруги та швидкості обертання двигунів. Для більшості сучасних виробничих механізмів застосовується електропривод з двигунами асинхронного типу.

Харчування таких двигунів на підприємствах або будівельних майданчиках здійснюється від внутрішніх електропроводок або зовнішніх електричних мереж. напруга електродвигунів вибирається залежно від їх потужності і відповідно до умов електропостачання, прийнятими для електричної установки споживача. Найбільш поширені двигуни, розраховані на напругу 380/220 в. При постійному струмі, як правило, застосовується напруга 220 в і значно рідше 440 в (переважно для великих двигунів). Асинхронні електродвигуни випускаються з синхронним числом оборотів 3000 1500 1000 750 і 600 об /хв. Фактичне число обертів двигунів трохи нижче через ковзання. Чим вище швидкість двигуна, тим менше його габарити і вага, а отже, і вартість одиниці потужності двигуна (1 кет). Високошвидкісні двигуни мають більш високі ККД і коеф в порівнянні з тихохідними двигунами тієї ж потужності. У тих випадках, коли для виконавчого механізму потрібно менше 600 об /хв, замість тихохідного двигуна краще користуватися швидкохідним двигуном з редуктором або будь-якої іншої передачею.

Вибір типу електродвигуна. При виборі типу двигуна основна увага треба звертати «а характер захисту його обмоток і струмоведучих частин від впливу навколишнього середовища. За своїм конструктивним виконанням електродвигуни в даний час випускаються двох основних типів: захищені та закриті обдуваються. Крім того, виготовляються електродвигуни: закриті продуваються, герметично закриті і закриті взривозахищені. Електродвигуни в захищеному виконанні огорожені спеціальними пристосуваннями (гратами) від попадання всередину машини дрібних предметів. Можуть виготовлятися також електродвигуни, захищені від дощу і бризок спеціальними козирками і вологостійкої ізоляцією. Застосовуються вони в особливо сирих приміщеннях з конденсацією вологи у вигляді крапель. У електродвигунів закритих обдуваються корпус щільно (але не герметично) закритий з усіх сторін. Призначаються вони для роботи в запилених і вологих приміщеннях і на відкритому повітрі.

Двигуни захищеного типу охолоджуються під час роботи повітрям, який засмоктується вентилятором ротора через отвори в підшипникових щитах (решітку) і викидається через отвір в станині. У двигунів закритих обдуваються корпус і щити не мають отворів. Охолоджується двигун змонтованим на кінці його вала зовнішнім вентилятором, що направляють повітряуздовж ребер корпусу двигуна. Герметично закриті електродвигуни мають спеціальні ущільнення, яке виключає проникнення вологи або пари всередину корпусу машини. Застосовуються вони в приміщеннях з їдкими парами або газами. Вибухозахищені електродвигуни призначаються для установки у вибухонебезпечних приміщеннях.

Деякі основні вказівки по вибору форми виконання двигунів відповідно до умов навколишнього середовища дані у наведеній нижче табл. 4. При позначенні типів модифікацій до буквенної частини додається ще одна буква: для електродвигунів з вбудованим електромагнітним гальмом - Е; з фазним ротором - К. Для вбудованих двигунів в кінці позначення додається буква В. Для електродвигунів загального застосування з алюмінієвої обмоткою статора в кінці повного позначення типу додається буква А. За способом захисту від впливу навколишнього середовища двигуни нової серії випускаються в захищеному виконанні - А2 і закриті, обдуваються - А02. Двигуни із станиною і підшипниковими щитами з алюмінієвого сплаву мають умовне позначення АЛІ2 і А0ЛІ2. Повне позначення двигуна, наприклад А2-61-2 позначає трифазний асинхронний двигун нової єдиної серії загального застосування, захищений, шостого габариту, першої довжини, двополюсний (3000 синхронних об/хв). У додатку 1 наведені основні технічні дані по електродвигунів серії А2 і А02. Електродвигуни загального застосування випускаються для різних умов монтажу. Промисловість виготовляє двигуни горизонтального виконання з станиною на лапах і зі станиною без лап і фланцем на щиті. Випускаються також двигуни вертикального виконання з станиною без лап і фланцем на щиті, які відрізняються від горизонтальних двигунів конструкцією підшипників. Машинобудівні заводи, що виробляють механічне обладнання для будівельних майданчиків, широко використовують двигуни фланцевого типу.

Для обладнання кранів випускаються спеціальні кранові асинхронні електродвигуни з контактними кільцями (серії МТ) і електродвигуни з короткозамк-нутим ротором (серії МТК). З машин постійного струму широке застосування знайшли машини серії ПН, що виконуються як двигуни і як генератори постійного струму і використовуються для механізмів, що вимагають плавного (в широкому діапазоні) регулювання швидкості обертання, нездійсненого при застосуванні асинхронних двигунів. Машини даної серії випускаються в двох виконаннях - горизонтальному і вертикальному. Двигуни

цієї серії придатні для реверсивної роботи. Вони розраховані на напругу 110220 і 440 В і мають потужність від 0,7 до 2000 кет при швидкості обертання від 600 до 2870 об /хв. Машини постійного струму (двигуни і генератори) знаходять застосування в електроприводі екскаваторів, кранів установках, електровізків, а також в перетворювальних установках. З'єднання вивідних кінців асинхронних двигунів. На заводах, що випускають електродвигуни, висновки від обмоток зазвичай зміцнюються на щитку (рис. 47 а). До трьох нижнім затискачів приєднують початку, а до верхніх - кінці обмоток. З'єднання зіркою виходить при установці пластини горизонтально, зазвичай на верхніх затискачах (живлять дроти від мережі в цьому випадку підводять до нижніх затискачів); з'єднання трикутником - при установці пластин вертикально. Якщо кінці обмоток виводяться не так на щиток, то вони маркуються спеціальними металевими обтиску (рис. 47б). Кожен висновок маркують літерою С і цифрою. У двигунах невеликої потужності позначення висновків зазвичай видавлюють на обтиску. Початок першої фази обмотки позначається маркою С1 другий - С2 третьої - С3. Кінець першої фази позначають С4 другий - С5 і третьої - С6. Обмотки кожного двигуна розраховані на певну напругу. Якщо обмотки розраховані на напругу 220 В, то, поєднуючи їх трикутником, двигун підключають до мережі напругою 220 В. При з'єднанні цих обмоток зіркою двигун можна підключити до мережі 380 В.

12.4 ВИБІР ДВИГУНА ПО ВИКОНАННЮ

Приводний електродвигун повинен відповідати всім параметрам робочої машини або механізму, електричної мережі і умов навколишнього середовища, в якій він буде працювати. Найбільш застосовні в сільському господарстві електродвигуни з номінальною частотою обертання 960-1440 хв⁻¹. Для них слід використовувати коротко замкнуті асинхронні електродвигуни. Для робочих машин з важкими умовами пуску (понад 10 с) доцільно використовувати двигуни з фазним ротором, який розвиває підвищений пусковий момент при обмеженому пусковому струмі. Для сільського господарства переважно потрібні двигуни виконання ІР 44. У сільських електричних мережах переважно поширення має система напруг 380/220 В з нульовим проводом при частоті струму 50 Гц. Завдяки такій системі від одного трансформатора може бути запитана силова і освітлювальна навантаження.

Вибір електродвигуна по потужності: в загальному випадку, для всіх режимів роботи електродвигуна справедливо умови, при якому потужність електродвигуна повинна бути дорівнює або більше потужності робочої машини.

Вибір електродвигуна за частотою обертання: при виборі частоти обертання валу електродвигуна керуються наступним:

- Електродвигуни на 3000 хв^{-1} застосовують для приводу відцентрових насосів, вентиляторів великого напору, дробарок кормів;
- Електродвигуни на 1500 хв^{-1} застосовують в більшості випадків через економічності і забезпечення легкості перетворення частоти обертання;
- Електродвигуни на 1000 хв^{-1} використовують для приводу машин з великим пусковим моментом - поршневих компресорів, вентиляторів середнього напору великої подачі і в інших випадках, коли можливе пряме з'єднання з валом робочої машини.

Вибір електродвигуна по типу: При виборі електродвигуна по типу, керуються такими даними:

- При тривалому постійному і змінному навантаженні потужністю до 100 кВт найбільш економічні асинхронні двигуни з к. 3. ротором;
- При тривалому постійному і змінному навантаженні потужністю понад 100 кВт найбільш економічні синхронні двигуни;
- При різкоперемінній навантаженні до 100 кВт застосовують асинхронні електродвигуни з підвищеним ковзанням;
- При різкоперемінній навантаженні понад 100 кВт застосовують асинхронні електродвигуни з фазним ротором.

Електродвигуни постійного струму застосовують в тих випадках, коли застосування електродвигунів змінного струму не забезпечує необхідних характеристик робочої машини або їх застосування є неекономічним.

Двигуни основного виконання призначені для застосування в помірному кліматі в будівлях промислового типу. Для приводів призначених для роботи в різних умовах навколишнього середовища, передбачений ряд спеціалізованих виконань: вогноморозостойкое, хімостойкие, пилезахищенності, тропічні, сільськогосподарського виконання.

ТЕМА 13. ЕНЕРГЕТИКА ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

13.1. ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ ТА ЕНЕРГІЇ В ЕП

Перетворення енергії в електричних машинах і трансформаторах супроводжується втратами значної її частини. Ці втрати енергії можна поділити на *основні і додаткові*.

Основні втрати в електричних машинах складаються з механічних втрат, магнітних втрат (у сталі) і втрат електричних (або, як їх ще називають) втрат у міді. В трансформаторах наявні лише два останні види втрат.

Додаткові втрати виникають як у сталевих, так і в мідних частинах машин і трансформаторів і викликані вторинними процесами електромагнітного характеру. До них відносяться втрати на вихрові струми від полів розсіювання, поверхневі втрати у сталі, пульсаційні втрати в зубцях тощо.

Всі виникаючі втрати перетворюються у теплоту і викликають нагрівання машин і трансформаторів.

Питання, що розглядаються у цій частині є загальними для всіх машин і трансформаторів з тією лише відмінністю, що в залежності від типу машини в ній можуть бути чи не бути ті чи інші види втрат.

Механічні втрати складаються з: 1) втрат у підшипниках $P_{\text{п}}$; 2) втрат на тертя щіток об колектор або контактні кільця $P_{\text{к}}$; 3) втрат на тертя об повітря, а також вентиляційні втрати $P_{\text{в.л}}$. Механічні втрати від навантаження машин не залежать, а залежать лише від частоти обертання. Вони визначаються за відповідними, відомими з механіки, формулами і складають близько 1% номінальної потужності машини. Таким чином

$$P_{\text{в.м}} = P_{\text{п}} + P_{\text{к}} + P_{\text{в.л}} \quad (13.1)$$

Втрати в сталі включають в себе втрати на гістерезис і вихрові струми, викликані перемагнічуванням сталі осердя. Ці втрати в кожній частині машини, що має і масу $G_{\text{с}}$, при будь-яких частотах f і індукції B розраховують за формулою

$$P_{\text{с}} = P_{1/50} (f / 50)^b B^2 G_{\text{с}} \quad (13.2)$$

де $P_{1/50}$ - питомі втрати для даної марки сталі при $B=1 \text{ Тл}$ і $f=50 \text{ Гц}$; $b \gg 1,5$ або трохи менше в залежності від марки сталі.

Електричні втрати складаються з втрат у міді

$$P_{\text{м}} = I^2 R \quad (13.3)$$

і перехідних втрат в контактні щіток

$$P_{\text{щ}} = D U_{\text{щ}} I \quad (13.4)$$

де $DU_{щ}$ - падіння напруги на щітковому контакті, який, згідно ГОСТ 2582-81, дорівнює 3 або 2 В відповідно для щіток без шунтів чи з шунтами.

Додаткові втрати практично не можуть бути розраховані через дуже складний характер їх виникнення. Тому для всіх електричних машин їх приймають згідно ГОСТ 11828-75, рівними 0,5-1% номінальної потужності, а для тягових двигунів, згідно ГОСТ 2582-81, - 30% втрат у сталі при номінальному навантаженні. При зміні навантаження можна вважати, що додаткові втрати змінюються пропорційно квадрату струму.

Повні втрати представляють собою суму всіх втрат

$$\Sigma p = p_{мх} + p_c + p_m + p_{щ} + p_{доп} \quad (13.5)$$

і їх можна розділити на три групи:

1. втрати, що залежать від струму, $p_0 = p_{мх} + p_c$,
2. втрати, що залежать від струму, $p_{щ}$;
3. втрати, що залежать від квадрату струму, $p_m + p_{доп}$;

Нехай $p_{щ,ном}$ - номінальне значення втрат, пропорційних струмові, а $p_{м,ном}$ - номінальне значення втрат, пропорційних квадратові струму. Тоді

$$\Sigma p = p_0 + \frac{I}{I_{ном}} p_{щ,ном} + \left(\frac{I}{I_{ном}}\right)^2 p_{м,ном} = p_0 + k_n p_{щ,ном} + k_n^2 p_{м,ном} \quad (13.6)$$

де $k_n = I / I_{ном}$ - коефіцієнт навантаження.

Перехідні втрати в контакті щіток навіть у машин постійного струму відносно малі. Їх значення у високовольтних машин невеликої потужності складає звичайно частину відсотка, а у порівняно низьковольтних машин - 2,5% повних втрат. Ця обставина дозволяє знехтувати цим видом втрат, тобто вважати. Тоді вираз (13.6) приймає вигляд

$$\Sigma p = p_0 + k_n^2 p_{м,ном} \quad (13.7)$$

13.2 .КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

ККД машини чи трансформатора представляє собою відношення корисної (віддаваної) P_2 до підведеної P_1 його можна виразити у відносних одиницях $\eta = P_2 / P_1$ або у відсотках $\eta = (P_2 / P_1) \times 100$.

Сучасні електричні машини і трансформатор мають дуже високий ККД. У машин потужністю 50 кВт він складає 85-90%, потужністю 200 кВт - 90, 92%, потужністю 400-700 кВт - 93, 95%. Потужні трансформатори мають ще вищий ККД, що досягає 99+99,5%.

Таким чином, різниця між значеннями I_2 і P_1 порівняно невелика, що накладає певні труднощі при дослідному чи аналітичному визначенні ККД. Тому для різноманітних умов зручніше визначити ККД за видозміненими формулами, маючи на увазі, що $P_1 = P_2 + Sp$.

Для двигуна, у якого легко виміряти підведену електричну потужність $P_1 = U_{\text{дв}} I$, ККД

$$h_{\text{дв}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - Sp}{P_1} = 1 - \frac{Sp}{P_1} \quad (13.8)$$

Для генератора, що віддає потужність $P_2 = U_r I$, вираз (13.8) можна представити у вигляді

$$h_r = \frac{P_2}{P_2 + Sp} = 1 - \frac{Sp}{P_2 + Sp} \quad (13.9)$$

при цьому отримується більш правильний результат, бо значення втрат Sp складає лише незначну частину корисної потужності P_2 .

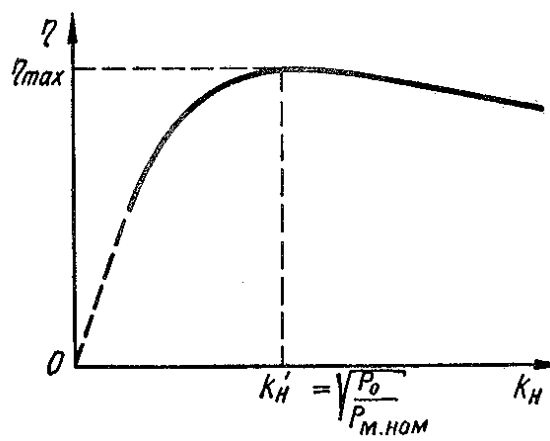
Проаналізуємо зміни ККД в залежності від навантаження, взявши для приклад генератор постійного струму, хоча аналогічний результат може бути отриманий для будь-якої машини або трансформатора.

Корисна потужність генератора, що має номінальну потужність $P_{2\text{ном}} = U_r I_{\text{ном}}$, при довільно вибраному струмі I складає

$$P_2 = U_r I = U_r I_{\text{ном}} = k_n P_{2\text{ном}}$$

Вираз (13.9) з урахуванням (13.6) при цьому набуде вигляду

$$h_r = \frac{P_2}{P_2 + Sp} = \frac{k_n P_{2\text{ном}}}{k_n (P_{2\text{ном}} + p_{\text{щ,ном}}) + p_0 + k_n^2 p_{\text{м,ном}}} \quad (13.10)$$



З (13.10) слідує, що при холостому ході ($k_H = 0$) ККД дорівнює нулеві, так як корисної потужності немає. Зі зростанням навантаження ККД швидко підвищується за рахунок збільшення корисної потужності $P_2 = k_n P_{2\text{ном}}$, але

одночасно швидше, ніж P_2 зростають втрати, пропорційні квадратові струму, $k_n^2 P_{м.ном}$. Тому зростання ККД сповільнюється і після досягнення максимуму при деякому значенні k_n ККД поступово спадає. Залежність ККД від коефіцієнта навантаження показана на рис. 13.1.

Для знаходження умов, при яких ККД досягає максимуму, візьмемо похідну від η по k_n і прирівняємо її до нуля. Зробимо це на прикладі двигуна постійного струму, коли $P_{ш}=17^6$, так що

$$\eta_{дв} = 1 - \frac{S_p}{U_{дв} I} = 1 - \frac{S_p}{U_{дв} k_n I_{ном}}$$

Тоді

Рис. 13.1. Залежність ККД від коефіцієнту навантаження електричних машин і трансфер моторів

$$\frac{d\eta_{дв}}{dk_n} = \frac{\frac{dS_p}{dk_n} U_{дв} k_n I_{ном} - U_{дв} I_{ном} S_p}{U_{дв}^2 k_n^2 I_{ном}^2}$$

Очевидно, цей дріб дорівнює нулю, якщо чисельник його дорівнює нулю,

тобто $(dS_p / dk_n) k_n - S_p = 0$, або з урахуванням (13.6)

$$(dS_p / dk_n) k_n = p_0 + k_n p_{щ.ном} + k_n^2 p_{м.ном}$$

Звідси

$$(0 + p_{щ.ном} + 2k_n p_{м.ном}) k_n = p_0 + k_n p_{щ.ном} + k_n^2 p_{м.ном}$$

Перетворивши останній вираз, отримаємо

тобто ККД досягає максимуму, коли втрати, що залежать від квадрату струму, дорівнюють втратам, що не залежать від струму.

При проектуванні машин або трансформаторів співвідношення їх втрат вибирають таким, щоб ККД був максимальним в межах навантажень, при яких машина чи трансформатор працює довший час.

Згідно ГОСТ 11828-75, втрати і ККД можна визначити двома методами

Метод безпосереднього визначення, який полягає у вимірюванні потужностей P_2 і P_1 , наприклад для машин, що мають $\eta \approx 75\%$, оскільки похибки вимірювання можуть значно спотворити справжній результат через близькість значень P_2 і P_1 . Для трансформаторів через це такий метод визначення ККД взагалі неприйнятний.

Метод непрямого визначення полягає в тому, що за даними вимірювання окремих втрат розраховують повні втрати. Наприклад, при проведенні досліду холостого ходу вимірюють струм I_0 і напругу U ; тоді $P_0 = UI_0$, Інші втрати $(p_m, p_{щ}, p_{доод})$ визначають вирахуванням згідно відповідних формул.

ККД трансформатора визначають за формулою (13.9), вважаючи, що

$$P_2 = U_{2\text{ном}} k_n I_{2\text{ном}} \cos j_2 = k_n S_{\text{ном}} \cos j_2 \quad (13.12)$$

$$Sp = p_{\text{сн}} + k_m^2 p_{\text{мн}} = P_{\text{дн}} + k P \quad (13.13)$$

де $S_{\text{ном}} = U_{2\text{ном}} I_{2\text{ном}}$ - номінальна потужність трансформатора, а $P_{\text{дн}}$ і P_k - відповідно потужності холостого ходу і короткого замикання (див. п.8.8 і 8.9).

При наявності двох цілком однакових машин постійного струму (наприклад, тягових двигунів) ККД можна визначити *методом взаємного навантаження*, поєднавши обидві машини механічно та електрично. При цьому одна машина працює двигуном, а інша - генератором: двигун обертає генератор, а генератор живить двигун електроенергією. З мережі споживається енергія, що необхідна для покриття втрат в обох випробовуваних машинах, що робить цей метод значно економним.

13.3 ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИКИ

Завдання з керування тим або іншим явищем або процесом, що виникають у повсякденній практичній діяльності людини, дуже різноманітні. Порівняно недавно сформувалась ідея єдності законів керування незалежно від того, де вони проявляються: у живому чи неживому об'єкті. **Керування** – це сукупність дій, що забезпечують проведення будь-якого процесу з метою досягнення певних результатів.

Автоматичне керування – послідовність спрямованих дій, що переводять об'єкт з деякого початкового стану до стану цільового.

Система автоматизації – сукупність спеціальних технічних засобів, що знаходяться у взаємодії і здійснюють керування технологічним процесом або його частиною. Системи автоматичного керування створюються для того, щоб автоматично, без безпосередньої участі людини підтримувати необхідний режим роботи різних об'єктів, що обслуговуються цими автоматами. Системи автоматичного керування самостійно, без будь-якого впливу ззовні або підтримують постійними, або змінюють за певними законами одну або декілька фізичних величин, які характеризують процеси, що відбуваються в об'єктах, які обслуговуються, або самі визначають залежно від низки умов потрібний або оптимальний закон керування об'єктом.

Об'єкт, у якому відбувається керований процес, називають об'єктом керування. Окремим, але особливо важливим випадком керування є регулювання, за якого вимаганий перебіг процесу створюється шляхом стабілізації одного або кількох параметрів за заданих значень. За допомогою автоматичного регулювання можна суттєво підвищити ефективність ведення технологічних процесів, створити умови для застосування надвисоких та наднизьких параметрів (температур, напруг, струмів, швидкостей тощо), вивільнити обслуговуючий персонал від безпосередньої участі в керуванні складними процесами, підвищити якість продукції, отримати можливість вести необхідний процес в умовах та місцях, недоступних для людини.

Типові форми автоматизації

Автоматизація, тобто процес передавання технічним пристроям, що називаються автоматами, функцій управління та контролю, може мати кілька форм. Розглянемо найбільш загальні схеми автоматизації, що розглядаються згідно з інформаційними критеріями, показаними на рис. 1.1.

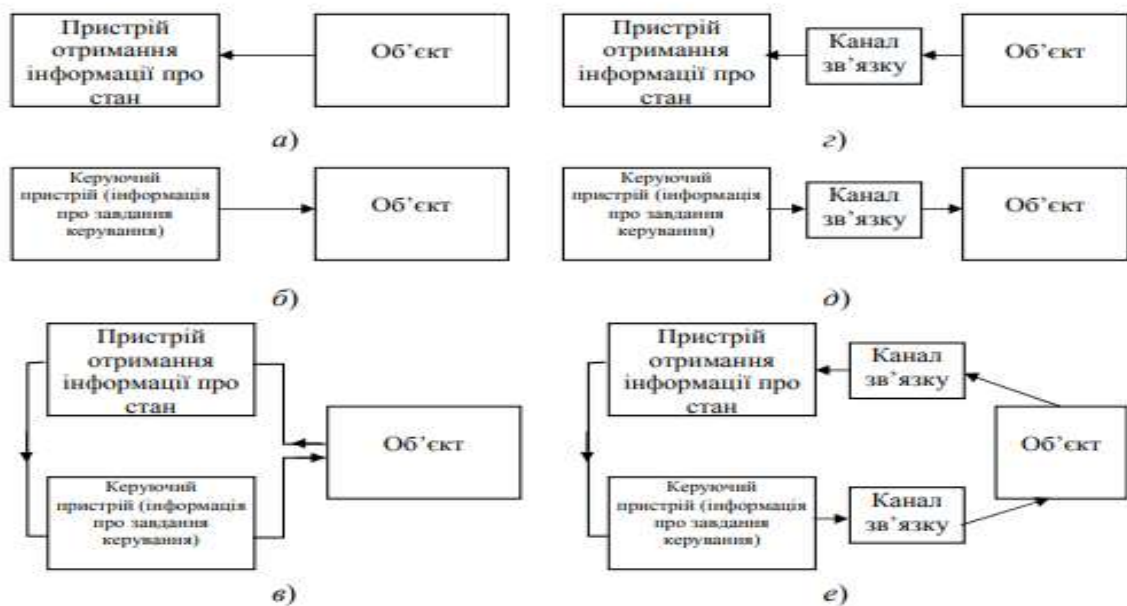


Рисунок 1.1 – Загальні схеми типових форм автоматизації

Перед автоматичною системою може стояти лише завдання збирання інформації, тобто відомостей про стан одного або кількох параметрів, що характеризують той або інший процес або об'єкт. Таке завдання вирішується пристроями автоматичного контролю. Автоматичний контроль – спостереження за об'єктом за допомогою спеціальних пристроїв-давачів з метою перевірки значень його основних параметрів.

На рис. 1.1, а показана принципова схема автоматичного контролю за станом будь-якого параметра у контрольованому об'єкті (процесі). У подібних пристроях кінцевий результат контролю може виражатися або у формі реєстрації стану параметра, або у вигляді сигналізації при настанні певних станів, у сортуванні за тими або іншими ознаками тощо. Прикладами такого роду пристроїв контролю можуть слугувати: автоматичний запис зміни температури у печі, автоматична сигналізація про порушення нормальної величини тиску газу у газопроводі або напруги в електричній мережі, відомості про розміри будь-яких виробів й т. п.

ТЕМА 14. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СХЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

14.1. КЛАСИФІКАЦІЯ ДАТЧИКІВ

Датчики (давач, датник, сенсор) – це елементи які сприймають вхідний сигнал (вхідну величину, яка контролюється наприклад тиск, температура, струм, напруга та тощо) і перетворюють його в величину зручну для передачі, зберігання, використання у системі керування.

Датчик обов'язково містить у своїй конструкції чутливий елемент і часто – перетворювальну частину. Головними ж характеристиками електронних датчиків є їх чутливість і похибка вимірювання.

Структурна схема датчика:

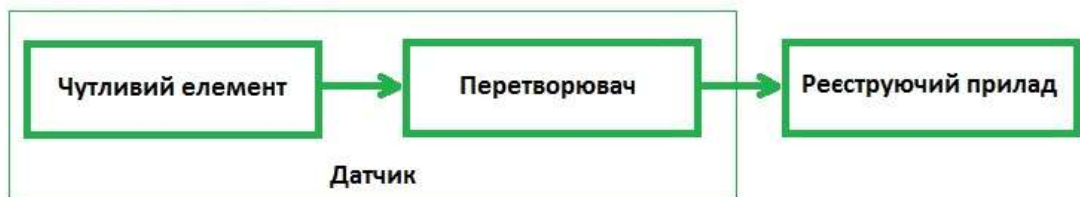


Рисунок 1.2

Класифікація за методом вимірювання (виду вхідних величин):

Активні

Електричні датчики, які перетворюють неелектричні вхідні величини в електричний сигнал, називають генераторними (активними) датчиками. Не потребують зовнішнього джерела живлення. До них відносять: термоелектричні (термопари), індукційні, п'єзоелектричні, вентильні, фотоелементи.

Пасивні

Це такі датчики, у яких зміна вхідної величини датчика викликає зміна будь – якого параметра самого датчика (До них відносяться: контактні, реостатні,

тензодатчики, потенціометричні, терморезистори, ємнісні, індуктивні. Параметричні датчики отримують енергію від допоміжного джерела живлення.

Класифікація за видом вхідного сигналу (фізичної величини, що вимірюється):

- Тиску: манометри, вакуумметри, мановакуумметри.
- Температури: манометричні термометри, термопари, термометри опору.
(Датчик температури)
- Рівня: поплавкові, кондуктометричні, ємнісні, радарні, ультразвукові.
- Витрат (витратомір): механічні лічильники витрат, перепадоміри, ультразвукові витратоміри, електромагнітні витратоміри, витратомір коріоліса, вихрові витратоміри.
- Концентрації. (датчик чадного газу)
- Радіоактивності: іонізаційна камера, датчик прямого заряду.
- Положення: кінцеві вимикачі.
- Кутового положення: сельсин.
- Вібрації
- Вологості.
- Фотодатчики (оптичні): інфрачервоний датчик руху, фотодіод.

За видом вихідного сигналу датчики бувають:

– аналогові

Виробляють аналоговий сигнал, пропорційно зміни вхідній величині. Згідно зі стандартами існує три діапазони струмових сигналів: 0 ... 5мА, 0 ... 20мА і 4 ... 20мА.

– дискретні

Виробляють дискретний сигнал послідовність імпульсів. Найпростіший датчик – звичайний механічний контакт: двері відкрили – контакт розімкнувся, закрили – замкнувся. Таким чином, датчики на основі контакту є дискретними або бінарними, мають два положення, замкнутий – розімкнути або 1 і 0.

– цифрові

Датчики, що генерують послідовність імпульсів або двійковий код;

За принципом дії:

- Волоконно-оптичні
- Оптичні (фотодатчики)
- Магнітоелектричний датчик (На основі ефекту Холла)
- П'єзоелектричний датчик
- Тензоперетворювач
- Ємнісний датчик
- Потенціометричний датчик
- Індуктивний датчик

Використання датчиків

Датчики роблять життя людини простішим та безпечнішим, автоматизують банальні та монотонні дії. Наприклад в освітленні – прожектори, світильники які підключаються до датчиків руху або освітлення в опаленні, побутові прилади також мають датчики.

Області використання датчиків дуже різноманітні: промислова техніка, вимірювання і регулювання, робототехніка, автомобілебудування, медична техніка.

14.2. МАГНІТНІ ТА ЄМНІСНІ ДАТЧИКИ

Магнітні датчики використовуються для безконтактного визначення положення в задачах, де використання індуктивних датчиків не є ефективним. Порівняно зі стандартними індуктивними датчиками наближення, магнітні мають більшу відстань спрацьовування. Оскільки магнітні поля проникають у всі немагнітні матеріали, датчики можуть виявляти магніти через стіни з нержавіючої сталі, алюмінію, пластику або дерева. Цей клас датчиків працює з використанням зовнішніх магнітних елементів.

Магнітні датчики, залежно від сфери застосування, можна розділити на датчики безпеки, рівня та наближення. Датчики безпеки використовуються зі спеціальними реле безпеки.

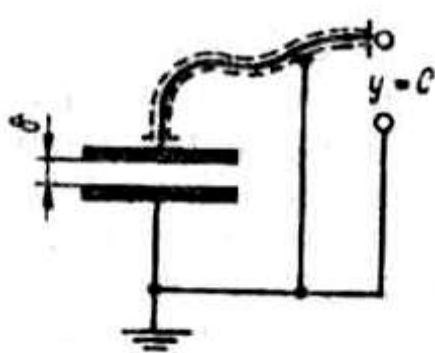
Ємнісний перетворювач становить конденсатор (як правило, плоский, рідше — циліндричний), ємність якого змінюється залежно від змін вимірювальної величини. Як відомо, ємність плоского конденсатора виражається формулою

$$C = (\epsilon S)/d,$$

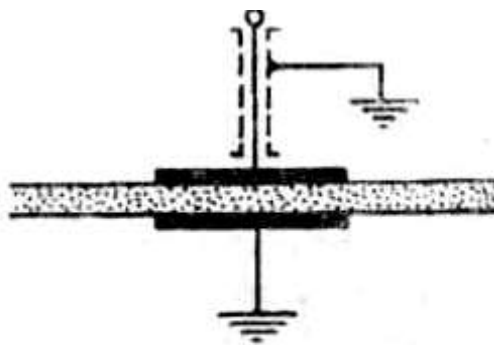
де ϵ — діелектрична проникність середовища, що заповнює простір між обкладками конденсатора; S — робоча площа обкладинок; d — віддаль між ними.

Отже, зміна ємності такого перетворювача може бути наслідком змін ϵ , S або d . Найбільшого поширення дістали плоскі ємнісні перетворювачі, вхідною величиною яких є переміщення — зміна проміжку b між електродами. Верхній електрод підключено до вимірювальної схеми екранованим проводом для того, щоб зміни ємності цього проводу не виливали на результат вимірювання.

Ємнісний перетворювач, робота якого базується на зміні діелектричної проникності середовища, зображено на рисунку 4.4 б). Між його обкладками проходить стрічка деякого діелектрика, діелектрична проникність якої змінюється (наприклад, під впливом вологості).



а)



б)

Рисунок 4.4 Ємнісні перетворювачі

Ємнісні датчики можуть бути виконані з циліндричними електродами. Застосування циліндричного ємнісного перетворювача для вимірювання рівня рідини показано на рисунку 4.5 а) (передбачається, що рідина неелектропровідна, інакше електроди слід електрично ізолювати від рідини, як на рисунку 4.5 б)

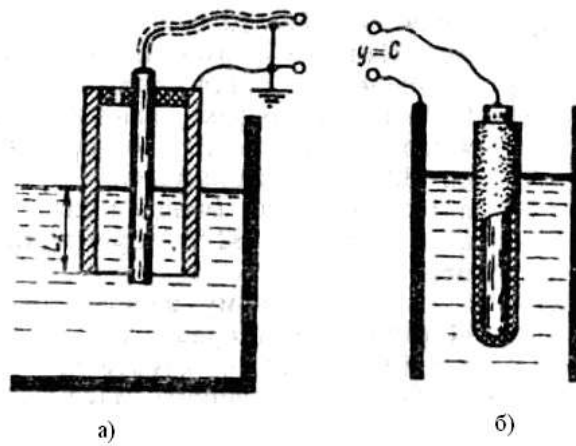


Рисунок 4.5

Датчик ємності із змінною площиною пластин є повітряним конденсатором з декількома паралельно розташованими пластинами. При цьому одна частина пластин нерухома (звично через одну пластину), а інша може повертатися на деякий кут. Такі конденсатори широко застосовуються в радіотехніці. У схемах автоматики їх використовують для вимірювання кутових переміщень. При повороті рухомих пластин змінюється значення активної площі пластин конденсатора, а значить, і значення ємності. Таким чином, ємність датчика пропорційна куту повороту валу задаючого пристрою, з яким пов'язані рухомі пластини датчика ємності.

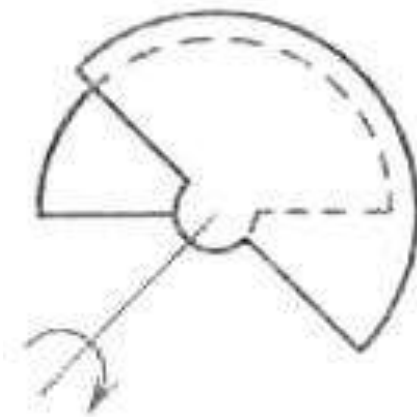


Рисунок 4.6

Переваги: висока чутливість, малі габарити та маса, мала інерційність.

Недоліки: великий внутрішній опір, вплив на роботу датчика паразитних ємностей та температури, необхідність високочастотного джерела живлення.

Ємнісні датчики тиску

У таких датчиках одна з обкладинок конденсатора є діафрагмою, яка прогинається при зміні тиску. Номінальна ємність конденсатора визначається залежністю $C = k\varepsilon S/d$, де S — площа обкладинок, ε — діелектрична постійна, d — відстань між обкладаннями, k — коефіцієнт, залежний від конструкції датчика. Як чутливі елементи використовуються кремнієві або керамічні діафрагми.

14.3 ГЕНЕРАТОРНІ ДАТЧИКИ

Генераторні датчики - це такі перетворювачі, які при механічному впливі вимірюваного сигналу генерують напругу і струм. Типи цих датчиків називаються так само, як і явища, на яких вони засновані:

1. **п'єзоелектричні** - п'єзоелектричний ефект;
2. **термоелектричні** - термоелектричний ефект;
3. **індукційні** - електромагнітна індукція;

4. фотоелектричні - вентильний фотоефект.

П'єзоелектричні датчики засновані на явищі п'єзоелектричного ефекту. Це явище виникає при механічних деформаціях кристалічних діелектриків. при деформації елементарних кристалічних осередків і зрушеннях подрешеток відносно один одного відбувається поляризація. П'єзоелектричний ефект виникає в кварці, сегнетовій солі та інших кристалах. Якщо пластини, замкнуті через неонову лампу, прикласти до кристалу, котрий володіє п'єзоелектричними властивостями, то при ударі по кристалу напруга з'являється на його гранях. Напруга з'являється і на металевих пластинах, при цьому неонові лампи спалахують.

Це явище називається *прямим п'єзоелектричним ефектом*. механічна деформація може виникати в кристалі, вміщеному в електричному полі. Це явище називається *пробратньою п'єзоелектричний ефект*. робота п'єзоелектричного датчика для запису пульсу променевої артерії заснована на явищі прямого п'єзоелектричного ефекту.

Основним елементом датчика є пластина з сегнетоелектрика, яка одним кінцем зміцнюється на зап'ястті, а інший її кінець стосується стінки артерії. Коливання стінки артерії викликають деформацію вигину пластинки. змінна різниця потенціалів збуджується при цьому на поверхні пластинки. Різниця потенціалів повторює за формою коливання стінки артерії. Вона віддається до підсилювача за допомогою електродів і проводів, а потім до реєструючого пристрою. Крива, записана при цьому, називається сфігмограмою.

термопара застосовується в якості термоелектричного датчика. Термопара це спай двох провідників з різних металів. Термopари застосовуються для вимірювання температур. Показання вимірювального приладу, підключеного до вільних кінців термopари, пропорційні різниці температур цих спаяних решт.

Термопара має переваги перед ртутним термометром внаслідок великої чутливості і відсутності теплової інерції. однак по зручності вимірювань вона значно гірше термистора. термобатарея застосовується в тих випадках, коли

одна термопара є недостатньо чутливою. Термопари можуть бути виготовлені з напівпровідників з різною провідністю (n-типу і р-типу).

Механічні переміщення постійного магніту, розташованого між двома нерухомими котушками (або навпаки) викликають у них індукційний струм. Це явище використовується в індукційному датчику.

Струм, індукований при зсувах котушок щодо магніту, передається на підсилювач і пристрій. Їх застосовують для прямої балістокардіографії.

Принцип дії фотоелектричних датчиків заснований на залежності їх опору від освітлення і радіаційного опромінення.

ТЕМА 15. ПРИНЦИП ПОБУДОВИ ЗАМКНЕНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

15.1. ЗАМКНУТІ СИСТЕМИ ЕП

Для того, щоб підтримувати $M_{кр} = \text{const}$, необхідно використовувати замкнуті системи ЕП, що дозволяють одночасно з числом пар полюсів змінювати рівень напруги на статорі двигуна. **Переваги аналізованого способу регулювання:**

- регулювання економічне, не зв'язано з суттєвими втратами енергії (хоча при збільшенні числа пар полюсів дещо збільшуються електричні і магнітні втрати);
- штучні механічні характеристики мають таку ж жорсткість, як і природна;
- спосіб простий у реалізації.

Недоліки:

- можливість тільки ступінчатого регулювання швидкості;
- можливість одержання обмеженого числа характеристик;
- величина критичного моменту залежить від схеми включення;
- із збільшенням числа характеристик число виводів обмотки також збільшується, що призводить до ускладнення комутаційного пристрою.

15.2. СИСТЕМИ ПІДЛЕГЛОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Системи електроприводу з підлеглим контуром струму отримали первинне застосування в електроприводах постійного струму (див. Рис. 6.20). Токовий контур складається з регулятора струму РТ, зазвичай пропорційно-інтегрального типу. На його вхід через резистор $R1$ подається сигнал завдання струму якоря U_{π} , а через резистор RS - сигнал негативного зворотного зв'язку $U_{от}$ по струму якоря двигуна M . Первинним датчиком струму якоря двигуна служать два трансформатора струму $TA1$ і $TA2$. Датчик струму

включає також в себе діодний випрямляч $VD1 \dots VD4$, згладжує фільтр на конденсаторі $C1$ і дільник напруги $R3$. Призначенням датчика струму є перетворення струму якоря в пропорційне йому напругу зворотного зв'язку по струму $U_{от}$, відповідне стандартному напрузі системи управління, а також забезпечення гальванічної розв'язки силового ланцюга і схеми управління.

Перетворювач виконаний на тиристорах $KS1 \dots KS6$. Управління тиристорами здійснює система імпульсно-фазового управління.

Зовнішній контур здійснює регулювання швидкості двигуна. Регулятор швидкості РС в даному випадку пропорційно-інтегрального типу. На його вхід через резистор $R4$ подається сигнал завдання швидкості $U_{ж}$, а через резистор $R5$ - сигнал негативного зворотного зв'язку $U_{ос}$ по швидкості двигуна. Первинним датчиком швидкості є тахогенератор BR . Конденсатор C_4 виконує роль фільтра низьких частот, що згладжує комутаційні і колекторні коливання напруги тахогенератора. Резистори R_{11} і R_{10} утворюють дільник, що забезпечує напругу зворотного зв'язку по швидкості $U_{ос}$, відповідне стандартному напрузі системи управління.

Датчики струму і швидкості також представлені апериодическими ланками з коефіцієнтами передачі k_v і k_s і постійними часу T_v і T_s відповідно.

Відмінність схеми рис. 6.21 від класичної двухконтурной підлеглого регулювання полягає в наявності сигналу негативного зворотного зв'язку по ЕРС двигуна, показаної на малюнку пунктиром.

Так як контур струму налаштовують виходячи з необхідності обмеження струму якоря двигуна на допустимому рівні, то при аналізі схеми внутрішньої зворотним зв'язком по ЕРС двигуна нехтують, а контур налаштовують на оптимум по модулю. При такому підході регулятор струму виходить пропорційно-інтегрального типу з функцією передачі

$$W_{pt}(p) = k_{pt} \left(1 + \frac{1}{T_{pt} \cdot p} \right), \quad (6.32)$$

де $T_{pt} = T_{яц}$ - постійна часу регулятора, с;

$k_{pt} = \frac{T_{яц} \cdot R_{яц}}{a_{пт} \cdot k_n \cdot k_t \cdot T_{пт}}$ - коефіцієнт передачі регулятора струму;

$a_{пт} = 1 - 6$ - коефіцієнт настройки на модульний оптимум контуру струму;

$a_{пт} = 2$ - стандартний коефіцієнт настройки.

На рис. 6.21 прийняті наступні позначення:

k_n - коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача;

$k_t = \frac{U_{тг. max}}{I_{дк. max}}$ коефіцієнт зворотного зв'язку по струму;

$U_{\text{тг, max}}$ - максимальна напруга завдання на струм двигуна;

$I_{\text{дв. max}}$ - максимально допустимий струм якоря двигуна;

$T_{\text{мт}} = T_0 + T_1$ - сумарна мала постійна часу;

$$T_n = \frac{1}{2 \cdot m \cdot f_1}$$
 - постійна часу тиристорного перетворювача;

m - число керованих полуперіодів напруги за період напруги мережі живлення;

f_1 - частота мережі живлення.

З пропорційно-інтегральним регулятором струму статична похибка регулювання струму прагне до нуля, так як такий регулятор теоретично має нескінченно великий коефіцієнт посилення.

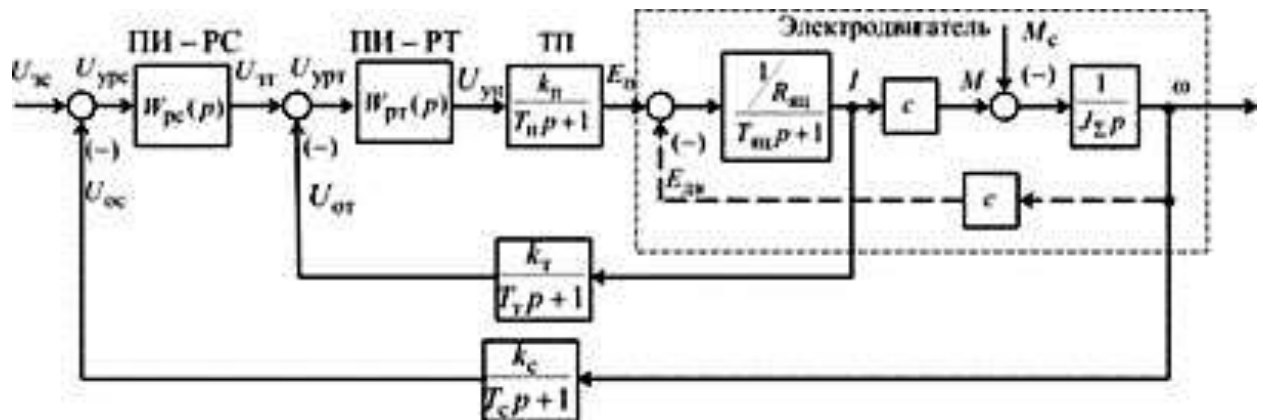


Рисунок 6.21. Структурна схема лінеаризованої двохконтурної системи електроприводу, виконаного за принципом підлеглого регулювання

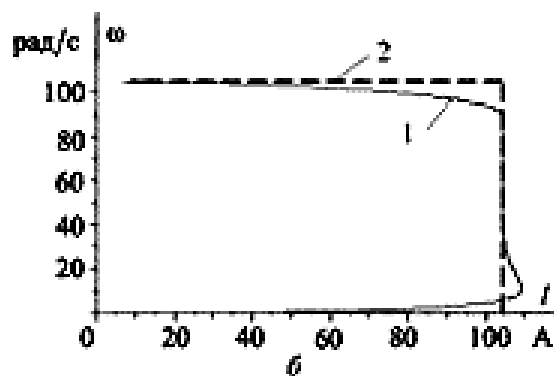
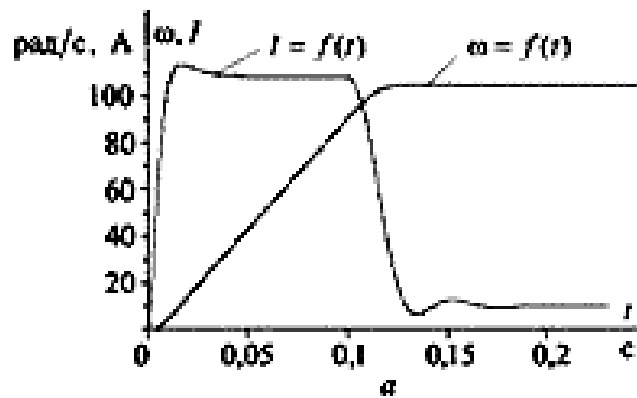


Рисунок 6.22. Графіки перехідних процесів струму та швидкості (а) і динамічна електромеханічна характеристика пуску двигуна при максимальному заданому напрузі (б)

Контур швидкості налаштовується на модульний (МО) або симетричний (СО) оптимум.

При налаштуванні контуру швидкості на модульний оптимум регулятор швидкості виходить пропорційного типу з функцією передачі

$$W_{pc}(p) = k_{pc} = \frac{J_{\Sigma} \cdot k_{\tau}}{c \cdot k_c \cdot a_{\mu c} \cdot T_{\mu c}}, \quad (6.33)$$

де J_{Σ} - момент інерції електроприводу; $a_{\mu c} = 2$ - стандартний коефіцієнт

настройки на модульний оптимум; $k_c = \frac{U_{\text{н. max}}}{\omega_{\text{н}}}$ - коефіцієнт зворотного зв'язку

по швидкості; $U_{зс. \max}$ - максимальна напруга завдання швидкості двигуна; ω_n - номінальна швидкість двигуна; z - коефіцієнт ЕРС і електромагнітного моменту двигуна при номінальному потоці збудження; $T_{pc} = \alpha_{pc} \cdot T_{pt} + T_c$ - сумарна мала постійна часу.

Під час прийому симетричний оптимум регулятор швидкості виходить пропорційно-інтегрального типу з функцією передачі

$$W_{pc}(p) = k_{pc} \left(1 + \frac{1}{T_{pc} \cdot p} \right), \quad (6.34)$$

де $T_{pc} = 4 \cdot T_{pc}$ - постійна часу регулятора швидкості ПІ-типу.

Коефіцієнт підсилення регулятора швидкості ПІ-типу також визначається за рівнянням (6.33).

Електропривод з ПІ-регулятором швидкості має меншу швидкодію при відпрацюванні керуючого впливу, але в ньому теоретично відсутня похибка підтримки швидкості при зміні моменту на валу двигуна. Динамічні провали швидкості при стрибкоподібному зміні навантаження на валу двигуна притаманні обом типам регуляторів.

Графіки перехідних процесів швидкості $\omega = f(t)$ і струму $I = f(t)$ при відпрацюванні стрибка задає напруги наведені на рис. 6.22, а. На рис. 6.22, б показана динамічна електромеханічна характеристика електроприводу, побудована за результатами розрахунку перехідних процесів. Як впливає з результатів розрахунку, динамічна похибка електроприводу з ПІ-регуляторами швидкості і струму не дорівнює нулю на всіх етапах розгону двигуна. Струм якоря двигуна перевищує значення $I_{дв. \max}$ в перші моменти часу протікання перехідних процесів в електроприводі за рахунок інерційного в контурі струму. Для порівняння на рис. 6.22, б зображена статична електромеханічна характеристика електроприводу, крива 2.

Для виведення рівняння статичної електромеханічної характеристики електроприводу, що працює в режимі стабілізації швидкості, складемо систему

рівнянь, що описують елементи і зв'язку в електроприводі. При цьому будемо вважати, що струм якоря безперервний, а активні опори перетворювача, включені послідовно з обмоткою якоря двигуна, віднесемо до якоря двигуна.

На першій ділянці електромеханічної характеристики (струм якоря двигуна $0 \leq I \leq I_{\text{дв. max}}$) в електроприводі одночасно діє негативний зворотний зв'язок по току і негативний зворотний зв'язок по швидкості. Система рівнянь для цього режиму роботи електроприводу запишеться в наступному вигляді:

$$\begin{aligned}
 U_{\text{урс}} &= U_{\text{зс}} - U_{\text{ос}}; \\
 U_{\text{ос}} &= k_{\text{с}} \cdot \omega; \\
 U_{\text{пт}} &= k_{\text{рс}} \cdot U_{\text{урс}}; \\
 U_{\text{урт}} &= U_{\text{пт}} - U_{\text{от}}; \\
 U_{\text{от}} &= k_{\text{т}} \cdot I; \\
 U_{\text{уп}} &= k_{\text{рт}} \cdot U_{\text{урт}}; \\
 E_{\text{п}} &= k_{\text{п}} \cdot U_{\text{уп}}; \\
 E_{\text{п}} &= U_{\text{дв}}; \\
 U_{\text{дв}} &= E_{\text{дв}} + I \cdot R_{\text{яц}}; \\
 E_{\text{дв}} &= c \cdot \omega.
 \end{aligned} \tag{6.35}$$

Вирішимо систему рівнянь (6.35) щодо кутової швидкості ω , отримаємо

$$\omega = \frac{k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{п}} \cdot k_{\text{рт}} \cdot k_{\text{рс}} \cdot U_{\text{зс}}}{1 + k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{п}} \cdot k_{\text{рт}} \cdot k_{\text{рс}} \cdot k_{\text{с}}} - I \frac{k_{\text{дв}} \cdot (R_{\text{яц}} + k_{\text{п}} \cdot k_{\text{рт}} \cdot k_{\text{т}})}{1 + k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{п}} \cdot k_{\text{рт}} \cdot k_{\text{рс}} \cdot k_{\text{с}}}, \tag{6.36}$$

де $k_{\text{дв}} = 1/c$ - коефіцієнт передачі двигуна, керованого по ланцюгу обмотки якоря зміною напруги; $R_{\text{яц}} = R_{\text{дв.гор}} + R_{\text{п}}$ - опір якорного ланцюга двигуна, яка дорівнює загальній кількості опорів двигуна і перетворювача.

Інші параметри позначені відповідно до структурної схемою (див. Рис. 6.21).

У разі застосування в електроприводі ПІ-регуляторів швидкості та струму, що мають в статиці коефіцієнти посилення, рівні власним коефіцієнтами посилення операційних підсилювачів, на базі яких вони виконані, електромеханічна характеристика електроприводу в режимі стабілізації швидкості прагне до горизонтальної прямої, паралельної осі абсцис:

$$\begin{aligned} \lim \omega &\rightarrow \frac{U_{\infty}}{k_c}; \\ k_{pc} &\rightarrow \infty; \\ k_{pi} &\rightarrow \infty. \end{aligned} \quad (6.37)$$

Так як власні коефіцієнти посилення операційних підсилювачів мають хоча і велику, але все ж кінцеву величину ($k_{oy} = 20000 \div 40000$), швидкість двигуна ω буде падати зі збільшенням навантаження на його валу. Его буде приводити до зростання напруги на виході регулятора швидкості. При деякому значенні струму якоря двигуна $I_{\text{дв. max}}$ регулятор швидкості входить в режим насичення і на його виході встановлюється максимально можлива напруга насичення $U_{\text{т. max}}$. Подальше зростання навантаження на валу двигуна не призводить до зміни напруги на виході регулятора швидкості. Негативний зворотний зв'язок по швидкості відключається. В електроприводі залишається діяти тільки одна негативний зворотний зв'язок по току. Електропривод переходить в режим стабілізації струму якоря.

Для виведення рівняння електромеханічної характеристики електроприводу, що працює в режимі стабілізації струму, складемо систему рівнянь, що описують елементи і зв'язку в електроприводі:

$$\begin{aligned}
U_{урт} &= U_{эт. max} - U_{от}; \\
U_{от} &= k_T \cdot I; \\
U_{уп} &= k_{рТ} \cdot U_{урт}; \\
E_n &= k_n \cdot U_{уп}; \\
E_n &= U_{дв}; \\
U_{дв} &= E_{дв} + I \cdot R_{яц}; \\
E_{дв} &= c \cdot \omega.
\end{aligned} \tag{6.38}$$

Рішення системи рівнянь (6.38) щодо кутової швидкості ω дозволяє отримати рівняння електромеханічної характеристики електроприводу в режимі стабілізації струму якоря:

$$\omega = k_{дв} \cdot k_n \cdot k_{рТ} \cdot U_{эт. max} - I \cdot k_{дв} \cdot (R_{яц} + k_n \cdot k_{рТ} \cdot k_T), \tag{6.39}$$

При великих коефіцієнтах посилення регулятора струму $k_{рТ}$ електромеханічна характеристика (6.39) набуває вигляду

$$\begin{aligned}
\lim \omega &\rightarrow \infty - I \cdot \infty; \\
k_{рТ} &\rightarrow \infty.
\end{aligned} \tag{6.40}$$

Аналіз виразу (6.40) показує, що електромеханічна характеристика електроприводу в режимі стабілізації струму якоря - вертикальна пряма зі швидкістю ідеального холостого ходу, рівній нескінченності, і коефіцієнтом при аргументі I , також рівному нескінченності. Так як власний коефіцієнт підсилення операційного підсилювача регулятора струму має все-таки кінцеву величину ($k_{оп} = 20000 \div 40000$), то швидкість двигуна ω на ділянці стабілізації струму якоря буде падати зі збільшенням навантаження на валу двигуна.

Вирішимо вираз (6.39) щодо струму якоря I , отримаємо

$$I = \frac{k_n \cdot k_{pt} \cdot U_{ст. max}}{R_{яц} + k_n \cdot k_{pt} \cdot k_T} k_{дв} - \frac{\omega}{k_{дв} \cdot (R_{яц} + k_n \cdot k_{pt} \cdot k_T)} \quad (6.41)$$

При великих коефіцієнтах посилення регулятора струму в статиці (6.41) перетвориться до виду

$$\begin{aligned} \lim I &\rightarrow \frac{U_{ст. max}}{k_T} = I_{дв. max}; \\ k_{pt} &\rightarrow \infty. \end{aligned} \quad (6.42)$$

ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Самостійна робота на тему:

**Розрахунок потужності електроприводу, вибір
і перевірка електропроводів за
нагріванням**

**Виконав: студент 3 курсу
ЕТЕС 2001
Пимоненко Б.В.
Перевірів: Рясна О.В.**

Суми 2023

Визначення потужності і вибір типу електродвигуна

Рекомендована напруга електромережі для сільськогосподарського виробництва 220/380В. Частіше всього використовуються асинхронні двигуни змінного струму, при великих потужностях використовують синхронні двигуни. Частіше всього в якості приводу використовуються двигуни асинхронні типу 4АМ, або АІР, з частотою обертання привідного валу 1000-3000 об/хвилину. Більше 90% асинхронних двигунів, задіяних в сільськогосподарському виробництві мають частоту обертання привідного валу 1500 об/хвилину. Потужність електродвигуна для приводу сільськогосподарських машин залежить від продуктивності машини, з урахуванням коефіцієнту передачі і коефіцієнту запасу потужності.

Розрахункова потужність електродвигуна $P_{дв.розр}$, кВт, визначається за виразом:

$$P_{дв.розр} = \frac{P_{маш}}{\eta_{заг}} \cdot K_{зап}; \quad (\text{кВт})$$

де, $P_{маш}$ - потужність споживана робочою машиною, (кВт);

$\eta_{заг}$ - загальний К.К.Д. передач від валу електродвигуна до валу робочої машини;

$K_{зап}$ - коефіцієнт запасу потужності електродвигуна;

Загальний коефіцієнт корисної дії передач від валу двигуна до валу робочої машини визначаємо за виразом:

$$\eta_{заг} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_n;$$

Таблиця №3. *Коефіцієнт опору переміщення в залежності від подачі і типу ланцюга.*

Тип ланцюга	Подача, тонн/годину					
	5	10	20	30	40	50
<i>Втулочно роликовий</i>	2	1,6	1,2	1,1	1,0	1,0
<i>Крючковий</i>	4,2	3,0	2,2	1,8	1,5	1,2

Таблиця №4. *Коефіцієнти корисної дії і передавальні коефіцієнти передач*

Тип передачі	Закрита передача(η)	Відкрита передача (η)	Передавальний коефіцієнт (i)
1	2	3	4
<i>Пряма передача</i>	-	10	1,0
<i>Клинопасова передача</i>	-	0,96	2...5
<i>Пасова передача</i>	-	0,97	2...4
<i>Хвильова</i>	0,8-0,92	-	-
<i>Черв'ячна</i>	0,7...0,8	-	10...80
<i>Ланцюгова</i>	0,97	0,93	2...6
<i>Планетарна з роздвоєним сателітом</i>	0,85-0,92	-	6,3...8
<i>Планетарна з однорядним сателітом</i>	0,9-0,95	-	3,15...6,3
<i>Зубчата конічна передача</i>	0,95-0,97	0,93-0,95	2...4
<i>Зубчата циліндрична передача</i>	0,96-0,98	0,93-0,95	2,5...4,5

Тривалий режим роботи (s1)

Розрахункова потужність двигуна $P_{\text{дв.розр.}}$ визначається за виразом:

$$P_{\text{дв.розр.}} = \frac{P_{\text{маш.екв.}}}{\eta_{\text{пер}}}, \quad (\text{кВт})$$

$\eta_{\text{пер}}$ - коефіцієнт корисної дії передачі;

За умовою вибираю електродвигун:

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

Короткочасний режим роботи (s2)

Визначаю розрахункову потужність $P_{\text{дв.розр.}}$ за виразом:

$$P_{\text{дв.розр.}} = \frac{P_{\text{маш.екв.}}}{K_m} \quad (\text{кВт})$$

де, K_m - коефіцієнт, який враховує нерівномірність механічного перевантаження ($K_m = 1,5-2,2$).

За умовою попередньо вибираємо тип електродвигуна:

$$P_{\text{дв.ном.}} \geq P_{\text{маш.екв.}} \quad (\text{кВт})$$

Записуємо його технічні паспортні дані.

Визначаємо сталу часу нагрівання T_H , *хвилин* електродвигуна:

$$T_H = 6 \cdot \frac{m_{\text{дв.}} \cdot \tau_{\text{доп}} \cdot \eta_{\text{ном.дв.}}}{P_{\text{ном.дв.}} \cdot (1 - \eta_{\text{дв.ном.}})} \quad (\text{хвилин})$$

де, $m_{дв}$ - маса електродвигуна, кг;

$\tau_{доп}$ - допустима температура нагрівання ізоляції електродвигуна, °C;

$\eta_{ном.дв.}$ - номінальний коефіцієнт корисної дії електродвигуна.

Визначаємо допустиму температуру нагрівання ізоляції $\tau_{доп}, ^\circ C$ двигуна:

$$\tau_{доп} = \tau_{кл.изол.} - \tau_{навк.серед.} (^\circ C)$$

де, $\tau_{кл.изол.}$ - допустима температура нагрівання обмоток електродвигуна, (визначається класом ізоляції), °C;

$\tau_{навк.серед.}$ - максимальна температура навколишнього середовища, °C
($\tau_{навк.серед.} = +40^\circ C$);

Визначаємо більш точно коефіцієнт механічного перенавантаження K_M' :

$$K_M' = \frac{\alpha + 1}{1 - e^{-\frac{t_{роз}}{T_H}}} - \alpha$$

де, α - коефіцієнт, який враховує нерівномірність навантаження, (при розрахунках приймається $\alpha = 0,5 \dots 0,7$).

Більш точно визначаємо розрахункову потужність

електродвигуна $P'_{дв.розр.}, кВт$:

$$P_{дв.розр.}' = \frac{P_{маш.екв.}}{K_M'} \quad (кВт)$$

За умовою остаточно вибираємо електродвигун:

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

Вибір і перевірка проводів та кабелів за нагріванням

Як указувалося, для вибору перерізів і перевірки проводів та кабелів щодо нагрівання струмами навантаження користуються довідковими таблицями граничнодопустимих струмів, складеними для різних марок проводів і умов прокладки. Ці таблиці поміщені в ПУЕ і є загальнодержавними нормативами.

Навантаження, що наведені в цих таблицях, визначені виходячи із середніх значень температури навколишнього середовища і граничнодопустимих температур проводів і кабелів.

Температура навколишнього повітря θ_0 для голих проводів повітряних ліній передачі прийнята рівною в середньому $+25^{\circ}\text{C}$. Залежно від районів спорудження ліній середні значення температур можуть коливатися від $+15^{\circ}\text{C}$ у північних районах до $+35^{\circ}\text{C}$ у південних. За наявності тривалих спостережень по даному району необхідно як розрахункову температуру приймати середньомісячну температуру в 13 год за найбільш жаркий місяць (5°C) варто перераховувати чи користатися наведеними в [2, 9] поправковими коефіцієнтами.

Температуру навколишнього повітря для голих та ізольованих проводів і кабелів, що прокладаються всередині будинків, і для кабелів, що прокладаються в каналах і блоках, приймають також рівною в середньому $+25^{\circ}\text{C}$. При необхідності її можна уточнити відповідним перерахуванням за фактичними максимальними середньомісячними температурами для даних приміщень чи за середньодобовою температурою за найбільш жаркий день (при прокладці кабелів на повітрі).

Для кабелів, що прокладаються в землі чи воді, середню температуру варто приймати рівною середньодобовій для даної місцевості за найбільш жаркий місяць. Таблиці складені виходячи із середньої температури $\theta_0 = +15^{\circ}\text{C}$. Граничнодопустимі температури нагрівання встановлені залежно від марки проводів і кабелів та матеріалу ізоляції. Так, для голих проводів повітряних ліній і голих проводів, що прокладаються всередині будинків, встановлена

припустима температура не вища 70°C . Для повітряних ліній ця температура обумовлена властивостями сполучних контактів, нагрівання яких понад цю температуру приведе до інтенсивної корозії і зростання їхніх перехідних опорів. Крім того, нагрів контакту до більш високої температури викликає його ослаблення при наступному охолодженні, що приводить до додаткового збільшення його опору і до подальшого перегрівання, що загрожує зрештою порушенням роботи лінії. Даними експлуатаційних спостережень установлено, що зазначена гранична температура проводу гарантує нормальну роботу сполучних контактів.

Названа вище граничнодопустима температура для голих проводів, що прокладаються всередині приміщень, визначається, крім зазначених вище розумінь, ще і вимогами пожежної безпеки і гігієнічними вимогами. Необхідно, щоб легкозаймисті матеріали, що випадково потрапляють на нагрітий провід, не спричиняли пожежу та не виділяли шкідливих газів, які викликають подразнення слизових оболонок. Ці гази можуть виділятися від пилу, що осідає на гарячому проводі і піддається сухій перегонці при високих температурах.

Для ізольованих проводів і кабелів встановлена граничнодопустима за умовами стійкості застосовуваної в них ізоляції температура нагрівання $50\text{--}80^{\circ}\text{C}$. Вона залежить від робочої напруги кабелів і типу застосовуваної ізоляції: паперова, поліхлорвінілова, від наявності і складу просочувальної маси, ізоляційної олії (для маслонаповнених кабелів 110–220 кВ) тощо. Нагрівання й охолодження кабелю при змінних навантаженнях приводить також до того, що різні складові частини його (оболонка, ізоляція, просочувальна маса тощо), які мають неоднакові коефіцієнти розширення, деформуються. Цей процес може виявитися необоротним і привести до утворення в ізоляції кабелю газових краплень. При високих напругах у цих місцях кабелю виникають градієнти потенціалів значної величини, що може привести до іонізації газів і пробою кабелю.

У ПУЕ поміщені таблиці, в яких зазначені граничні температури й допустимі значення струмів навантаження за нагріванням для різних марок

проводів і кабелів і для різних умов їхньої прокладки. Користування цими таблицями для вибору допустимих навантажень на проводи, шнури і кабелі, що прокладаються в повітрі, а також на кабелі, що прокладаються у воді, не становить яких-небудь ускладнень. Середовище, що оточує в цих випадках провідники струму, має рухомість, що сприяє їхньому охолодженню і дозволяє при виборі допустимих навантажень за табл. П.2-4 – П.2-8 [2] не зважати на число кабелів, що прокладаються поруч. Трохи складніше встановлення допустимих навантажень на кабелі, що прокладаються в земляних траншеях, тому що віддача тепла від них визначається багатьма факторами, у тому числі і такими, як теплопровідність ґрунту, число кабелів у траншеї, їх відстань один від одного, а також наявність захисних труб, у яких звичайно прокладаються кабелі на перетинанні вулиць і підземних споруджень.

Допустимі тривалі струмові навантаження на кабелі прийняті з розрахунку прокладання одного кабелю в траншеї на глибині 0,7–1,0 м при температурі землі 15°C. При прокладанні кабелів у сухих піщаних і кам'янистих ґрунтах їхні допустимі навантаження значно менші і визначаються спеціальним розрахунком чи встановлюються дослідним шляхом.

Прокладання поруч декількох кабелів у земляній траншеї погіршує умови тепловіддачі в ґрунт через тепловий вплив кабелів один на одного. В цих випадках навантаження, зазначені в згаданих таблицях, повинні бути зменшені введенням поправочного коефіцієнта на число кабелів (без урахування резервних). Цей коефіцієнт зазначений у табл. П.2-9 [2].

Допустимі тривалі струмові навантаження на одиничні кабелі, що прокладаються в землі, в трубах довжиною більш 10 м без штучної вентиляції в них, повинні прийматися за таблицями навантажень для кабелів, що прокладаються в повітрі. Оскільки, однак, температура повітря в трубах дорівнює температурі землі, необхідно зробити перерахування навантажень у бік їхнього збільшення шляхом уведення поправкового коефіцієнта на температуру навколишнього середовища з табл. П.2-10 [2]. Шукане навантаження можна визначити також за формулою:

$$I_{\text{доп.шук}} = I_{\text{доп.в}} \sqrt{\frac{\theta_{\text{ж}} - \theta_3}{\theta_{\text{ж}} - 25}},$$

де $I_{\text{доп.в}}$ – допустиме вихідне навантаження, взяте з таблиць, для кабелів, прокладених у повітрі; $\theta_{\text{ж}}$ – граничнодопустима температура жил кабелів; θ_3 – розрахункова температура землі на глибині прокладання кабелю; за відсутності даних $\theta_3 = +15^\circ \text{C}$.

Якщо кілька кабелів прокладено поруч у трубах, то допустиме на кожен кабель навантаження зменшується, що враховується поправковим коефіцієнтом з табл. П.2-9 [2], та залежить від числа кабелів і відстані між трубами.

На практиці часто зустрічаються змішані прокладки кабельних ліній по трасі. Так, наприклад, від блока розподільного пристрою кабельну лінію спочатку прокладають по підвалу чи по кабельному каналу станції, потім – по земляній траншеї поодиночці чи разом з іншими кабельними лініями, а на перетинаннях вулиць – у трубах. У цьому випадку допустиме тривале навантаження кабельної лінії треба визначати, виходячи з допустимих навантажень для ділянки з найгіршими умовами охолодження, якщо ця ділянка має довжину більше 10 м.

Деякі кабельні лінії змішаної прокладки мають ділянки великої довжини з кращою теплопровідністю. З метою зниження капітальних витрат для таких ліній іноді беруть кабелі з різними перерізами на різних ділянках, причому кожен з цих перерізів повинен відповідати вимогам граничного навантаження щодо нагрівання, якщо це припустимо за економічною щільністю струму.

Припустимі тривалі навантаження на кабелі, що прокладаються в блоках, залежать від конфігурації блоків, конструкції кабелів (перерізу жил і товщини ізоляції), місця розташування кабелів в осердях блока і середньодобового навантаження блока в цілому. Через складність урахування всіх цих факторів допустимі навантаження визначаються емпірично – методом, наведеним у

ПУЕ. Слід зазначити, що припустимі навантаження на кабелі в блоках значно нижчі, ніж за інших умов прокладання.

У табл. П.2-11 [2] подані припустимі навантаження для поодиноких кабельних ліній напругою 110 і 220 кВ при прокладанні їх у землі і на повітрі. Як видно з таблиці, навантаження на маслонаповнені кабелі, прокладені в землі, на відміну від кабелів з в'язким просоченням напругою до 35 кВ включно, значно нижчі, ніж при прокладанні їх у повітрі. Це пояснюється тим, що зовнішній тепловий опір кабелю при прокладанні його в повітрі різко падає зі збільшенням діаметра кабелю, тоді як при прокладанні в землі він практично незмінний і при діаметрах кабелів 140 – 200 мм майже у два рази вищий, ніж зовнішній тепловий опір тих же кабелів у повітрі.

При прокладанні в землі двох паралельних кабельних ліній середнього тиску, відстань між якими становить 500 мм, навантаження знижується на 10%. Для кабельних ліній високого тиску, у яких відстань становить 800-1000 мм, навантаження знижується на 5%.

Перевірці за допустимим нагріванням струмом навантаження підлягають усі без винятку провідники електричної мережі. Як розрахункові умови повинні братися до уваги не тільки нормальні умови роботи мережі, але й аварійні чи ремонтні режими, під час яких можливий нерівномірний розподіл нормальних величин струму. При перевірці на нагрівання виходять з півгодинного максимуму навантаження, що являє собою максимальне із середніх півгодинних навантажень даного елемента мережі.

При повторно-короткочасних навантаженнях припустимо знижувати розрахункове навантаження, замінюючи дійсне короткочасне навантаження $I_{кр}$ зведеним тривалим $I_{зв.тр}$ залежно від тривалості робочого періоду.

У процесі експлуатації кабельних ліній при переході на ремонтний чи аварійний режими для кабелів напругою до 10 кВ включно можуть допускатися навантаження понад установлені значення: на 25% – для кабелів, прокладених у траншеї і на повітрі, і на 15% – для кабелів, прокладених у землі в трубах при

тривалості щоденного максимуму навантаження, що не перевищує три години, а також за умови, що попереднє навантаження їх перед цими режимами було не вищим 80% від номінального. Зазначені перевантаження допускаються на час ліквідації аварії протягом 5 діб.

Перевантаження кабельних ліній 20–35 кВ не допускаються, а перевантаження кабелів 110–220 кВ дозволяються до досягнення на жилі кабелю температури 80°C при безупинній їхній роботі з перевантаженням, що не перевищує 100 год.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Базова

1. Гончар В. Ф. Електрообладнання і автоматизація сільськогосподарських агрегатів і установок. — К.: Вища шк., 2008. — 207 с.
2. Е.Л.Жулай, Б.В.Зайцев «Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній» К.: Вища освіта, 2001 – 288с.
3. Електропривод / О. С. Марченко, Ю. М. Лавріненко, П. І. Савченко, Є. Л. Жулай; За ред. О. С. Марченка. — К.: Урожай, 2000. — Ч. 1. — 208 о.
4. Лобаев Б. Н. Расчет воздухопроводов. — К.: Вища освіта, 2000. — 196 с.
5. Механізація виробництва продукції тваринництва / І. І. Ревенко, Г. М. Кукта, В. М. Манько та ін.; За ред. І. І. Ревенка. — К.: Урожай, 2001. — 264 с.

Допоміжна

6. Механізація та автоматизація у тваринництві і птахівництві / О. С. Марченко, О. В. Дацишин, Ю. М. Лавріненко та ін.; За ред. О. С. Марченка. — К.: Урожай, 2005. — 416 с.

Основи електроприводу

Методичні вказівки щодо виконання самостійної роботи

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет, вул. Г.-Кондратьєва
160

Підписано до друку: ____ 2023 р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman Cyr
Тираж: 25 примірників Замовлення ____ № ____ Ум. друк. арк. 5,6