

РЕФЕРАТ

АСИНХРОНИЙ ДВИГУН, ПОВІЛЬНИЙ ПУСК, СИМИСТОР, ТИРИСТОР, КОНТРОЛЕР, ПРОГРАМА.

Об'єктом дослідження - система повільного пуску асинхронних двигунів, предметом проектування – розробка мікропроцесорної системи повільним пуском асинхронного двигуна.

Метою розробки – є проектування мікропроцесорної системи управління пуском асинхронного двигуна.

Розроблений блок призначений для повільного пуску асинхронного двигуна і дозволяє вирішувати наступні задачі:

- обмежити пусковий струм (у більшості випадків на рівні $3 — 4,5 I_{ном}$) і осідання сіткової напруги живлення в залежності від потужності силового трансформатора і характеристик шин живлення, що підводять;
- оптимізувати пусковий і гальмовий моменти для разгонів і зупинок механізмів, що приводяться, продовжити термін використання підшипників, зубів коліс редукторів, ременів і інших деталей машин;
- аварійно захистити живильну мережу від токових перевантажень, заклинювання вала.

Матеріали дипломної роботи рекомендується використовувати при розробці мікропроцесорних систем повільного пуску асинхронних двигунів.

ЗМІСТ

№	Стор.
• Вступ-----	3-5
• Розділ 1 Аналіз Варіантів технічного рішення повільного пуску асинхронних електродвигунів -----	6-14
• Розділ 2 Визначення головних розмірів двигуна-----	15-19
• Розділ 3 Частотний перетворювач-----	20-25
• Регулювання координат електроприводів-----	25-32
• Експлуатація перетворювачів частоти-----	33-38
• Розгляд компаній-виробників перетворювачів частоти-----	38-41
• Розділ 4 Системи дискретного керування електроприводами-----	42-61
•	

ВСТУП

Одними з важливих елементів автоматичних систем керування в промисловості, є виконавчі пристрої. Це як правило електричні двигуни. Для управління роботою виконавчого пристрою, а це –пуск, гальмування, реверс та швидкість, розробляються мікропроцесорні пристрої.

Як виконавчі пристрої в цифрових системах автоматичного керування широко застосовують асинхронні двигуни змінного струму. Асинхронні двигуни змінного струму знайшли широке застосування в сучасній промисловості завдяки своїй простоті і зручності у використанні. Ці двигуни не можуть бути безпосередньо зв'язані із системою електроживлення через їхні пускові характеристики.

Незважаючи на недоліки, виконавчі асинхронні двигуни змінного струму широко використовуються в системах автоматичного керування, регулювання і контролю, оскільки володіють і позитивними якостями, зокрема такими як:

- мінімальні габарити електродвигуна при високих значеннях обертаючого моменту і потужності;
- значні припустимі перевантаження приводу в короткочасному і повторно-короткочасному режимах роботи;
- широкий діапазон регулювання швидкості;
- висока стабільність характеристик, у першу чергу силового перетворювача, датчиків швидкості і положення (переміщення);
- висока швидкодія при аперіодичному характері перехідних процесів розгону і гальмування;
- висока швидкодія при включенні і скиданні навантаження і при реверсі під навантаженням;

- висока рівномірність руху при різному навантаженні на усіх швидкостях, аж до найменших;
- зручність конструктивної установки двигунів і встановлення силових перетворювачів і допоміжних блоків керування в шафи керування об'єктом у цілому;
- малі габаритні розміри і витрата активних, особливо дефіцитних, матеріалів;
- висока надійність і ремонтпригодність, істотна уніфікація вузлів, простота налагодження й експлуатації;
- мала вартість і енергоємність.

Безпосередньо під час запуску виникають дуже високі сплески струму, що можуть бути більш ніж у 14 разів вище, ніж номінальний руховий струм. Цей струм перевантажує проводку системи живлення і комутаційних пристроїв. Інколи виникає дуже високий обертальний момент. Цей поштовх навантажує не тільки двигун, але і механіку самої машини або механізму в цілому. Щоб уникнути цих ефектів, потрібно використовувати пристрій повільного пуску (ППП). Розгін приводу досягається повільним підняттям напруги на клеммах. Таким чином, пристрої повільного пуску:

- зберігають привід (продовжують термін служби);
- заощаджують експлуатаційні витрати;
- припускають можливість використання провідників меншого діаметра через зменшений пусковий струм.

ППП дозволяє вирішувати наступні задачі:

- обмежити пусковий струм і осідання сіткової напруги живлення в залежності від потужності силового трансформатора і характеристик шин живлення;
- оптимізувати пусковий і гальмовий моменти для ненаголошених розгонів і зупинок механізмів, що приводить до продовження терміну використання підшипників, зубів коліс редукторів, ременів і інших деталей машин;

- аварійно захистити мережу, яка живить саму систему, від токових перевантажень, заклинювання вала.

Метою дипломної роботи є — проектування мікропроцесорної системи плавного пуску асинхронних двигунів змінного струму, що призначена для програмного запуску, гальмування та управління швидкістю асинхронних двигунів змінного струму.

Мікропроцесорна система плавного пуску асинхронних двигунів змінного струму повинна задовольняє наступним вимогам:

- припустимі перевантаження приводу в короткочасному і повторно-короткочасному режимах роботи;
- широкий діапазон регулювання швидкості;
- висока стабільність характеристик, у першу чергу силового перетворювача, положення (переміщення) і датчиків швидкості;
- висока швидкодія при аперіодичному характері перехідних процесів гальмування і розгону ;
- висока швидкодія при включенні і скиданні навантаження і при реверсі під навантаженням;
- висока рівномірність руху при різних навантаженнях на усіх швидкостях, аж до найменших;
- зручність конструктивної установки двигунів, силових перетворювачів і допоміжних блоків керування в шафі керування об'єктом у цілому;
- висока надійність і ремонтпригодність, простота налагодження й експлуатації;
- мала вартість і енергоємність.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ВАРІАНТІВ ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ ПОВІЛЬНОГО ПУСКУ ПОТУЖНИХ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Електромеханічні приводи сучасних механізмів оснащуються електродвигунами змінного струму (синхронними і асинхронними). У багатьох галузях промисловості в приводах технологічних агрегатів і різних допоміжних механізмів широко застосовуються асинхронні електродвигуни [1].

Асинхронний двигун трифазного струму являє собою електричну машину, що служить для перетворення електричної енергії трифазного струму в механічну. Завдяки простоті пристрою, високої надійності і експлуатації і меншою вартістю в порівнянні з іншими двигунами асинхронні двигуни трифазного струму знайшли широке застосування в промисловості і сільському господарстві. З їх допомогою приводяться в рух металорізальні і деревообробні верстати, підйомні крани, лебідки, ліфти, ескалатори, насоси, вентилятори і інші механізми.

За рахунок високої витривалості, надійності, низькій вартості і високого ККД (80%) асинхронні електродвигуни використовуються в багатьох промислових додатках, в т.ч. .:

- побутові електроприлади (пральні машини, витяжки, холодильники, вентилятори, пилососи, компресори та ін.);
- системи нагріву, вентиляції та кондиціонування повітря;
- промислові електроприводи (керування рухом, відцентрові насоси, робототехніка та ін.);
- автомобілі (електромобілі).

Двигун має дві основні частини: нерухому - статор і обертову - ротор. Статор складається з корпусу, який представляє собою основу всього двигуна. Він повинен

мати достатню механічну міцність і виконується зі сталі, чавуну і алюмінію. За допомогою лап двигун кріпиться до фундаменту або безпосередньо до станини виробничого механізму. Існують і інші способи кріплення двигуна до виробничого механізму.

У корпус вмонтований сердечник статора, що представляє собою порожній циліндр, на внутрішній поверхні якого є пази з обмоткою статора. Частина обмотки, що знаходиться поза пазів, називається лобовою; вона відігнута до торців сердечника статора. Так як в осерді статора діє змінний магнітний потік і на статор діє момент, що розвивається двигуном, сердечник повинен виготовлятися з феромагнітного матеріалу достатньої механічної міцності. Для зменшення втрат від вихрових струмів сердечник статора збирають з окремих листів (товщиною 0,35 - 0,5 мм) електротехнічної сталі і кожен лист ізолюють лаком або іншим ізоляційним матеріалом.

Обмотка статора виконується в основному з ізольованого мідного дроту круглого або прямокутного перерізу, рідше - з алюмінієвого дроту. В якості ізоляції проводів один від одного використовують папір і бавовняну тканину, просочені різними лаками, слюда, скловолокно та різні емалі. Для ізоляції проводів обмотки від сердечника статора служать електроізоляційний картон, слюда, азбест, скловолокно.

Обмотка статора складається з трьох окремих частин, які називаються фазами. Фази можуть бути з'єднані між собою зіркою або трикутником. Як правило, почала обмоток на схемах позначаються буквами А, В, С, кінці - Х, Y, Z. Обмотки двигунів малої та середньої потужності виготовляють на напруги 380/220 і 220/127 В. Напруга, вказане в чисельнику, відповідає з'єднанню обмоток зіркою, в знаменнику - трикутником. Таким чином, один і той же двигун при відповідній схемі з'єднання його обмоток може бути включений в мережу на будь-яке зазначене в паспорті напругу. Існують двигуни на 500, 660 і 1140 В. Двигуни високої напруги виготовляють на напруги 3000 і 6000 В.

На корпусі двигуна є дошка з зажимами, за допомогою яких обмотка приєднується до трифазної мережі. До кожного затиску підключений відповідний

висновок обмотки. Для затискачів прийняті наступні позначення: затискачі, до яких підключені початку обмоток, позначають літерами С1, С2 і С3, кінці обмоток - відповідно С4, С5 і С6.

Сердечник ротора являє собою циліндр, зібраний з окремих листів електротехнічної сталі, в якому є пази з обмоткою ротора.

Обмотки ротора бувають двох видів - короткозамкнені і фазні. Відповідно до цього розрізняють асинхронні двигуни з короткозамкненим та фазним ротором (з контактними кільцями). Короткозамкнена обмотка складається зі стрижнів, розташованих в пазах, і замикаючих кілець. Стрижні приєднані до замикаючим кільцям, в результаті чого обмотка виявляється короткозамкненою. Стрижні і прикінцеві кільця в одних двигунах виготовляються з міді, в інших з - алюмінію, в третіх з бронзи і т.д. Алюмінієву обмотку отримують шляхом заливання в пази рідкого алюмінію.

Фазну обмотку ротора виконують так само, як і обмотку статора. Вона завжди з'єднується зіркою. Почала фаз обмоток приєднують до контактних кілець, які виготовляють зі сталі або латуні і розташовують на валу двигуна. Кільця ізолювані один від одного, а також від валу двигуна. До кілець притискаються пружинами металлографітні щітки, розташовані в нерухомих щеткодержателях.

За допомогою контактних кілець і щіток в ланцюг ротора включається додатковий резистор, який є або пусковим (для збільшення пускового моменту і одночасного зменшення пускового струму) або регульовальним (для зміни частоти обертання ротора двигуна).

Вал ротора виготовлений зі сталі та обертається в кулькових або роликових підшипниках. Підшипники зміцнені в підшипникових щитах, які виготовлені з чавуну або сталі і прикріплюються до корпусу болтами.

Теплова енергія, що виникає в двигуні в результаті втрат електричної енергії в його обмотках і магнітопроводі, нагріває двигун. Для збільшення тепловіддачі ротор забезпечений крильчаткою, прикріпленою до замикаючим кільцям короткозамкненою обмотки. Крильчатка забезпечує інтенсивний рух повітря усередині і зовні двигуна.

З метою охорони навколишнього середовища і зниження ефекту випромінювання парникових газів уряди по всьому світу вводять правила, що вимагають від виробників побутового електрообладнання і промислових підприємств випускати продукцію які економічніше витрачають електроенергію. Найбільш часто цього можна досягти за рахунок ефективного управління режимами руху електродвигуна. Це є причиною, чому розробники побутових приладів і постачальники напівпровідників в даний час зацікавлені в розробці недорогих і економічних регульованих приводів.

Стадія пуску асинхронного електродвигуна була і залишається найбільш відповідальним режимом роботи електродвигуна, неабиякою мірою визначає його ресурс і ресурс роботи електроприводу в цілому. Це особливо актуально для приводів насосів з «вентиляторної» характеристикою, де кратність струмів перевантаження досягає максимальних величин.

1.1. Проблеми прямого пуску електромеханічних приводів

Прямий пуск електромеханічних приводів здійснюється прямим включенням двигунів на номінальну напругу. Процес пуску визначається механічними характеристиками двигуна і навантаження. При прямому пуску електродвигуна змінного струму по обмотках двигуна протікають великі струми, які при частих пусках можуть привести до виходу з ладу двигуна внаслідок руйнування ізоляції обмоток. Руйнування відбувається з двох причин: механічні руйнування і зниження ізоляційних характеристик через перевищення допустимої температури. Перша причина пов'язана з тим, що на обмотки двигуна діють електродинамічні зусилля, величина яких пропорційна квадрату струму. Пусковий струм двигуна в 5 ... 7 разів перевищує номінальний, відповідно в 25 ... 49 разів зростають електродинамічні зусилля, що діють на обмотки. Вони призводять до механічних переміщень обмотки в пазової і лобових частинах, які руйнують ізоляцію. Друга причина - термічне руйнування ізоляції - пов'язана з тим, що при перевищенні температурою ізоляції встановленого для неї порога, в останній відбуваються незворотні фізико-хімічні процеси, що призводять до форсованого старіння ізоляції. Досить згадати, що тепловиділення в обмотках пропорційно квадрату величини струму. Крім того, в

процесі прямого пуску виникають і сильні механічні вібрації, які руйнують шестерні і підшипники електромеханічних приводів. Тому, найважливішим завданням, для вирішення якої необхідно відмовитися від прямого пуску електродвигунів є зниження впливу перехідних електричних і механічних процесів. Саме перехідні процеси не дозволяють здійснити синхронну роботу декількох незалежних вузлів в складних верстатах, лініях або установках в процесі пуску і гальмування.

1.2. Рішення проблем запуску двигунів змінного струму

Альтернативой прямому пуску являється наступне:

1. Застосування перетворювача частоти. В цьому випадку пуск двигунів здійснюється від перетворювачів частоти шляхом плавного збільшення частоти і напруги. Протягом всього часу пуску струм двигуна підтримується в межах обмеження струму, що визначається параметруванням перетворювача частоти (ПЧ). При цьому зазначені вище негативні явища, що виникають при прямому пуску двигуна, відсутні. Серед недоліків пуску двигунів за допомогою перетворювача частоти є всього лише один момент, який, тим не менш, часто є визначальним - порівняно висока вартість перетворювача;

2. Застосування пристрою плавного пуску.

Основною проблемою асинхронних електродвигунів є неможливість узгодження крутного моменту двигуна з моментом навантаження, як під час пуску, так і під час роботи, а також високий пусковий струм. Під час пуску крутний момент за частки секунди часто досягає 150-200%, що може призвести до виходу з ладу кінематичного ланцюга приводу. У той же самий час стартовий струм може бути в 6-8 разів більше номінального. На рис. 1.1 представлена характеристика пускового току і моменту для асинхронного двигуна.

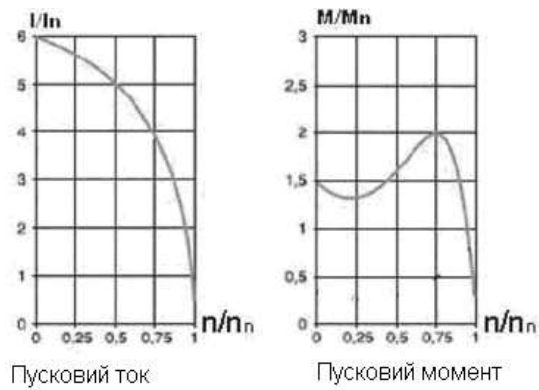


Рис.1.1. Характеристика пускового току і моменту для асинхронного двигуна

Щоб знизити пускові струми і зменшити ударні перевантаження, звести до мінімуму вібрацію двигуна, зменшити його нагрів, підвищити термін його експлуатації, застосовується пристрій повільного пуску (софтстартери).

Всі пристрої повільного пуску являють собою тиристорні регулятори діючого значення напруги, відрізняються схемою регулювання, алгоритмами його зміни в залежності від навантаження на двигун, сервісними функціями. Сучасне покоління ППП використовують фазові методи управління і тому здатні запускати електроприводи, що характеризуються важкими пусковими режимами «номінал в номінал». Такі ППП дозволяють виробляти запуски частіше і мають вбудований режим енергозбереження та корекції коефіцієнта потужності. Фазові софтстартери більш економічні, прості в обслуговуванні і не вимагають постійного контролю людини.

Досягнення в галузі повільного пуску асинхронних електродвигунів як частотним, так і фазовим методами настільки вражаючі, що необхідність повільного пуску не викликає вже ніякого сумніву у більшості споживачів. Переваги повільного пуску, у порівнянні з прямим, добре відомі, нагадаємо лише основні:

- зменшуються значення пускових струмів до 1,5-3 кратного значення
- знижується ризик механічного руйнування приводу і валу двигуна (погружного),
- зменшуються електромеханічні зусилля в обмотках електродвигуна,

- зводиться до мінімуму гідроудар в системі, пуск насоса на відкриту засувку практично не відрізняється від пуску на закрити засувку.

Переваги частотного методу повільного пуску в порівнянні з фазовим очевидні і безперечні: можливість розгону по будь-якому алгоритмом і можливість регулювання обертів електродвигуна і, отже, технологічного процесу, який цей електродвигун обслуговує. Однак, разом з масовим впровадженням частотних електроприводів, споживач починає стикатися з негативними явищами роботи перетворювача: появам гармонійних складових на стороні двигуна (в основному) і на стороні мережі. Це пов'язано з недосконалістю або, найчастіше, з відсутністю взагалі фільтрокомпенсуючих пристроїв через їх високу вартість. До недоліків перетворювачів відносяться: висока вартість самих перетворювачів, складність технічного рішення, великі втрати від прямого падіння напруги на силових елементах, необхідність виконання рекомендацій виробників щодо зниження завантаження по потужності [1-4].

Останній час ознаменувався значними успіхами силової електроніки - було освоєно промислове виробництво біполярних транзисторів з ізолюваним затвором (IGBT), силових модулів на їх основі (стійки й цілі інвертори), а також силових інтелектуальних модулів (IPM) з вбудованими засобами захисту ключів і інтерфейсами для безпосереднього підключення до мікропроцесорних систем управління. Зростання ступеня інтеграції в мікропроцесорній техніці і перехід від мікропроцесорів до мікроконтролерів з вбудованим набором спеціалізованих периферійних пристроїв, зробили необоротною тенденцію масової заміни аналогових систем керування приводами на системи прямого цифрового керування [5]

Поява пристроїв повільного пуску на основі фазового методу регулювання і їх вдосконалення все частіше призводить споживача до вибору такого пристрою саме тоді, коли немає гострої необхідності регулювання швидкості обертання електроприводу або є можливість вирішити цю проблему кількістю насосів і повторно-стисло тимчасовим режимом їх роботи.

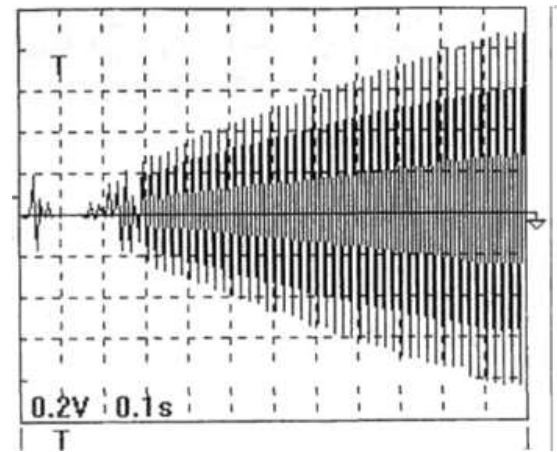
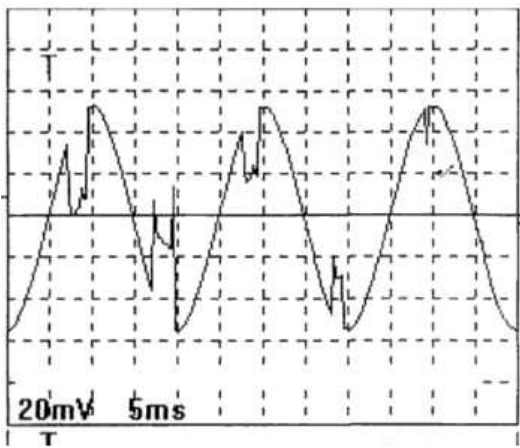


Рис. 1.2. Типова осцилограма напруги і струму на фазі електродвигуна на холостому ході при повільному пуску.

Переваги пристроїв повільного пуску на основі фазового методу, у порівнянні із частотними перетворювачами, коли не потрібно регулювання швидкості, на наш погляд, також очевидні: значно менші вартість і втрати від прямого падіння напруги на силових елементах, простота схеми і, як наслідок, велика надійність, наявність гармонійних складових тільки під час пуску (5-40 с). При цьому якість повільного пуску при фазовому методі майже не відрізняється від частотного пуску.

Наведемо узагальнений аналіз різних варіантів технічного рішення пристроїв повільного пуску з фазовим методом регулювання напруги, на основі якого виконані всі тиристорні вимикачі-комутатори з повільним пуском.

Багато виробників у своїх технічних рішеннях при проектуванні ППП використовують контролер. Інші вважають, що завдання повільного пуску досить проста і може якісно вирішуватися за допомогою звичайних мікросхем і дискретних елементів. Функцію контролера виконує модуль повільного пуску, який за допомогою датчиків синхронізації і драйверів управління тиристорами задає певний алгоритм зміни напруги на вході двигуна, тобто час плавного пуску і стартову напругу. Головними критеріями якості повільного пуску є рівність струмів по фазах і відсутність двофазного режиму у всьому діапазоні зміни напруги при пуску.

Система управління, побудована за таким принципом, дозволяє виконати вимикачі з повільним пуском не тільки на напругу 0,4 кВ, але і вище 1000 В із забезпеченням необхідних розв'язок. У вимикачах на напруги 3,6 і 4,5 кВ

використовується може використовуватися послідовне з'єднання тиристорів, також як і в розробляється вимикачі на 6 кВ [7].

Одним з головним переваг різних рішень ППП є забезпечення максимальної швидкодії при відключенні в аварійній ситуації. Як правило використанні ППП в станціях з сучасними контролерами захисту, забезпечується час відключення навіть при короткому замиканні не більше 30 мс (з урахуванням реакції контролера не більше 10 мс). При такому швидкодії ризик пошкодження обладнання від дуги мінімальний (як відомо, серйозні руйнування починаються при часу відключення більше 100 мс). Процес відключення носить природний характер вимикання тиристора в нулі синусоїди; при цьому відсутні перенапруги, що виникають при відключенні контакторів і, особливо, вакуумних вимикачів через неможливість забезпечити нульове значення струму зрізу.

Як правило завдання алгоритму повільного пуску проводиться за допомогою винесених на лицьову панель апарату програмного перемикача часу плавного пуску і потенціометра установки стартової напруги. Якщо ППП управляє контролер алгоритм може задаватися з пульта управління, а також за допомогою наявних каналів обміну інформації (USB, RS-232C).

Деякі виробники використовують системи індикації стану тиристорів, наприклад, у виробках 0,4-3,1 кВ. Наявність такої системи знижує ризик аварії при відключенні апарату зі згорілим тиристором. У вимикачах на високу напругу систему індикації виконати можна, але зі збільшенням кількості тиристорів збільшується кількість датчиків стану тиристорів і, отже, кількість зв'язків і розв'язок. Значно ускладнюється конструкція, а зі збільшенням ризику перекриття ізоляції втрачається сенс виконання такої системи.

У комутаторах, за бажанням замовників, передбачена затримка повторного включення на $3 + 6$ с і можливість перемикачів на режим пря

Розділ 2

ВИЗНАЧЕННЯ ГОЛОВНИХ РОЗМІРІВ ДВИГУНА

Головними розмірами асинхронного двигуна є зовнішній d_{se} і внутрішній d_s діаметри осердя статора, а також активна довжина цього осердя s_1 . Ці розміри жорстко пов'язані з висотою осі обертання вала h . Компонування електромагнітної системи асинхронного двигуна з позначенням головних розмірів наведено на рис. 1.1 в її поперечному перерізі.

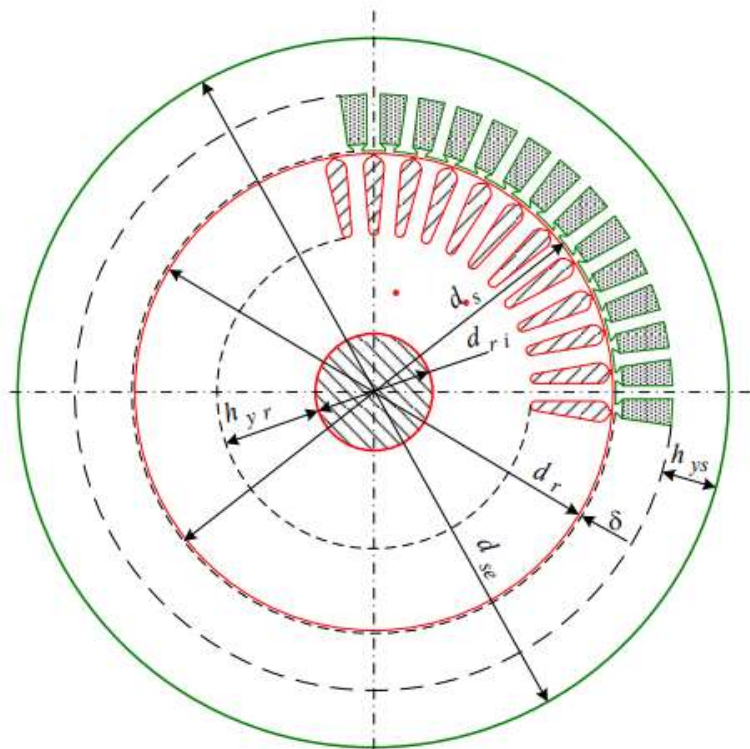


Рисунок 2.1. – Загальне компонування конструкції асинхронного двигуна

Висота осі обертання h пов'язана з номінальною корисною потужністю P_N і синхронною частотою обертання n_s двигуна.

Таблиця 1.1 – Вибір висоти осі обертання вала двигуна

h , мм	n_s , об/хв.			
	3000	1500	1000	750
	P_N , кВт			
56	0,18; 0,25	0,12; 0,18	-	-
63	0,37; 0,55	0,25; 0,37	0,18; 0,25	-
71	0,75; 1,1	0,55; 0,75	0,37; 0,55	0,25
80	1,5; 2,2	1,1; 1,5	0,75; 1,1	0,37; 0,55
90	3	2,2	1,5	0,75
100	4; 5,5	3; 4	2,2	1,5
112	7,5	5,5	3; 4	2,2; 3
132	11	7,5; 11	5,5; 7,5	4; 5,5
160	15; 18,5	15; 18,5	11; 15	7,5; 11

Таблиця 2.1 – Вибір висоти осі обертання вала двигуна

Зовнішній діаметр статора Зовнішній діаметр статора d_{se} визначається за допомогою табл. 1.2 за вибраною величиною h . Значення d_{se} нормалізовані з урахуванням стандартних розмірів рулонної електротехнічної сталі, з якої штамнуються листи статора.

h , мм	56	63	71	80	90	100	112	132	160
d_{se} , мм	89	100	116	131	149	168	191	225	272

Таблиця 2.2 – Вибір зовнішнього діаметра статора

Внутрішній діаметр статора Попереднє значення внутрішнього діаметра осердя статора d_s , мм, визначається за співвідношенням $s \ d_s \ se \ d = k \cdot d$. Значення коефіцієнта k_{ds} вибирається за табл. 1.3 залежно від кількості полюсів.

$2p$	2	4	6	8–12
k_{ds}	0,52–0,57	0,64–0,68	0,7–0,72	0,74–0,77

Таблиця 2.3 – Коефіцієнт для визначення внутрішнього діаметра статора

Попереднє значення довжини осердя статора

$$l'_s = \frac{8,62 \cdot 10^{10} \cdot P_{calc}}{d_s^2 \cdot A_s \cdot B_\delta \cdot K_{W\delta} \cdot n_s},$$

де P_{calc} – розрахункова потужність двигуна, кВт·А

$$P_{calc} = \frac{P_N \cdot K_E}{\eta_N \cdot \cos \varphi_N};$$

K_E – коефіцієнт відношення ЕРС в фазній обмотці статора s E до номінальної фазної напруги U_{sN} , визначається за рис. 2.2;

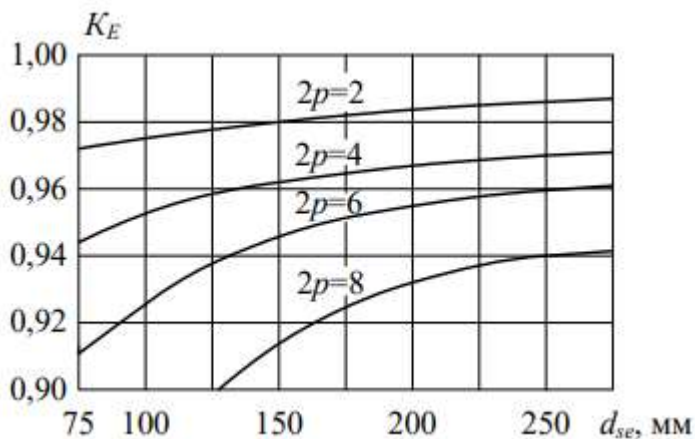


Рис 2.2

Вибір коефіцієнта відношення ЕРС до номінальної напруги

Отримане в результаті розрахунку значення l'_s округляємо до цілого числа з точністю до 1 мм при $l'_s > 100$ мм.

Дане округлене значення розрахункової довжини осердя статора ϵ і конструктивною довжиною осердя l_s .

Оцінка правильності вибору головних розмірів проводиться за відношенням $\lambda_s = l_s / d_s$

Якщо λ_s перевищує вказані межі, необхідно задатися більшим стандартним значенням висоти осі обертання h і повторити розрахунок головних розмірів, якщо λ_s менше вказаних значень, розрахунок повторюється при меншому стандартному значенні h .

основні її розміри (діаметр якоря D та розрахункова довжина l_δ), використовуючи загальну залежність для електромагнітної (або розрахункової) потужності:

$$S_{эм} = k \cdot (D^2 \cdot l_\delta) \cdot (A \cdot B_\delta) \cdot n, \quad (2.1)$$

де k – коефіцієнт, характеризуючий тип електричної машини (змінного або постійного струмів);

n – частота обертання (синхронна для машин змінного струму і номінальна – для машин постійного струму);

A і B_δ – відповідно лінійне навантаження (А/м) і індукція у повітряному проміжку (Тл), величинами яких задавались згідно рекомендаціям реалізація під час проектування добутку $A \cdot B_\delta$, який прийнятий при визначенні основних розмірів, дозволить отримати необхідну електромагнітну та номінальну вихідну потужність.

Саме проектування обмоток електричних машин повинно забезпечити раніш прийняту величину лінійного навантаження A у добутку $A \cdot B_\delta$.

Проектування обмоток має наступну послідовність: - вибір кількості зубців;

- визначення кількості провідників у пазу;
- уточнення електромагнітних навантажень;
- розрахунок розмірів пазів;
- вибір розмірів провідників обмоток та перевірка можливості їх розташування в пазу;
- креслення розгорнутої схеми обмоток.

Визначення кількості зубців (пазів) здійснюється через вибір зубцевих кроків від t_{1min} до t_{1max} , які рекомендують у залежності від довжини полюсної дуги τ [3].

Це дозволяє розрахувати можливі межі кількості зубців:

$$z_{1min} \dots z_{1max} = \pi \cdot D / (t_{1max} \dots t_{1min}) . \quad (2.2)$$

Остаточний вибір кількості зубців z_1 повинен відповідати вимогам щодо виконання обмотки.

Наприклад, для машин з $2p$

$$t_1 = \pi \cdot D / z_1 \quad (2.3)$$

який є необхідним для визначення розмірів пазу.

Кількість провідників у пазу визначають виразом:

$$u_n = (\pi \cdot D \cdot A \cdot a) / (z_1 \cdot I_n) = (A \cdot t_1) / (i_a) \quad (2.4)$$

де i_a – струм паралельної вітки, a – кількість паралельних віток; для машин постійного струму загальна кількість паралельних віток – $2a$. Число u_n необхідно мати парним у двошарових обмотках, а у одношарових ($P_2 \leq 15$ кВт) – парним і непарним.

Прийнята кількість уп дозволяє для машин змінного струму знайти число послідовних витків у фазі:

$$w_1 = u_n \cdot z_1 / (2 \cdot m \cdot a) \quad (2.5)$$

а також уточнити величину лінійного навантаження:

$$A = 2 \cdot I_n \cdot w_1 \cdot m / (\pi \cdot D) = u_n \cdot i_a / t_1 \quad (2.6)$$

Це значення А не повинно відрізнятись від попереднього прийнятого значення більш, ніж на 5%.

Остаточна прийнята кількість w_1 дозволяє уточнити величину магнітного потоку.

$$\Phi = k_E \cdot U_H / 4,44 \cdot f_1 \cdot w_1 \cdot k_{об1} \quad (2.7)$$

Наступним етапом проектування є визначення форми і розмірів пазів.

Загально прийнято, що для машин постійного струму до 30 кВт і машин змінного струму до 100 кВт – використовують всіпні обмотки (із круглого проводу), а пази – трапецеїдальні, овальні чи грушоподібні.

Для більших потужностей використовують для обмоток прямокутний провід і пази відкриті (напіввідкриті). Розміри пазів знаходять через визначення ширини зубця та висоту ярма, використовуючи залежності:

$$b_z = B_\delta \cdot t_1 / B_{z1} \cdot I_{пак} \cdot k_c \quad (2.8)$$

та

$$h_a = \Phi / 2 \cdot B_a \cdot I_{пак} \cdot k_c \quad (2.9)$$

Обмотки виконують з мідних провідників класу нагрівостійкості «В» (до 15 кВт) та «F» для більших потужностей. Густина струму визначають, виходячи з теплового фактору ($A \cdot j$), який вибирають згідно рекомендаціям

$$j = (A \cdot j) / A \quad (2.10)$$

де А – уточнена величина лінійного навантаження.

Ефективний переріз витка дорівнює: $q_{ef} = I_n / (a \cdot j)$,

Розміри провідників обмоток вибирають з стандартної таблиці. При цьому треба керуватись обмежувальними розмірами. Для всіпних обмоток діаметр круглого проводу не повинен бути більшим 1,4...1,8 мм. Прямокутні провідники не повинні мати переріз більше (18...20) мм², а найменший розмір 7 повинен бути не більш (2,5...3,0) мм². Бажано розміри прямокутного проводу вибирати з огляду на ширину пазу. Важливим етапом є перевірка можливості розміщення провідників у пазу.

Для всіпних обмоток можливість розміщення перевіряють на коефіцієнті заповнення паза провідниками:

$$K_3 = n_{ел} \cdot d_{из}^2 \cdot u_n / S'_п \quad (2.11)$$

де $S'_п$ – площа перерізу паза, яку займають тільки провідники. Коефіцієнт K_3 повинен бути не більш 0,7 при автоматичній намотці і не більш 0,75 – для ручної.

Перевірку і уточнення можливості розміщення прямокутних провідників визначають складанням специфікації паза [3, 4]. Після виконання попередніх вимог подають розгорнуту схему обмотки.

Розділ 3

Частотний перетворювач, як інструмент управління асинхронним електродвигуном

3.1. Частотний перетворювач

На сьогоднішній день асинхронний двигун є найпоширенішим і одним з найнадійніших пристроїв для приводу різних механізмів і машин.

Але, давайте розглянемо сам двигун з усіх боків. По-перше, в ньому немає можливості регулювати швидкість обертання ротора. По-друге, пусковий струм асинхронного двигуна в 5-7 разів перевищує базовий варіант. Все це призводить до непередбачених енергетичних витрат та величезних навантажень, при використанні виключно механічного пристрою регулювання. Відповідно, Ваш пристрій швидко прийде в непридатність.

З розвитком даного напрямку з'явився інноваційний продукт, який допоміг вирішити вищезазначені проблеми, але вже не за допомогою механіки, а електроніки. Частотний перетворювач з широтно - імпульсним управлінням дає можливість знизити навантаження на пускові струми в чотири-п'ять разів. Він дає плавний пуск асинхронного двигуна і організовує управління приводом за потрібною схемою балансу напруга - частотність.

Даний пристрій дозволяє впововину заощадити на використанні енергії. Виходячи з цього, з'явилась можливість підключити зворотні взаємодії між ближніми приводами. Тепер можна самому налаштувати обладнання під потрібну задачу і змінити роботу системи в цілому.

Частотний перетворювач з широтно-імпульсним управлінням включає в себе інвертор з подвоєним перетворенням напруги.

На початку мережева напруга в 220-380 Вт випрямляється вхідним діодним мостом, а після вирівнюється і фільтрується за допомогою конденсаторів.

У наслідку цього створюється широтно-імпульсна взаємодія потрібної частоти і шпаруватості. Відбувається це за допомогою мікросхем управління і вихідних мостових IGBT ключів.

Наприкінці з частотного перетворювача виходять частини прямокутних імпульсів. Завдяки високо частотності обмоток статора асинхронного двигуна ці імпульси об'єднуються і створюють напругу, схожу з синусоїдою.

Кожен виробник намагається забезпечити собі конкурентну перевагу на ринку. Першим, що він робить для заманювання клієнтури - знижує ціну. Відповідно, в сам пристрій він включатиме лише найнеобхідніші функції, а інші будуть пропонуватися як додаткові можливості (за дод. платню).

Тому, спершу потрібно визначити для себе необхідні опції пристрою. Тоді можна підібрати вигідну пропозицію з максимальною кількістю обраних функцій.

При виборі перетворювача варто виключити ті, які мають низьку потужність, не підходящий тип управління або спосіб перевантаження і так далі.

Якщо розглядати тип управління, то тут їх існує два: скалярний і векторний. Більш поширеним є векторний тип, але й коштують частотні перетворювачі з таким управлінням дорожче ніж зі скалярним. Саме векторний тип дозволяє керувати більш точно, уникаючи або по максимуму знижуючи статичну помилку.

У свою чергу, скалярний режим лише підтримує безперервний взаємозв'язок між вихідним напругою і частотою. Тому, приміром, для вентиляторів другого буде цілком достатньо.

У випадку, якщо потужності пристроїв ідентичні, тоді варто вибирати частотні перетворювачі однієї компанії, але з максимально можливим навантаженням. Таким чином можна забезпечити взаємозамінність пристроїв і полегшити їхнє обслуговування.

Ідеальний варіант, коли перетворювач має широку амплітуду напруги як вгору, так і вниз. Вся справа в тому, що «вітчизняні виробники» і «стандарт» - речі часто несумісні. У разі зниженої напруги, частотний перетворювач швидше за все почне відключатись. А при підвищеному визве займання мережевих електролітичних конденсаторів, і в підсумку, - до збою роботи пристрою.

Нижня межа визначає діапазон регулювання швидкості приводу, для неї стандарт - це 1:10. Тому потрібно упевнитись, що обраний діапазон відповідає Вашим потребам. Якщо Вашого приладу необхідний більш широкий діапазон частоти, то варто зупинитись на придбанні векторного керування. При цьому не забудьте запросити у виробника параметри приводу, оскільки навіть заявлена межа в 0 Гц не зможе гарантувати безперервну роботу приводу.

Введення команди управління, по типу: «пуск», «стоп», «реверс», «гальмування», і т.д. неможливий без дискретних входів. А для введення сигналів зворотного зв'язку (регулювання та налаштування приводу в момент роботи) потрібні аналогові входи. Також, є цифрові входи, які відповідають за введення високочастотних сигналів від цифрових датчиків кута повороту (енкодерів). Кількість датчиків може бути безмежною, але від цього залежить і вартість приладу.

Для виходу сигналу про різноманітні моменти (перегрів, аварія, збій роботи, вхідна напруга поза допустимою нормою і т.д.) необхідний дискретний вихід. Для вибудовування складних завдань із зворотними зв'язками включають аналогові входи. Тут, як і з входами, чим їх більше - тим вище вартість пристрою.

Для початку, переконайтеся, що шина і кількість входів / виходів в обладнанні ідентичні з обраним частотним перетворювачем. По можливості, візьміть додатковий запас входів / виходів для модифікації приладу в майбутньому.

При первинному включенні потужність частотного перетворювача необхідно ставити на 10-15% сильніше потужності самого двигуна. Необхідно, щоб струм був вище базового струму двигуна і трохи вище струму ймовірних перевантажень.

Перевантаження оберігають прилад від поломок. Якщо ж привід має пікові навантаження (зазвичай вони тривають 2-3 сек.), тоді варто зупинитись на перетворювачі по піковому току. І знову-таки, краще взяти в запасі на 10% більше

Частотний перетворювач з широтно-імпульсним управлінням (ПП з ШІМ) знижує пускові струми в 4-5 разів. Він забезпечує плавний пуск асинхронного двигуна і здійснює управління приводом по заданій формулі співвідношення напруга / частота. Частотний перетворювач дає економію за споживанням енергії до 50 %. З'являється можливість включення зворотних зв'язків між суміжними приводами, тобто самонастроювання обладнання під поставлену задачу і зміна умов роботи всієї системи. Принцип роботи частотного перетворювача Частотний перетворювач з ШІМ являє собою інвертор з подвійним перетворенням напруги. Спочатку мережеве напруга 220 або 380 В випрямляється вхідним доданими мостом, потім згладжується і фільтрується за допомогою конденсаторів. Це перший етап перетворення. На другому етапі з постійної напруги, за допомогою мікросхем управління і вихідних мостових IGBT ключів, формується ШІМ послідовність певної частоти і шпаруватості. На виході частотного перетворювача видаються пачки прямокутних імпульсів, але за рахунок індуктивності обмоток статора асинхронного двигуна, вони інтегруються і перетворюються нарешті в напругу близьке до синусоїди.

Вибір за функціями Кожен виробник намагається забезпечити собі конкурентну перевагу на ринку. Перше правило для забезпечення максимуму продажів - це низька ціна. Тому виробник прагнути включити в свій виріб тільки необхідні функції. А решта пропонує в якості опції. Перш ніж купити частотний перетворювач, визначитесь, які функції вам потрібні. Варто вибирати той прилад, який має більшість необхідних функцій в базовому варіанті. За способом управління Відразу відкидайте ті перетворювачі, які не підходять по потужності, типом виконання, перевантажувальної здатності і т.д. За типом управління, потрібно визначитися, що вибрати, скалярний або векторне управління. Більшість сучасних частотних перетворювачів реалізують векторне управління, але такі частотні перетворювачі дорожче, ніж частотні перетворювачі зі скалярним керуванням. Векторне управління дає можливість більш точного управління, знижуючи статичну помилку.

Скалярний режим тільки підтримує постійне співвідношення між вихідним напруга і вихідний частотою, але наприклад, для вентиляторів це цілком достатньо. За потужністю Якщо потужності устаткування приблизно однакові, то вибирайте перетворювачі однієї фірми з потужністю по потужності максимального навантаження. Так ви забезпечите взаємозамінність і спростите обслуговування обладнання. Бажано, щоб сервіс центр обраного частотного перетворювача був у вашому місті. По мережевому напрузі Завжди вибирайте перетворювач з максимально широким діапазоном напруг як вниз, так і вгору.

3.2 Принцип дії частотного перетворювача.

Електронний перетворювач частоти складається з схем, до складу яких входить тиристор або транзистор, які працюють в режимі електронних ключів. В основі керуючої частини знаходиться мікропроцесор, який забезпечує управління силовими електронними ключами, а також рішення великої кількості допоміжних завдань (контроль, діагностика, захист).

Залежно від структури і принципу роботи електричного приводу виділяють два класи перетворювачів частоти:

З безпосереднім зв'язком.

З явно вираженим проміжною ланкою постійного струму.

Кожен з існуючих класів перетворювачів має свої достоїнства і недоліки, які визначають область раціонального застосування кожного з них.

У перетворювачах з безпосереднім зв'язком електричний модуль являє собою керований випрямляч. Система управління по черзі відмикає групи тиристорів і підключає обмотки двигуна до мережі живлення.

Таким чином, вихідна напруга перетворювача формується з «вирізаних» ділянок синусоїд вхідної напруги. Частота вихідної напруги у таких перетворювачів не може бути дорівнює або вище частоти живильної мережі. Вона знаходиться в діапазоні від 0 до 50 Гц, і як наслідок - малий діапазон управління частотою обертання двигуна (не більше 1: 10). Це обмеження не дозволяє застосовувати такі перетворювачі в сучасних частотно регульованих приводах з широким діапазоном регулювання технологічних параметрів.

Використання незапіраємих тиристорів вимагає щодо складних систем управління, які збільшують вартість перетворювача. «Різана» синусоїда на виході перетворювача з безпосередньою зв'язком є джерелом вищих гармонік, які викликають додаткові втрати в електричному двигуні, перегрів електричної машини, зниження моменту, дуже сильні перешкоди в мережі живлення. Застосування пристроїв, що компенсують призводить до підвищення вартості, маси, габаритів, зниження ККД системи в цілому.

Найбільш широке застосування в сучасних частотно регульованих модулях знаходять перетворювачі з явно вираженим проміжною ланкою постійного струму. У перетворювачах цього класу використовується подвійне перетворення електричної енергії: вхідна синусоїдальна напруга з постійною амплітудою і частотою випрямляється у випрямлячі, фільтрується фільтром, згладжується, а потім знову перетворюється інвертором в змінну напругу змінюваної частоти і амплітуди. Подвійне перетворення енергії призводить до зниження ККД і до деякого погіршення масо-габаритних показників по відношенню до перетворювачів з безпосереднім зв'язком.

Для формування синусоїдального змінного напруги використовують автономний інвертор, який формує електричну напругу заданої форми на обмотках електродвигуна (як правило, методом широтно-імпульсної модуляції). Як електронних ключів в інверторах застосовуються замикаються тиристори GTO і їх вдосконалені модифікації GCT, IGCT, SGCT, і біполярні транзистори з ізольованим затвором IGBT.

Головним достоїнством тиристорних перетворювачів частоти, як і в схемі з безпосереднім зв'язком, є здатність працювати з великими струмами і напругами, витримуючи при цьому тривале навантаження й імпульсні впливи. Вони мають більш

високий ККД (до 88%) по відношенню до перетворювачів на IGBT-транзисторах [джерело не вказано 673 дня].

Перетворювачі частоти є нелінійним навантаженням, що створює струми вищих гармонік в мережі живлення, що призводить до погіршення якості електроенергії.

Перетворювач частоти складається з некерованого діодного силового випрямляча В, автономного інвертора, системи управління ШІМ, системи автоматичного регулювання, дроселя L_v і конденсатора фільтра Св. Регулювання вихідної частоти $f_{вих}$ і напруги $U_{вих}$ здійснюється в інвертор за рахунок високочастотного широтноімпульсного управління.

Широтно - імпульсне управління характеризується періодом модуляції, усередині якого обмотка статора електродвигуна підключається по черзі до позитивного і негативного полюсів випрямляча. Тривалість цих станів всередині періоду ШІМ модулюється за синусоїдальним законом. При високих (зазвичай 2 ... 15 кГц) тактових частотах ШІМ, в обмотках електродвигуна, внаслідок їх фільтруючих властивостей, течуть синусоїдальні струми. Таким чином, форма кривої вихідної напруги являє собою високочастотну двухполярну послідовність прямокутних імпульсів. Частота імпульсів визначається частотою ШІМ, тривалість (ширина) імпульсів протягом періоду вихідної частоти АІН промодулі - рована за синусоїдальним законом. Форма кривої вихідного струму (струму в обмотках асинхронного електродвигуна) практично синусоїдальний. Регулювання вихідної напруги інвертора можна здійснити двома способами: амплітудним (АР) за рахунок зміни вхідної напруги U_v і широтно - імпульсним (ШИМ) за рахунок зміни програми перемикання вентилів V1- V6 при $U_v = const$. Другий спосіб отримав поширення в сучасних перетворювачах частоти завдяки розвитку сучасної елементної бази (мікропроцесори, IGBT-транзистори). При широтно-імпульсній модуляції форма струмів в обмотках статора асинхронного двигуна виходить близької до синусоїдальної завдяки фільтруючим властивостям самих обмоток.

Таке управління дозволяє отримати високий ККД перетворювача і еквівалентно аналоговому управлінню за допомогою частоти і амплітуди напруги. Сучасні інвертори виконуються на основі повністю керованих силових напівпровідникових приладів - замикаються GTO - тиристорів, або біполярних IGBT - транзисторів з ізольованим затвором. Вона складається з вхідного ємнісного фільтра СФ і шести IGBT - транзисторів V1- V6 включеними зустрічно - паралельно діодами зворотного струму D1- D6. За рахунок почергового перемикання вентилів V1- V6 за алгоритмом, заданим системою управління, постійне вхідний напруга U_v перетворюється в змінну прямокутно - імпульсне вихідна напруга. Через керовані ключі V1- V6 протікає активна складова струму асинхронного електродвигуна, через діоди D1- D6 - реактивна складова струму.

3.3 Регулювання координат електроприводів

Координатами електропривода називають параметри, які регулюють за наперед визначеним законом або стабілізують на певному рівні. До них відносять кутову швидкість, струм, потужність, момент, кутове та лінійне прискорення, положення та ін. Регулювання координат електропривода потрібно здійснювати при керуванні як в усталеному, так і неусталеному режимах роботи виконавчих органів робочих машин.

В електроприводах сільськогосподарських машин найчастіше регулюють кутову швидкість. Прикладами таких машин є вентилятори, насоси, дозатори, металообробні верстати, випробувальні стенди тощо.

Регулювання швидкості - це примусова зміна величини швидкості шляхом використання спеціальних заходів, незалежно від величини і характеру діючого навантаження.

У залежності від задач керування електроприводом та виробничим механізмом регулювання координат може здійснюватись з метою: підтримки заданого рівня параметрів (наприклад підтримка заданої величини продуктивності вентилятора у системі вентиляції приміщення); зміни параметрів за потрібним законом (переміщення різаків у верстаті з числовим програмним керуванням); обмеження параметрів допустимими значеннями (обмеження вологості у приміщенні з регулюванням вологості за допомогою вентиляції); відпрацювання довільних законів руху, що задаються на вході системи, з потрібною точністю, або так званій слідкуючий електропривод (наприклад повторювання механізмом рухів людини).

Існує дві групи способів регулювання координат електропривода:

- параметричні способи, які використовуються у розімкнених системах керування;
- способи автоматичного регулювання координат за допомогою зворотних зв'язків.

Необхідність регулювання координат електропривода визначається технологічними вимогами, при цьому вибір раціонального способу регулювання з декількох можливих є важливою задачею, що вирішується при проектуванні привода.

Щоб здійснити такий вибір, слід знати основні узагальнені показники регулювання:

- діапазон регулювання;
- плавність регулювання;
- стабільність;
- напрямок регулювання;
- допустиме навантаження у діапазоні регулювання;
- швидкодія, коливальність, перерегулювання, динамічна зміна величини, час відновлення величини (динамічні показники);
- економічність регулювання;
- точність регулювання.

Розглянемо ці показники на прикладі регулювання швидкості. Насамперед необхідно відзначити, що для регулювання швидкості робочого органу існує два способи: зміна швидкості електродвигуна; зміна параметрів кінематичного ланцюга механічної частини електроприводу (наприклад зміна діаметрів шківів у свердлильному верстаті). Перший спосіб реалізується впливом на електродвигун, а другий — на механічну частину електроприводу.

В існуючих електроприводах використовуються обидва способи, особливо для глибокорегульованих приводів. Чим досконалішим є електропривод, тим більшою буде питома вага першого способу. В історичному розвитку електроприводу другий спосіб був початковим кроком при переході від нерегульованого електроприводу до регульованого. Сьогодні механічна частина є досить складною, громіздкою, не досить надійною конструкцією (коробки швидкості, редуктори, варіатори тощо). Крім того, другий спосіб не дає змогу одержати плавне регулювання швидкості. За цих умов широке поширення отримав саме перший спосіб регулювання швидкості.

3.4 Основні показники регулювання кутової швидкості електропривода

Діапазон регулювання

Це основний показник регульованого електроприводу, який характеризується відношенням можливої максимальної швидкості обертання до можливої мінімальної при заданому способі регулювання.

Верхня межа швидкості обмежується максимально допустимим, або максимально можливим значенням швидкості, яка для двигунів постійного струму визначається механічною міцністю колектора та бандажу, погіршенням комутації у колекторі тощо

Плавність регулювання швидкості характеризує стрибок швидкості при переході від даної швидкості до найближчої можливої. Плавність тим вища, чим менше цей стрибок.

Число швидкостей, одержаних у даному діапазоні, визначається плавністю регулювання. Її можна оцінювати коефіцієнтом плавності регулювання, який визначається як відношення двох стійких сусідніх значень кутових швидкостей при регулюванні:

$$K_{пл} = \frac{\omega_{i+1}}{\omega_i}$$

Висока плавність регулювання має місце при $a_n \rightarrow 1$, тобто коли сусідні значення кутових стійких швидкостей обертання дуже близькі.

Частотно-керований електропривод може реалізовувати достатньо близькі значення сусідніх кутових швидкостей. Дискретність регулювання частоти a у ПЧ сягає сотих долей Герц. Отже:

$$K_{пл} = \frac{\omega_{i+1}}{\omega_i} = \frac{f_{i+1}}{f_i} = \frac{f + \Delta f}{f} = \frac{50 + 0,01}{50}$$

Стабільність регулювання

Технологічний процес відбувається, як правило, з певними коливаннями моменту навантаження. Як наслідок має місце коливання швидкості робочих органів машин (наприклад при сепаруванні молока швидкість обертання двигуна значно впливає на якість продукту після цього процесу). Звичайно зміна швидкості пов'язана з жорсткістю МХ двигуна.

Стабільність — це зміна кутової швидкості при заданому відхиленні моменту навантаження, яка залежить від жорсткості механічної характеристики. Стабільність тим вища, чим більш жорстка МХ.

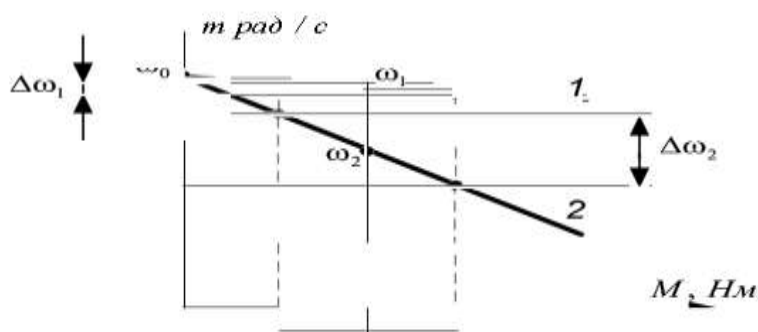


Рис. 3.1. Зміна швидкості двигуна при зміні моменту навантаження та зміні жорсткості МХ

Якщо під час регулювання швидкості жорсткість МХ змінюється, то й відхилення швидкості від заданої теж буде змінюватись

На рис. 3.1 показані дві МХ двигуна постійного струму незалежного збудження з різною жорсткістю: характеристика 1 більш жорстка ніж характеристика 2. Регулювання швидкості тут здійснюється уведенням у коло якоря додаткового опору.

Якщо момент опору навантаження M_p залишається незмінним для обох характеристик, то двигун, працюючи з кутовою швидкістю після уведення додаткового резистора перейде на швидкість. Але при зміні моменту опор M у деяких межах, коливання швидкості буде значно меншим на характеристиці, ніж коливання швидкості на характеристиці 2. Такі відхилення швидкості від її середнього значення у багатьох випадках обмежують діапазон регулювання швидкості.

Що стосується АДКЗ, то цей двигун має жорстку МХ на робочій ділянці. Тому частотне регулювання характеризується значною стабільністю роботи. Як показано на рис. 3.2. при зменшенні частоти живлення двигуна МХ опускається паралельно сама собі (характеристика 1 переходить у характеристику

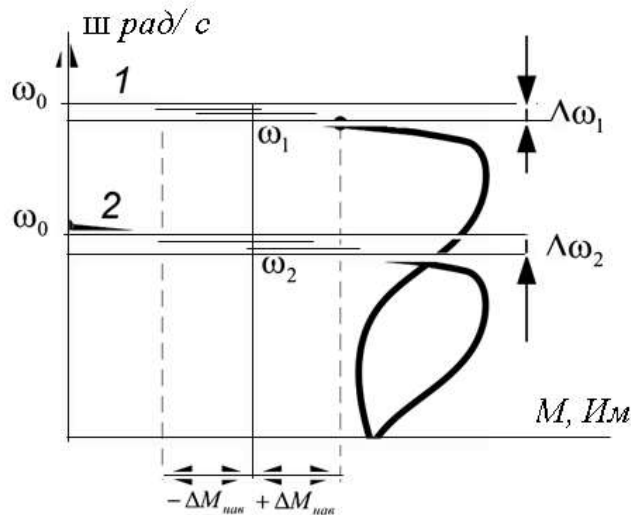


Рис. 3.2 Зміна швидкості обертання АДКЗ при зміні моменту навантаження за різних частот живлення двигуна

Напрямок регулювання

У регульованих електроприводах за базисну величину приймають номінальну швидкість обертання двигуна. Регулювання швидкості обертання може здійснюватись лише вниз від базисної швидкості, лише вверх від базисної швидкості (однозонне регулювання) або і вниз і вверх від базисної (двозонне регулювання). Частотне регулювання при використанні сучасних частотних перетворювачів з проміжною ланкою постійного струму є двозонним регулюванням, а без ланки постійного струму — однозонним з регулюванням швидкості вниз від номінальної.

Допустиме навантаження двигуна, тобто найбільше значення моменту, що двигун здатний розвивати тривало при роботі на регульовальних характеристиках, визначається нагріванням двигуна й для різних способів регулювання буде різним.

Зміна моменту навантаження залежно від швидкості в різних виробничих механізмах відбувається по-різному. Наприклад, багато механізмів вимагають регулювання при постійному моменті. До них відносяться: піднімальні крани, лебідки, деякі прокатні стани тощо. З іншого боку, існують механізми, у яких регулювання швидкості виконується з постійною потужністю, наприклад, токарний верстат, у якого в процесі обробки деталі бажано підтримувати сталість лінійної швидкості (або швидкості різання) і зусилля різання. При цих умовах добуток швидкості різання на зусилля дасть сталість потужності. Підтримка сталості швидкості різання досягається плавним регулюванням кутової швидкості електропривода.

Шляхом вибору відповідної потужності двигуна можна задовольнити будь-яку зміну моменту навантаження або потужності при регулюванні швидкості. Однак у такому випадку регулювання кутової швидкості двигуна може виявитися неекономічним, тому що двигун на різних кутових швидкостях буде використаний неоднаково й при роботі на деяких з них буде недовантажений.

Недовантаження двигуна веде до погіршення експлуатаційних показників привода, тому що при цьому зменшується ККД двигуна, а при змінному струмі, крім того, зменшується й коефіцієнт потужності. Тому бажано застосовувати такий двигун був би по можливості повністю завантажений на всіх кутових швидкостях

Допустиме навантаження двигуна обмежується ступенем його нагрівання. Ступінь нагрівання у свою чергу залежить від втрат енергії у двигуні, а останні визначаються головним чином струмом, споживаним двигуном.

Таким чином, умовою повного використання двигуна при роботі на різних регульовальних характеристиках є сталість споживаного струму. Якщо при роботі на всіх регульовальних характеристиках струм буде дорівнювати номінальному струму двигуна, то це й буде означати, що двигун завантажений повністю при всіх кутових швидкостях. При цьому передбачається, що умови охолодження двигуна залишаються незмінними як при великих, так і при малих кутових

швидкостях. З врахуванням цього важливого припущення допустимим навантаженням двигуна можна вважати такий, при якому струм двигуна в його силових колах дорівнює номінальному. Однак, необхідно мати на увазі, що для самовентильованих двигунів (які мають власний вентилятор для охолодження) зниженню кутової швидкості повинне відповідати зменшення допустимих втрат у двигуні. На малих кутових швидкостях ці двигуни повинні працювати при струмах, менших від номінального. Отже допустимий момент зменшується при зменшенні кутової швидкості. У випадку зовнішнього вентилявання двигуна це обмеження відпадає і допустимий момент може не змінюватись.

У приводах з вентиляторним моментом навантаження двигун не може бути повністю завантажений при низьких кутових швидкостях. Особливістю регулювання таких приводів є збільшення моменту із зростанням кутової швидкості. Тому тут доводиться вибирати потужність двигуна по навантаженню при найбільшій кутовій швидкості. При всіх інших менших кутових швидкостях двигун буде недовантажений.

При автоматичному регулюванні координат електропривода важливе значення мають динамічні показники якості регулювання: швидкодія; коливальність; перерегулювання, які оцінюються характером протікання перехідного процесу при регулюванні.

Швидкодія може характеризуватися часом регулювання t_r за який змінна швидкість перший раз досягне заданого значення $m_{\%}$, часом першого максимум відхилення швидкості досягне першого максимуму, або загальним часом перехідного процесу t_{Σ} , (рис. 3.3). На швидкодію, й взагалі на тривалість перехідного процесу t_{Σ} , впливає також час рушання t (час запізнення початку руху). Бажано, щоб швидкодія регулювання була якнайменшою (тобто $t \rightarrow 0$), що у сучасних частотно-керованих приводах досягається за рахунок використання швидкодіючих цифрових систем керування.

Коливальність характеризується часом затухання коливань швидкості. Цей показник повинен бути якнайменшим.

Перерегулювання характеризується максимальним відхиленням, протилежним початковому, віднесеному до заданого (усталеного) значення o , регульованого параметра (швидкості).

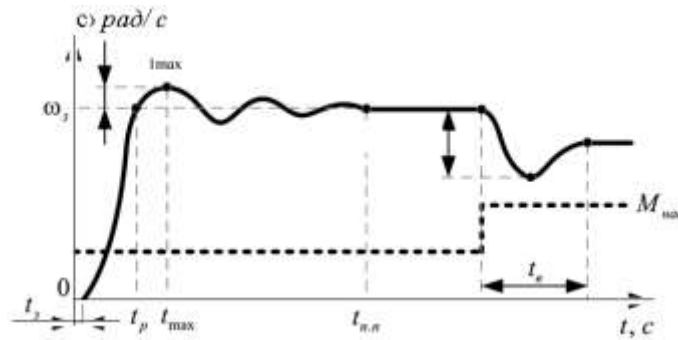


Рис 3.3 Зміна швидкості приводу при зміні величини швидкості заданої та від зміни моменту навантаження.

3.5 Вибір перетворювачів частоти по електричній сумісності з двигуном, як електричним навантаженням.

При виборі ПЧ для АДКЗ необхідно, щоб виконувались такі необхідні умови:

1. Паспортна потужність ПЧ (кВт) повинна бути більшою або рівною паспортній потужності двигуна (кВт). Згідно з стандартами для електродвигунів приймається, що потужність в кВт відноситься до механічної потужності двигуна на валу, а не до споживаної від джерела живлення активної потужності, як це прийнято для інших споживачів електричної енергії. Багато виробників нормують номінальні струми і потужності ПЧ при роботі на змінний і постійний момент. Деякі виробники виділяють спеціальну серію для роботи тільки на навантаження зі змінним моментом. Для роботи у складі підйомного механізму може знадобитися ПЧ, що має номінальну потужність, на два рівня вищу за паспортну потужність двигуна.

Для розрахунку потужності ПЧ необхідно визначити повну пускову потужність АД:

$$S_{\text{АД}} = \frac{k \cdot n}{9550 \cdot \cos \varphi} (M_{\text{ном}} + M_{\text{дин}}),$$

де s - повна пускова потужність АД, кВА; k - коефіцієнт спотворення струму, пов'язаний з алгоритмом формування синусоїди струму за допомогою ШІМ (цей коефіцієнт може набувати значень від 0,95 до 1,05 і не має розмірності. У першому наближенні можна прийняти його рівним 1); n - частота обертання валу двигуна до якої необхідно розігнати двигун, об/хв; 9550 - коефіцієнт приведення позасистемних (по відношенню до прийнятих в системі СІ) одиниць; η - ККД двигуна (найчастіше це паспортний ККД); $\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності із специфікації на двигун, приблизно 0,8...0,85; m - номінальний момент на валу двигуна:

$$M_{ном} = \frac{9550 P_{ном}}{n},$$

де P - номінальна потужність двигуна, кВт; M - динамічний момент на валу двигуна при пуску:

$$M_{дин} = \frac{Jn}{9,55 \cdot t_{п}},$$

де J - свдений до вала двигуна момент інерції системи „привод — робочий механізм (якщо двигун розганяється без навантаження, то зведений момент інерції дорівнює моменту інерції ротора двигуна.), кгм²; $t_{п}$ - тривалість пуску двигуна до швидк

$$S_{ном ПЧ} \geq \frac{S_{пуск АД}}{1,5} \quad S_{ном ПЧ} \geq \frac{S_{пуск АД}}{1,5} \quad \text{юви:}$$

$$S_{ном ПЧ} \geq \frac{S_{пуск АД}}{1,5}$$

де S_{pq} - повна номінальна потужність ПЧ, кВА.

2. Номінальний (тривалий) струм ПЧ повинен бути не меншим за фактичний тривалий струм, який споживається двигуном, тобто необхідно, щоб виконувалась умова:

$$I_{ном. ПЧ} \geq \frac{k n M_{ном}}{9,55 \sqrt{3} \eta \cos \varphi U_{ном}},$$

де U_p - номінальна напруга живлення АД.

Пусковий струм двигуна обмежується перетворювачем по рівню (120-200% від номінального струму ПЧ) і за часом дії (зазвичай до 60 с). Ці обмеження впливають з надзвичайної чутливості силових IGBT транзисторів ПЧ до перевантажень. Тому умови пуску двигуна при живленні безпосередньо від мережі і при живленні від ПЧ відрізняються.

При подачі номінальної напруги на двигун безпосередньо (наприклад, рубильником, пускачем) від мережі, пусковий струм може досягати семикратного значення від номінального струму двигуна. При пуску двигуна від ПЧ (це плавний пуск, з плавним наростанням частоти) пусковий струм може бути понижений до номінального або фактично споживаного двигуном в усталеному режимі за допомогою відповідних налаштувань ПЧ (головним чином налаштуванням часу розгону). У разі, якщо вимагається швидко

розігнати інерційне навантаження може знадобитися ПЧ більшої номінальної потужності, аніж номінальна потужність

двигуна. Перевірка умови неперевищення максимального струму ПЧ при лінійній характеристиці розгону двигуна приведена нижче:

$$I_{\max \text{ ПЧ}} \geq \frac{k n}{9,55\sqrt{3} \eta \cos \varphi U_{\text{ном}}} (M_{\text{н}} + M_{\text{л}}),$$

де I - максимальний струм ПЧ

Загальні зауваження по вибору і експлуатації перетворювачів частоти

Характеристики пуску і розгону/гальмування двигуна обмежуються номінальним струмом і перевантажувальною здатністю ПЧ. Якщо потрібно високий пусковий струм (наприклад, для центрифуг, підйомників тощо) необхідно вибирати ПЧ із запасом по потужності або використовувати ПЧ і двигун більшої потужності.

При спрацюванні захисту двигуна, який має ПЧ (перевантаження, зниження напруги живлення тощо) напруга з виходу інвертора буде знята, а двигун гальмуватиметься на вільному вибігу. При необхідності швидкої зупинки двигуна при аварійному відключенні напруги необхідно використовувати зовнішнє механічне гальмо.

Кількість повторних пусків ПЧ командами ПУСК/СТОП необмежена, якщо інвертор не перевантажується, інакше кожен подальший пуск двигуна від ПЧ повинен здійснюватися не раніше, ніж через 5 - 10 хвилин (час необхідний для охолодження IGBT модуля) за наступних умов: вихідний струм при пуску двигуна $I_{\text{вих}} > 1$ у5/, впродовж 60 сек, далі ПЧ повинен працювати при номінальному струмі; температура повітря, що охолоджує ПЧ не більше 40°C. Це гранична циклограма повторно-короткочасної роботи ПЧ, яка забезпечує граничнодопустимий нагрів кристалів IGBT. При необхідності здійснення пуску двигуна частіше, ніж один раз за 5 - 10 хв, треба вибрати ПЧ більшої номінальної потужності або працювати при менш важкому режимі (менший пусковий струм при меншій тривалості пуску, робота зі вихідним струмом меншим за номінальний, низька температура навколишнього повітря). Пусковий струм при меншій тривалості пуску, робота зі вихідним струмом меншим за номінальний, низька температура навколишнього повітря).

Різні серії ПЧ можуть давати вихідну частоту до 600 Гц при заданні її з цифрової панелі. Помилкове задання високої частоти може привести до руйнування

механізму. Для запобігання таким ситуаціям рекомендується встановлювати в параметрах жорстке обмеження вихідної частоти.

Фактичний час розгону двигуна визначається номінальним моментом двигуна, моментом опору робочої машини і моментом інерції навантаження.

Якщо активізована функція обмеження перенапруг в ланці постійної напруги ПЧ, то час гальмування може автоматично збільшуватися. При необхідності швидкого гальмування високоінерційних навантажень потрібно використовувати гальмівний резистор або вибрати ПЧ більшої потужності.

Оптимальний варіант ступеню захищеності для більшості типів ПЧ IP54 дозволяє відмовитися від установки обладнання в шафу й встановлювати ПЧ у безпосередній близькості від виконавчого механізму. Залежно від стандартного типу виконання визначається сфера застосування ПЧ і вирішується питання з установкою. Захищене виконання ПЧ актуально для насосів, кранів, конвеєрів, компресорів, вентиляційних установок та іншого обладнання, що функціонує в несприятливих умовах.

Стандартні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором. При роботі стандартного АД на швидкості нижче за номінальну (особливо з моментом близьким до номінального) можливе перегрівання двигуна через зменшення охолодження за рахунок зниження швидкості обдування власним вентилятором. Можливе рішення цієї проблеми - застосування зовнішнього незалежного вентилятора. Стандартний АД може забезпечити тривалий максимальний (з умов теплового режиму) момент тільки на номінальній частоті обертання, тому, при зниженні швидкості обертання необхідно зменшувати навантаження на валу двигуна.

Для забезпечення тривалих номінальних моментів при низьких швидкостях обертання слід використовувати спеціальні двигуни (можливе успішне застосування стандартних двигунів з номінальними частотами 750, 1000, 1500 об/хв) або двигунів підвищеної потужності. При експлуатації стандартного двигуна на великих частотах живлення слід враховувати обмеження пов'язані з ресурсом підшипників, а також обмеження через виникнення підвищеної вібрації в результаті залишкового дисбалансу ротора і виконавчого механізму. Вентилятор двигуна сильніше шумітиме на швидкостях вищих за номінальну.

Спеціальні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором та механічні частини приводу.

У заглибного електродвигуна номінальний струм більший, ніж у стандартного двигуна такої ж потужності. Це необхідно враховувати при виборі потужності ПЧ. При живленні двигуна по довгому кабелю на ньому спадає значна напруга, що у свою чергу призводить до зниження моменту, який розвивається двигуном. В цьому випадку потрібно використовувати кабель живлення з великим перерізом.

У випадку використання вибухобезпечного двигуна він повинен бути встановлений і змонтований у відповідність з вимогами по вибухобезпечності. Деякі ПЧ не відповідають спеціальним вимогам по вибухобезпечності.

Використання мотор-редукторів пов'язано зі змащуванням зубчастих зачеплень в редукторах. Вимоги до швидкісного режиму редукторів різних виробників можуть бути різними. При роботі тривалий час на низьких або високих швидкостях потрібно врахувати зниження ефективності здійснення змащування.

У механізмах перетворення механічної енергії (пасові, ланцюгові, зубчасті передачі, муфти тощо) при роботі на високих швидкостях, які відповідають підвищеним частотам живлення АДКЗ (вище 50 Гц) можуть збільшуватись вібрація і зношування механічних частин.

3.6 Функціональні можливості сучасних частотних перетворювачів

Питання про необхідність тих або інших функцій ПЧ сьогодні вкрай актуальне оскільки щороку на ринку з'являються нові вироби з більшими можливостями. Складно зрозуміти, який набір функцій зможе задовольнити потреби того або іншого технологічного процесу. Розглянемо основні функції ПЧ, пропонувані виробниками даної техніки, з урахуванням типів навантажень (для насосів, вентиляторів, димососів, конвесрів тощо). Існують певні відмінності між вбудованими й додатковими функціями ПЧ. Відомо, що частина функцій, як правило, входить у стандартне виконання ПЧ. Вартість цих функцій закладена в ціну виробу. У даному пункті розглянемо базові функції ПЧ. Зазначимо, що додаткові опції і пристрої ПЧ, наявність яких визначається з врахування конкретних технологічних процесів, дуже широкі. Питання вибору додаткових функцій ПЧ вирішується з постачальниками обладнання в індивідуальному порядку.

До базових функцій ПЧ відносяться реалізація різних методів керування електродвигуном. Існують перетворювачі зі скалярним і векторним керуванням, які втілюють у собі два основні завдання, розв'язувані ПЧ. Для позначення скалярного керування досить часто використовують терміни „вид кривої U/f ” або „залежність U/f ”. Скалярне керування найпоширеніше й максимально задовольняє вимогам таких механізмів, як насоси, вентилятори, компресори, а також таких, для яких важливо підтримувати швидкість обертання або який-небудь технологічний параметр. Метод досить простий, але має невеликий діапазон регулювання швидкості й вимагає установки додаткових датчиків для реалізації керування по швидкості й моменту. Розмаїття векторних варіантів керування вражає. Приміром, метод ДТС (із прямим керуванням моментом, без установки додаткових датчиків) ефективно використовується при відносно невисоких вимогах до точності підтримки швидкості з діапазоном регулювання швидкості $D=700: 1$, тобто для таких механізмів, як поршневі компресори, насоси, піднімальні механізми, конвесри, дробарки, пилки, міксери тощо. ПД-регулятор. Вбудований регулятор використовується для керування зовнішнім процесом за допомогою сигналу зворотного зв'язку.

При цьому вимірюється відхилення величини, яка потребує стабілізації (наприклад, тиск, швидкість, температура тощо), від заданого значення і генерується керуючий сигнал. Аналогові виходи дозволяють більш наочно представити значення якого-небудь параметра. Наприклад, їх часто використовують для відображення на стрілочному вольтметрі частоти обертання двигуна. Однак використання цих сигналів у системах автоматизації мало ймовірно, тому що вони, як правило, мають малу потужність і незадовільну якість. Аналогові входи дозволяють подавати сигнали від датчиків прямо в ПЧ, без використання яких-небудь додаткових пристроїв. Як правило, використовуються уніфіковані типи сигналів (0-5 В, 0-10 В, 4-20 мА). Крім того, є можливість використання живлення від перетворювача для підключення потенціометра, наприклад, для задання частоти обертання. Дискретні входи дозволяють керувати ПЧ із кнопок, установлених на лицьовій панелі шафи, або з поста керування. Як правило, входи використовуються для подачі команд типу ПУСК, СТОП.

„СТОП” оператор технологічного процесу може змінювати швидкість обертання АД та зупиняти двигун дистанційно. До дискретних виходів також можна під'єднувати контакти кінцевих вимикачів, перемикачів, реле тощо. Дискретні входи використовуються також для сигналізації режимів роботи ПЧ а також для керування зовнішніми реле та логічними схемами. Дискретні входи можна розділити на дві категорії: силові (релейні) входи для керування зовнішніми електромагнітними реле і входи типу „відкритий колектор” для роботи з зовнішніми логічними схемами. До дискретних виходів також можна підключати індикаторні лампочки „Аварія”, „Обертання вперед”,

„Обертання назад” тощо.

інтерфейси зв'язку. У більшості сучасних ПЧ передбачена можливість підключення в мережу автоматичного керування. Звичайно використовуються протоколи RS-485 (RS-232), Modbus, Profibus, Interbus, CANOpen, DeviceNet. З'єднання перетворювачів у мережу дозволяє побудувати більш складну систему автоматичного керування технологічними процесами з використанням контролерів і промислових комп'ютерів.

керування вхідним випрямлячем (використання керованого, напівкерованого або некерованого випрямляча) - видача імпульсів керування на силові ключі відповідно до заданого кута відкриття тиристорів у схемі вхідного випрямляча. При цьому необхідна синхронізація з живильною мережею, тобто визначення моменту проходження фаз вхідної напруги через нуль і корекція моментів відкриття ключів випрямляча. Використання напівкерованого або керованого випрямляча дозволяє плавно подавати напругу у ланку постійної напруги і економить електроенергію, однак при цьому ускладнюється схема ПЧ і збільшується його вартість. Більшість ПЧ мають некерований випрямляч. моніторинг навантаження (захист двигуна від механічного

перевантаження/недовантаження) дозволяє використовувати ПЧ як пристрій для контролю навантаження і захисту двигуна від механічних перевантажень і недовантажень, наприклад, від заклинювання полотна конвеєра, шнекового транспортера, обриву ременя вентилятора, „сухої” роботи насоса тощо. З появою неномінального навантаження двигуна ПЧ може зупинити двигун

і здійснити затримку перед повторним включенням або подати аварійний сигнал. Використання цієї функції дозволяє уникнути дорогої установки додаткових датчиків (оскільки для останніх потрібна установка безпосередньо в технологічний процес). Наприклад, можна контролювати в'язкість середовища (для таких механізмів, як міксери, відпадає необхідність в установці датчика в'язкості). Ця функція особливо необхідна для насосів, кранів, мішалок, гвинтових конвеєрів, стрічкових транспортерів, міксерів, дробарок тощо.

взаємодія із системою автоматизації верхнього рівня. Здійснюється за принципом „ведучий - ведений” (Master - Slave), причому ПЧ виступає в ролі веденого пристрою. Програмне забезпечення реалізує необхідний протокол обміну, забезпечує прийом і виконання команд керування, а також видачу необхідної інформації про поточний режим роботи, стаї датчиків і параметрів R'). У випадку двохпроцесорної системи забезпечується можливість спільної роботи основного контролера ПЧ і контролера пульта керування.

діагностика апаратури і самодіагностика. Діагностика полягає у визначенні працездатності різних модулів, що входять до складу ПЧ (як силових, так і керуючих) і підключеного електродвигуна. Крім того, проводиться контроль цілісності програми й даних, збережених в енергонезалежній пам'яті.

реалізація захисних функцій. Сучасні ПЧ реалізують максимальний струмовий захист, захист від перегріву двигуна і перетворювача, від перевантаження, надмірних відхилень напруги живлення, обриву фази, міжфазного короткого замикання, замикання фази на землю й помилок зв'язку. Коректний вихід зі стану аварії можливий, тільки якщо ліквідовані причини її виникнення. Для окремих видів аварій (наприклад, провалу напруги в мережі, аварії зв'язку) система в стані самостійно відстежити можливість продовження роботи. Відновлення працездатності системи після інших аварій вимагає втручання обслуговуючого персоналу.

збереження інформації про режими, тривалість роботи, періодичності включення ПЧ, ведення журналу збоїв і аварій, що відбулися. Це дозволяє проаналізувати ефективність використання ПЧ й полегшує пошук причин збоїв у роботі устаткування вибір несучої частоти ШІМ. Оптимальний вибір цього параметра являє собою складне завдання. З одного боку збільшення частоти ШІМ дає ряд позитивних ефектів: підвищується динамічна точність відтворення вхідних впливів (завдань), розширюється діапазон робочих частот системи ПЧ-АД; зменшуються амплітуди пульсацій струмів і електромагнітного моменту двигуна, а також залежні від них складові втрат у АД і колі живлення; зменшується додатковий шум двигуна, що дозволяє в деяких випадках відмовитися від установки вихідних

фільтрів; створюються умови для підвищення швидкодії й поліпшення інших показників якості замкнених систем автоматичного регулювання АД. З іншого боку збільшення частоти ШІМ призводить до ряду негативних ефектів, а саме: підвищення частоти комутації транзисторів IGBT викликає пропорційне збільшення комутаційних втрат, внаслідок цього знижується корисна потужність інвертора; збільшуються діючі значення емнісних струмів у кабелях живлення й елементах конструкцій двигуна, що збільшує втрати від цих струмів у системі ПЧ-АД; ускладнюється проблема обмеження перенапруг. Оптимальне значення частоти модуляції вибирається в кожному випадку з урахуванням конкретних умов застосування ПЧ і домінуючих вимог. Діапазон частот модуляції сучасних транзисторних ПЧ із ШІМ для електропривода лежить у межах від одиниць до десятків кілогерц.

плавний пуск і зупинка двигуна з вибором форми кривої зміни швидкості (звичайно використовують лінійну, S- і U-подібну характеристики зміни швидкості) і роздільним налаштуванням часу розгону і гальмування (у межах від 0,1 с до 9999 с з дискретністю 0,1 с) з автоматичною корекцією прискорення у випадку перевищення допустимого моменту (ця опція дозволяє задавати мінімальну тривалість розгону та гальмування без необхідності перевірки умови перевищення максимального струму ПЧ. У випадку якщо таке перевищення має місце ПЧ самостійно збільшує тривалість розгону/гальмування АД).

3.7 Огляд компаній-виробників частотних перетворювачів

Сучасний ринок перетворювальної техніки для електроприводу представлений різними фірмами-виробниками ПЧ: азіатськими (китайськими, японськими, корейськими), європейськими,

американськими, російськими і вітчизняними. Різноманітні асортименти продукції цих фірм дає можливість здійснити вибір ПЧ з оптимальним співвідношенням вартості й функціональності.

Найбільшою популярністю користується продукція таких виробників ПЧ: Siemens, ABB, Control Techniques, Schneider Electric, Danfoss, Lenze. До менш відомих європейських виробників ПЧ відносяться Vacon, Elettronica Santesho, Emotron.

До найбільш популярних американських виробників ПЧ відноситься General Electric. Серед азіатських компаній найбільш відома продукція таких виробників ПЧ: японські Mitsubishi Electric, Omron, Hitachi, Toshiba, Fuji Electric; корейські і тайваньські LG Hyundai Electronics, Long Shenq Electronic, Delta Electronics. ПЧ випускає також Китай, однак вони, на відміну від корейських, не відрізняються високою якістю.

Перетворювачі частоти Danfoss.

Danfoss - датська промислова компанія, що займається розробкою, виробництвом і обслуговуванням механічних і електронних компонентів для промисловості і холодильного обладнання, промислової автоматики, мотор-редукторів. Широко відомі ПЧ Danfoss. ПЧ Danfoss VLT AQUA (наприклад, FC202) призначені для використання в системах водопостачання й водовідводу, Danfoss VLT HVAC - у системах опалення, вентиляції й кондиціонування. Всі ПЧ Danfoss мають вбудований фільтр гармонік в контурі постійної напруги. За рахунок цього перетворювачі частоти Danfoss здатні обмежувати навантаження на мережу [21].

Перетворювачі частоти Control Techniques.

Control Techniques (Великобританія) - один із провідних світових виробників приводної техніки й систем керування електроприводами. Компанія Control Techniques спеціалізується на поставці готових технологічних рішень. ПЧ Control Techniques серії Commander SK з векторним керуванням у відкритому контурі призначені для керування АД без датчика зворотного зв'язку. ПЧ Control Techniques серії Unidrive SP з векторним керуванням у замкнутому контурі призначені для керування асинхронними й синхронними приводами зі зворотним зв'язком і без зворотного зв'язку. ПЧ Control Techniques серії Unidrive SP характеризуються гнучкою системою налаштування та забезпечують істотну економію енергії й високий ККД системи

Перетворювачі частоти Lenze.

Німецька компанія Lenze - один з лідерів в області технології ПЧ й комплектних систем керування. Основний напрямок діяльності Lenze - виробництво універсальних систем електропривода. ПЧ Lenze має декілька серій, які „спеціалізуються” для різних задач автоматизації технологічних процесів: від керуванням насосами і вентиляторами (серія Lenze 8200 SMD) до задач з підвищеною динамікою та точністю регулювання (серія Lenze 9300 Vector) [22].

Перетворювачі частоти Toshiba.

Компанія Toshiba - виробник широкого спектра електронної й електротехнічної продукції, один зі світових лідерів напівпровідникового приладобудування. Високоінтелектуальні ПЧ Toshiba займають у світовому виробництві частку ринку в 19%.

ПЧ Toshiba забезпечують істотне енерго— і ресурсозбереження, а область їхнього застосування включає керування компресорами, конвесрами, верстатами, насосами, електроустаткуванням багатьох галузей промисловості. ПЧ Toshiba охоплюють широкий спектр електродвигунів: для низьковольтних - універсальні ПЧ AS1, G9 і H9; для високовольтних - ПЧ T300MVi [21].

Перетворювачі частоти LG (LS Industrial Systems).

Південнокорейська компанія LS Industrial Systems (група компаній LG) лідер ринку засобів промислової автоматизації в Кореї. ПЧ LG відрізняють функціональність, ефективність, зручність монтажу й експлуатації. ПЧ LG Industrial Systems представлені наступними серіями: IC-5, IG-5A, IS-5, IS-7, IP-5A, IE-5 та інші [21].

Перетворювачі частоти Delta Electronics.

Delta Electronics - тайваньська компанія, створена в 1971 році. Основні напрямки діяльності - розробка й виробництво виробів силової електроніки (джерела безперебійного живлення, пускорегулююча електронна апаратура) і компонентів електросистем, а також ПЧ для АД. В 1995 Delta Electronics почала виробляти ПЧ Delta під власною маркою VFD-A. ПЧ Delta Electronics сьогодні - це 8 серій: VFD - B, F, S, M, L, V, G, E потужністю від 40 Вт до 220 кВт [21].

Перетворювачі частоти Vascon.

Фінська компанія Vascon, створена в 1993 році, спеціалізується на розробці, виробництві й впровадженні ПЧ для керування асинхронними двигунами. Vascon пропонує ПЧ на широкий діапазон потужностей (від 250 Вт до 3 МВт) і напруг (від 220В до 690В). Спочатку діяльності компанія випускала перетворювачі серії CX, в 2000 р. з'явилися перетворювачі частоти Vascon нового покоління - NX (NXL, NXS, NXP та інші)

Перетворювачі частоти Omron.

Японська компанія Omron заснована в 1933 році як фірма по розробці, виробництву й продажу компонентів для автоматизації. Компанія випускає, у тому числі, ПЧ широкого спектра застосування. ПЧ Omron відрізняються тим, що вони не потребують налаштування при встановленні. ПЧ Omron серії SYSDRIVE це багатофункціональний пристрій для самих різних завдань: ПЧ Omron 3G3JV включає тільки самі необхідні функції і відрізняється невисокою ціною, ПЧ 3G3FV відрізняється високою динамічністю, його вартість більш висока [21].

Перетворювачі частоти ABB.

ABB міжнародний електротехнічний концерн, що спеціалізується на виробництві силового обладнання для виробництва, передачі й розподілу електроенергії. Компанія випускає низьковольтні ПЧ двох серій. АС (компонентні приводи) – приводи для масового застосування у всіх областях промисловості і у комунальній сфері. ПЧ ACS (ACS550, ACS350, ACS150 і ін.) - промислові й системні приводи для застосування в сферах, що вимагають високих показників якості регулювання [21].

Перетворювачі частоти Siemens.

Німецька компанія Siemens - один із провідних світових виробників електроприводів, призначених для керування двигунами постійного і змінного струму. Найбільш відомі ПЧ Micromaster для регулювання трифазних електродвигунів, які мають діапазон потужностей 120 Вт при однофазному живленні і до 75 кВт - при трифазному. Перетворювач частоти Siemens Micromaster може застосовуватися як індивідуально, так і інтегруватися в системи автоматизації процесу. Simover Masterdrives від Siemens - високовольтні ПЧ з ланкою постійної напруги для точних і високопродуктивних електроприводів із жорсткими вимогами до динамічних характеристик і великих автоматизованих установок [21].

Перетворювачі частоти Mitsubishi Electric.

Японський ПЧ FR компанії Mitsubishi відрізняється, у першу чергу, підвищеним енергозбереженням. Модельний ряд ПЧ Mitsubishi охоплює діапазон потужностей від 0,2 до 630 кВт і містить у собі кілька серій перетворювачів з різними функціями керування електродвигунами: FR-S 500 (FR-S 520, FR-S 540), FR-E 500

РОЗДІЛ 4

СИСТЕМИ ДИСКРЕТНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ

4.1 Типові вузли та схеми керування двигуном постійного струму

Принципи побудови релейно-контакторних схем керування двигуна постійного струму (ДПС). Разом з розширенням застосування безконтактних систем керування електроприводами, у промисловості в експлуатації знаходяться схеми релейно-контакторного керування, вживані в основному для **розімкнених систем регулювання**. Ці схеми виконують функції: автоматичного пуску, узгодження роботи на необхідних ступенях швидкості, гальмування, реверсу, захисту в аварійних ситуаціях, узгодження роботи декількох електроприводів шляхом взаємних блокувань та інші. Перевагами цих схем є: простота розрахунків і проектування; обслуговування і наладка не вимагає участі персоналу високої кваліфікації. Недоліки релейно-контакторних схем керування: надмірне зростання складності при підвищенні вимог до електроприводів в частині якості керувань; громіздкість, надмірна вага і вартість станцій керування для двигунів середньої і великої потужності; неможливість експлуатації в пожежо-вибухонебезпечних середовищах; низька точність підтримки заданих режимів при зовнішніх збуреннях. Не дивлячись на вище перераховані недоліки, системи релейно-контакторного керування знайшли широке застосування в електроприводах, до яких не пред'являються жорсткі вимоги відносної точності в динамічних режимах.

Не дивлячись на вище перераховані недоліки, системи релейно-контакторного керування знайшли широке застосування в електроприводах, до яких не пред'являються жорсткі вимоги відносної точності в динамічних режимах. Схеми пуску ДПС призначені для автоматизації цього процесу, обмеження пускових струмів, виключення помилок при пуску. Пуск ДПС паралельного або незалежного збудження здійснюється з резистором, який включено в коло якоря. Резистор необхідний для обмеження пускового струму. По мірі розгону двигуна пусковий резистор по ступеням виключається. Коли пуск (розгін) закінчиться резистор буде повністю виведено з кола, двигун буде працювати на природній характеристиці рис.2.1 На рис.2.2 пускова діаграма ДПС з трьома ступенями пускового реостата. З розглянутої діаграми виходить, що виключення резисторів у міру розгону повинен здійснюватись при певній кутовій швидкості двигуна ($\omega_1, \omega_2, \omega_3$), визначеному струмі I_1, I_2 і через визначені проміжки часу t_1, t_2, t_3 . Очевидно, що керування пуском здійснюють у функції швидкості, струму і часу. Іноді у функції шляху (рідко). Схеми гальмування ДПС для режимів динамічного гальмування або противмикання будуються з використанням принципів струму

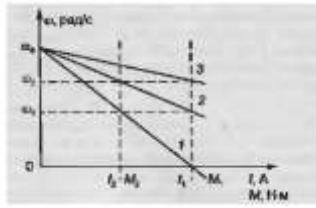


Рис 4.1

Керування пуском двигуна у функції кутової швидкості (ЕРС)

Керування у функції кутової швидкості передбачає шунтування пускових реостатів при досягненні швидкістю двигуна заздалегідь заданих розрахункових значень. Контроль кутової швидкості в таких схемах здійснюється відцентровими реле (рідко) або тахогенераторами. Найбільш поширеними є схеми з вимірюванням кутової швидкості непрямым шляхом – для машин постійного струму – вимірюванням ЕРС двигуна рис.2.3. Таке вимірювання здійснюється контакторами і реле KV1, KV2 і KV3 що спрацьовує при визначеному значенні ЕРС і шунтуючі пускові резистори в необхідній послідовності. На схемі рис.4.2 котушки контакторів KV1, KV2 і KV3 ма- 17 ють однакову напругу втягування, але за рахунок підключення їх до пускових резисторів досягається спрацьовування їх при заданих швидкостях двигуна (ω_1 , ω_2 , ω_3) Після закінчення пуску вони виявляються включеними на однакову напругу мережі.

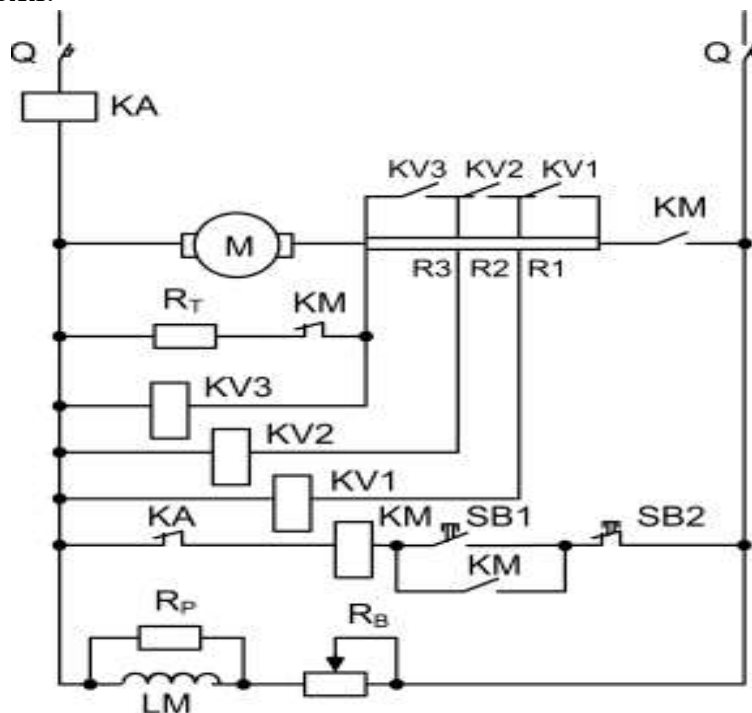


Рис 4.2

Керування пуском двигуна у функції струму.

Схеми побудовані за принципом струму, містять вимірювачі струму, виконані найчастіше, у вигляді одного або декількох струмових реле. Схеми з декількома струмовими реле дозволяють здійснити закони зміни швидкості будь-якої

необхідної складності, проте, такі схеми дорожчі і значно складніші в налагодженні. На рис.4.3 наведена схема з одним струмовим реле КА2, включені безпосередньо в якірне коло. Розмикаючі контакти КА2, які включені послідовно з контакторами прискорення К1, К2, і К3. Кожен з тих контактів К2, що розмикають, шунтуються замикаючими контакторами контакторів прискорення. При пуску машини кнопкою SB1 і спрацьовуванні лінійного контактора КМ – реле КА2 спрацьовує від пускового струму, роблячи неможливим включення контакторів прискорення К1, К2, і К3. У міру розгону, струм якірного кола падає, що призводить до відпуску реле КА2 і замиканню його розмикаючих контактів. При цьому включається перший контактор прискорення К1, шунтуючи своїми замикаючими контакторами: резистор R1, контакт КА2, що розмикає, у колі К1, і підготовлюючи до включення коло контактора К2. Після шунтування резистора R1 струмове реле КА2 спрацьовує, блокуючи своїм розмикаючим контактом включення контактора К2. У міру розгону на ступенях R2 і R3 струм знижується, що приводить до повторного відпуску реле КА2 і включенню контактора прискорення К2. Аналогічно включається контактор К3, переводять двигун на природну характеристику. Недолік схем, які побудовані за принципом струму: збільшення статичного моменту при пуску вище розрахункового, що спотворює пускову діаграму. Струм при цьому може тривалий час перевищувати значення I_2 , при якому відбувається відпускання реле КА2. Тому пусковий резистор виявляється не вимкненим, що може привести до його перегрівання, оскільки він не розрахований на тривалу роботу.

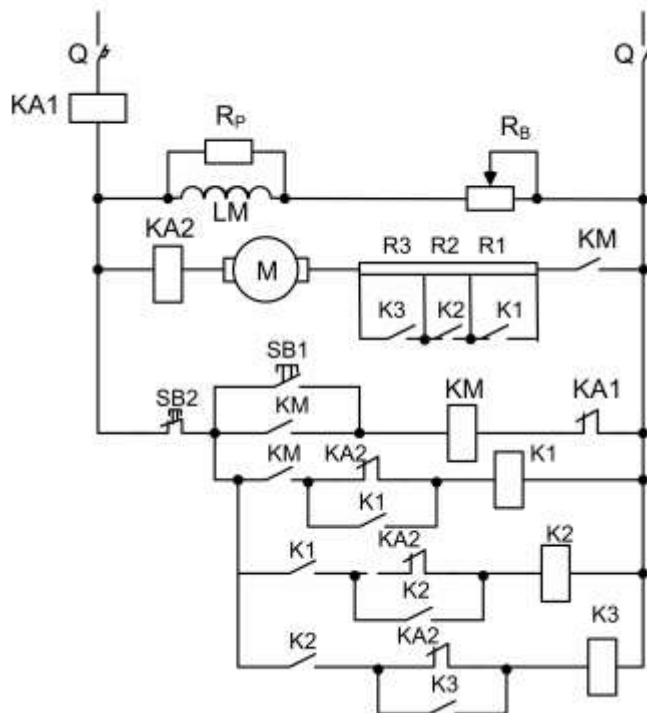


Рис 4.3

Керування пуском двигуна у функції часу

Пускові діаграми $\omega = f(t)$ і $i = f(t)$ приведені на рис.4.2 показують, що шунтування ступенів пускового резистора повинне відбуватися через визначені проміжки часу. Перший ступінь R1 повинен бути виведений через час t_1 після початку пуску, другий ступінь R2 – через t_2 і т.д. Необхідна витримка часу кожного реле часу визначаються на підставі пускової діаграми (рис.4.2). Реле часу керують контакторами прискорення після закінчення витримки часу незалежно від того, який струм проходить через двигун і до якої швидкості він розганяється. Тому, при змінному навантаженні доводиться встановлювати витримки часу, відповідні нормальним умовам пуску при деякому середньому навантаженні. Крива 1 (рис.4.2) показує залежність струму при пуску двигуна у випадку збігу розрахункового і діючого навантажень. При пуску із збільшеною щодо розрахунковому навантаженню (крива 2) машина не розгониться до розрахункової кутової швидкості ω_1 , а струм не знижується до значення I_2 тому кидок струму після шунтування виявляється вище розрахункового, таке ж явище буде спостерігатися і на подальших пускових ступенях. При цьому час пуску зберігається, а середній пусковий струм (момент) збільшується. Зменшення навантаження у порівнянні з розрахунковою (крива 3 рис.4.2) – призводить до зворотного, тобто зменшенню середнього пускового моменту при незмінному часі пуску. Переваги схем побудованих за принципом часу: відсутність небезпеки тривалої роботи двигуна з неповною кутовою швидкістю; простота та надійність в роботі; використання одноступінних реле часу; надійність роботи при різких змінах навантаження при пуску (при значному зростанні навантаження вище розрахункового – ДПС відключається максимальним захистом). Вказані переваги зумовили широке застосування схем пуску, побудованих за принципом часу із застосуванням електромагнітних, електронних та пневматичних реле часу.

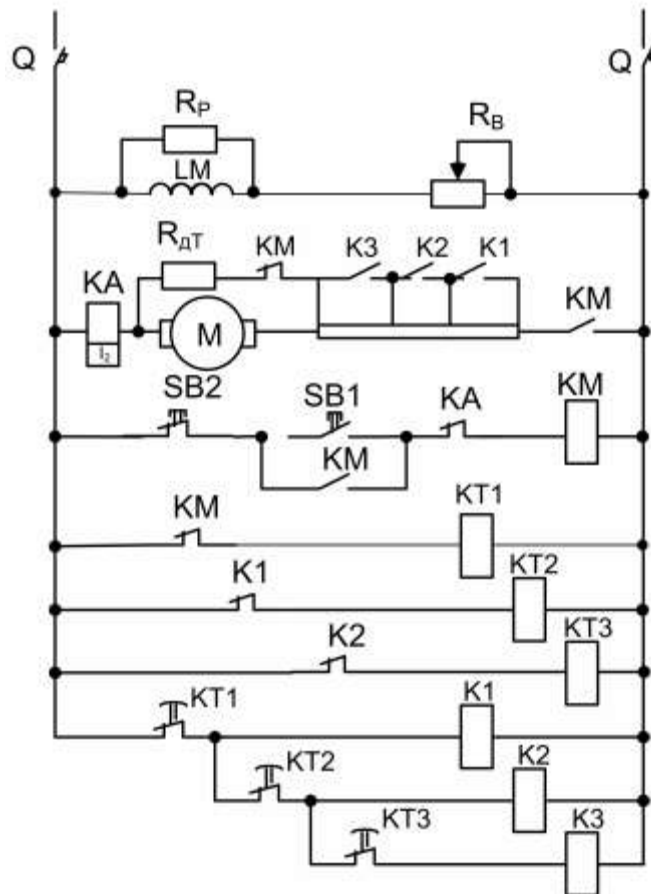


Рис 4.4

Схеми гальмування двигунів постійного струму

Динамічне гальмування ДПС здійснюється із застосуванням схем, працюючих у функції кутової швидкості (ЕРС) або часу. На рис.4.3,а представлена схема гальмування ДПС 19 у функції швидкості (ЕРС). Рис. 4.5 – Схема автоматичного гальмування ДПС При відключенні контактора КМ, останній замикає свій контакт в колі реле гальмування К1, останній спрацьовує і замикає свій контакт в колі контактора К2, який своїм контактом включає якорь двигуна на резистор $R_{дт}$. Гальмування в такій схемі здійснюється до деякої мінімальної кутової швидкості, при якій реле К1 розімкне свій контакт в колі контактора К2. Подальше гальмування здійснюється під дією статичного моменту. Найбільша ефективність гальмування досягається при повному магнітному потоці двигуна і оптимальною величиною $R_{дт}$. При динамічному гальмуванні у функції часу реле часу повинно забезпечити витримку часу, необхідного для установки двигуна. Оскільки момент двигуна при динамічному

гальмуванням прямопропорційний кутові швидкості, ефективність гальмування у міру її зниження зменшується, що викликає збільшення часу гальмування. Зменшення часу гальмуванні досягається включенням додаткових гальмівних ступенів, при відключенні яких збільшується струм гальмування. Гальмування противмиканням застосовується в реверсивних електроприводах, де за гальмуванням часто проводиться пуск у зворотному напрямі. При такому гальмуванні струм двигуна може різко зростати, оскільки його ЕРС діє згідно з напругою мережі. Для обмеження струму послідовно з пусковими резисторами включають резистор противмикання, а для його шунтування – реле противмикання KV.

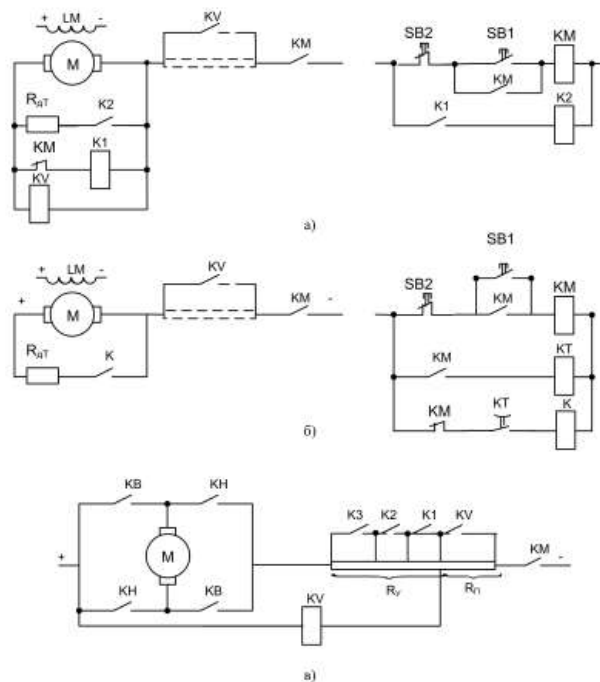


Рис 4.5

4.2 Замкнені СКЕП змінного струму

У промислових електроприводах широко застосовують електродвигуни змінного струму: асинхронні (з короткозамкненим і фазним ротором), синхронні й вентиляційноіндукторні.

Найбільше поширення одержали асинхронні короткозамкнені двигуни, що відрізняються:

1. простотою конструкції, дешевиною;
2. надійністю в експлуатації;
3. мінімальними розмірами й вагою;
4. широким діапазоном потужностей.

Регулювання кутової швидкості таких електродвигунів можливо:

1. Перемиканням числа пара полюсів. Регулювання східчає з обмеженим числом ступенів (2-3). Можливо тільки при спеціальному виконанні статорних обмоток. Широкого застосування не знайшло.

2. Зміною напруги живлення статорному кола. Реалізується звичайно за допомогою тиристорних регуляторів змінної напруги. Для розширення діапазону регулювання й стабілізації швидкості використовують замкнені СКЕП з негативним зворотним зв'язком по швидкості.

3. Зміною частоти живлячого напруги; можливо плавне, глибоке й економічне (по втраті енергії) регулювання з використанням перетворювачів частоти. Вимагає одночасного регулювання напруги живлення двигуна, що реалізується звичайно за допомогою замкнених СКЕП.

В асинхронних електродвигунах з фазним ротором з'являються додаткові можливості регулювання швидкості:

1. зміною величини опору додаткового резистора в колі ротора східчасто (із застосуванням релейно-контактної апаратури), або плавно за допомогою тиристорних або транзисторних регуляторів. Для стабілізації кутової швидкості на проміжних характеристиках, як правило, потрібне застосування замкнених СКЕП;

2. каскадним включенням асинхронного двигуна з іншими електричними машинами або статичними перетворювачами.

Застосовують у регульованих електроприводах великої потужності із замкненими системами керування. У потужних безредукторних електроприводах економічно виправдане застосування синхронних двигунів з автоматичним регулюванням збудження. Перспективним є вентильно-індукторні електродвигуни з тиристорними або транзисторними комутаторами в колі статора. Вони мають характеристики, аналогічні характеристикам електродвигунів постійного струму, але в безколекторному виконанні.

Система регулювання кутової швидкості асинхронного електропривода зміною напруги живлення.

Принципова схема СКЕП наведена на рис 4.6

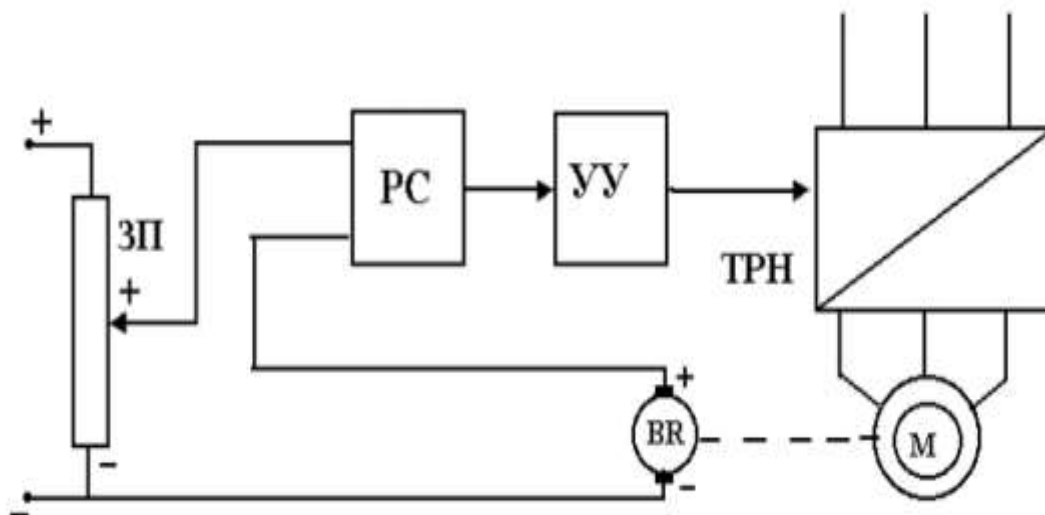


Рис 4.6

Електродвигун М одержує живлення від трифазної мережі через тиристорний або транзисторний регулятор змінної напруги ТРН із фазовим-імпульсно-фазовим керуванням.

Кутова швидкість електродвигуна Ω контролюється тахогенератором BR, що виробляють напругу $U_{BR} = K_C \Omega$, яке порівнюється з напругою U_Z потенціометра ЗП, що пропорційна заданій кутовий швидкості Ω_0 . Сигнал помилки ΔU , пропорційний відхиленню $\Delta \Omega = \Omega_0 - \Omega$ фактичної кутової швидкості від заданої, надходить на вхід регулятора швидкості РС, який через пристрій фазового-імпульсно-фазового керування УУ змінює кут зсуву α моментів відмикання тиристорів ТРН стосовно моментів переходу живлячої напруги через нуль. При зниженні кутової швидкості з ростом навантаження збільшується сигнал помилки ΔU , що приводить до зменшення кута регулювання α і росту напруги на затискачах електродвигуна U_M . У результаті відбувається стабілізація швидкості. Без врахування електромагнітних процесів у двигуні поведінка такий СКЕП можна описати наступною системою рівнянь. Для напруги живлення електродвигуна U_M :

$$U_M = K_C(\Omega_0 - \Omega)W_{рш}(p)W_n(p),$$

де $W_{рш}(p)$ – ОФП регулятора напруги (перетворювача) разом із пристроєм керування УУ, або в статиці.

$$U_M = K_0(\Omega_0 - \Omega),$$

де $K_0 = K_{ш}K_{рш}K_{п}$ – коефіцієнт підсилення датчика кутової швидкості, регулятора швидкості й перетворювача.

Для електродвигуна (рівняння механічної характеристики):

$$M = \frac{2M_K \Omega_C (\Omega_C - \Omega) U_M^2}{\Omega_C - \Omega)^2 + S_K^2 \Omega^2}$$

де Ω_C – синхронна кутова швидкість, с -1 ; M_K – критичний (перекидний) момент при номінальній напрузі живлення; S_K - критичне ковзання, Ω_K – кутова швидкість, відповідна до значення моменту $M = M_K$.

Для швидкості (з рівняння рівноваги моментів на валу електродвигуна):

$$\Omega = (M - M_C) \frac{1}{J_p}$$

де J – приведений до валу двигуна момент інерції рухомих мас привода; M_C – момент опору на валу двигуна.

На підставі наведених рівнянь і функціональної схеми становимо структурну схему СКЕП (рис.4.7).

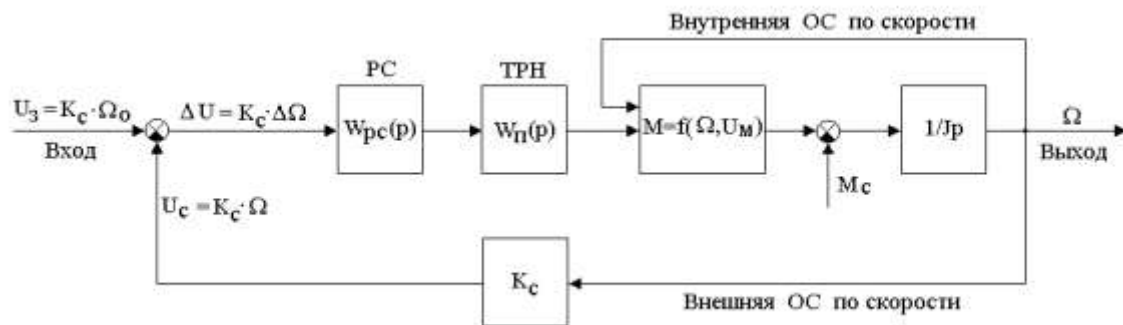


Рис 4.7

З отриманої структурної схеми випливає, що навіть без врахування електромагнітних перехідних процесів у двигуні, розглянута СКЕП суттєво нелінійна, і дослідження її поведінки можливо практично тільки із залученням ЕОМ. Графіки механічних характеристик привода з негативним зворотним зв'язком по кутовій швидкості в статиці показані на рис.6.3. Для порівняння на рис.4.6 наведене сімейство механічних характеристик електродвигуна для різних значень напруг живлення U_M (без зворотного зв'язку по швидкості). Як випливає з рис.4.8, 4.9, застосування негативного зворотного зв'язку по кутовій швидкості:

1. Розширює діапазон регулювання кутової швидкості зі збереженням достатньої перевантажувальної здатності привода.

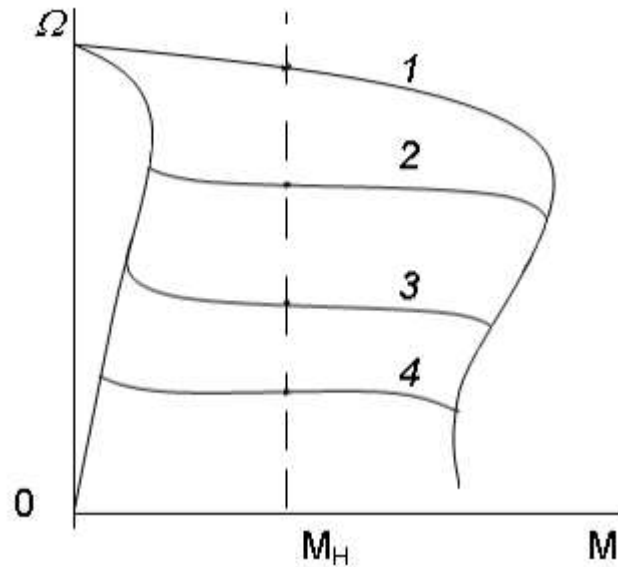


Рис 4.8

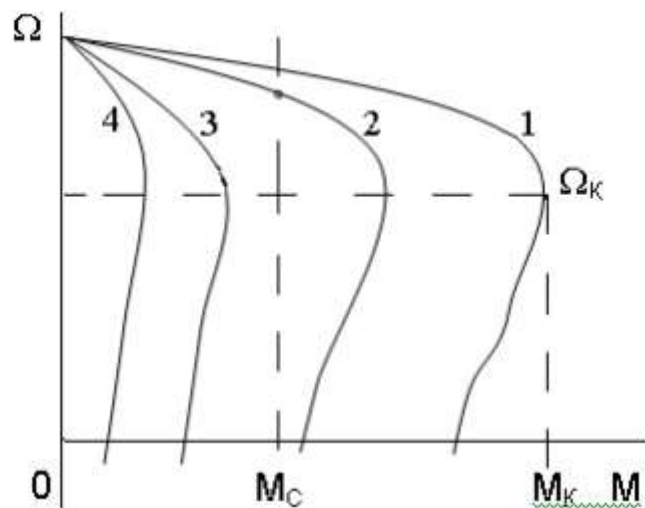


Рис 4.9

2. Забезпечує стабілізацію кутової швидкості при роботі на проміжних характеристиках, які стають твердими (швидкість мало залежить від навантаження). Недоліком СКЕП з регулюванням кутової швидкості зміною напруги живлення є те, що зі зменшенням напруги знижується магнітний потік, що при постійному моменті опору M_C приводить до зростання струмів статора й ротора й, як наслідок, до підвищеного нагрівання двигуна. Тому розглянута СКЕП застосовується звичайно при повторно-короткочасних режимах роботи двигунів потужністю до 20. . . 30 кВт із діапазоном регулювання D до 10.

Система керування асинхронним електродвигуном з імпульсним регулюванням опору в роторному колі.

Принципова схема СКЕП наведена на рис 4.10

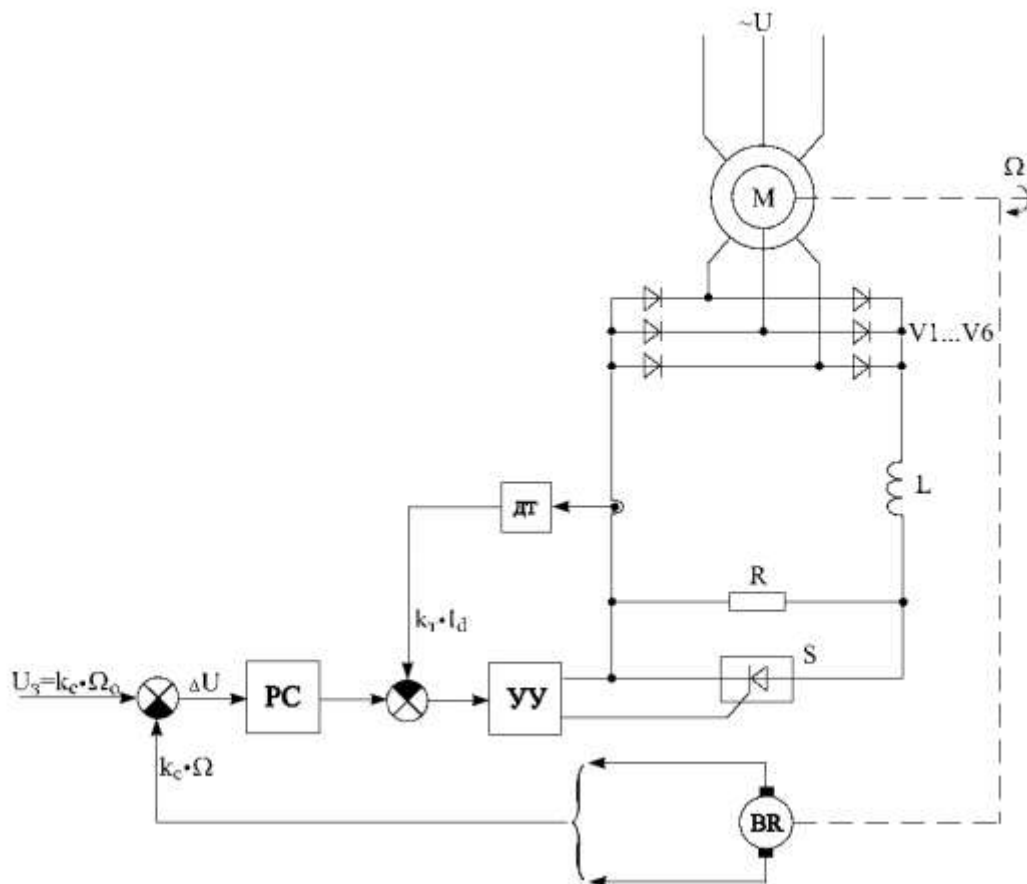


Рис 4.10

У коло ротора електродвигуна М через випрямний міст на діодах V 1. . . V 6 згладжуючий дросель L включен резистор R, що періодично з великою частотою шунтується тиристорним ключем S. Керування ключем здійснюється пристроєм керування УУ по сигналу регулятора швидкості РШ, на вхід якого надходить різниця напруги, $U_3 = K_ш \Omega_0$, що пропорційна заданій Ω_0 швидкості й напруги зворотнього зв'язку $K_ш \Omega$, що пропорційна фактичній Ω швидкості, від тахогенератора BR. Для обмеження максимального моменту на вхід УУ додатково подається напруга $K_T I_d$, пропорційна випрямленому струму ротора I_d від датчика струму ДТ. У результаті забезпечується робота двигуна на жорстких механічних характеристиках з обмеженням максимального моменту, завдяки автоматичній зміні коефіцієнта заповнення $k_z = t_{on} T$, де t_{on} - тривалість замкненого стану ключа S, T – період комутації. Зразковий вид механічних характеристик привода при різних значеннях напруги, що U задає, показаний на рис.4.11

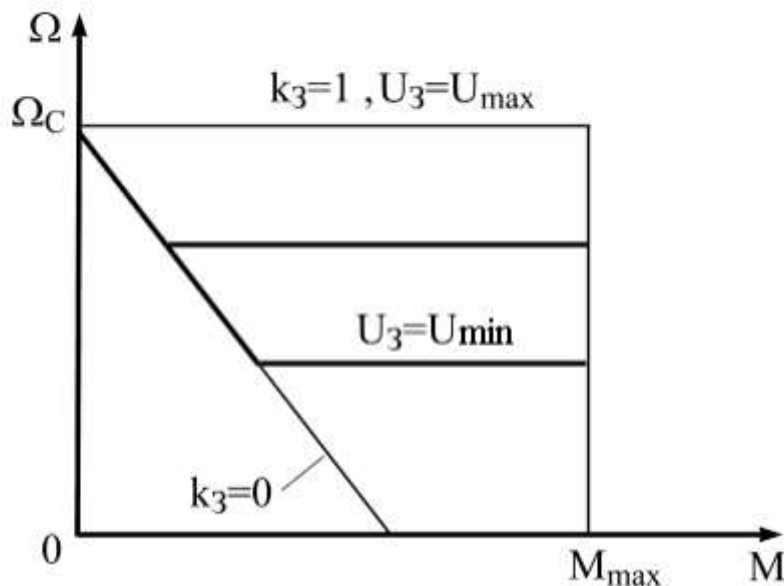


Рис 4.11

Ліворуч робоча область обмежена похилою лінією, що представляє собою механічну характеристику електродвигуна при постійно включеному резисторі R $k_3 = 0$, а праворуч – максимальним значенням моменту M_{\max} , обумовленим рівнем сигналу, формованого датчиком струму ДТ. Розглянута СКЕП досить простими засобами забезпечує:

1. Плавне регулювання швидкості в широких межах.
2. Стабілізацію швидкості при роботі на проміжних характеристиках.
3. Високу швидкодію електропривода.

Разом з тим, коефіцієнт корисної дії привода невисокий і різко знижується при зменшенні швидкості через високий опір роторного кола й впливу вищих гармонік струму.

Прогрес в області силової перетворювальної техніки на базі тиристорів і потужних транзисторів відкриває можливості широкого застосування частотно-керованого асинхронного привода. Частотне керування дозволяє одержати характеристики привода, подібні характеристик електроприводів постійного струму, і навіть із більш високою швидкодією за рахунок великої переважувальної здатності асинхронних електродвигунів (АД) і щодо малого моменту інерції ротора. У цих умовах на динамічні властивості привода істотний вплив виявляють електромагнітні перехідні процеси в системі перетворювач частоти – двигун, без врахування яких неможливо одержати адекватну математичну модель привода й забезпечити при синтезі необхідні показники якості процесів керування. Врахування же цих процесів приводить до того, що аналіз і синтез частотно-керованих асинхронних електроприводів виявляється надзвичайно складним, і в першу чергу, через складність АД як керованого об'єкта. 69 Залежно від вимог, пропонованих до електропривода, застосовують різноманітні СКЕП, від найпростіших розімкнутих до дуже

складних, реалізація яких можлива тільки із застосуванням спеціалізованих обчислювальних пристроїв на базі засобів мікропроцесорної техніки. Системи частотного керування асинхронних електроприводів ділять на скалярні й векторні. При скалярному керуванні спільно регулюють частоту й величину напруги або токи статорних обмоток асинхронного двигуна. Відповідно розрізняють частотне керування при живленні двигуна від інвертора напруги й частотно-струмове керування – при живленні статорних обмоток АД від інвертора струму. Перевага систем скалярного керування – простота реалізації як розімкнених, так і замкнених СКЕП, недолік – труднощі формування бажаних законів зміни кутової швидкості й моменту в перехідних режимах. У системах векторного керування впливають безпосередньо на обертаючий момент двигуна шляхом зміни амплітудних значень струмів і потокозчеплень, а також кутових зсувів між ними. Живлення електродвигуна при цьому може здійснюватися, як і в системах скалярного керування, від інвертора напруги або інвертора струму. Векторне керування вимагає виміру величини й просторового положення вектора потокозчеплення статора або ротора, безпосередньо, за допомогою відповідних датчиків, або побічно - з використанням математичної моделі АД. Системи з непрямим векторним керуванням є більш простими по технічній реалізації, але уступають системам з прямим векторним керуванням по статичним і динамічним показникам. Система частотного регулювання з функціональним перетворювачем і регуляторами струму й напруги статора Враховуючи, що при частотному регулюванні механічні характеристики $\Omega = f(M)$ АД на робочих ділянках жорсткі (двигун має достатнє саморегулювання), широко застосовують СКЕП без зворотного зв'язку по швидкості. Один з розповсюджених варіантів таких систем наведений на рис.6.7. Електродвигун М одержує живлення від трифазної мережі змінного струму через керований випрямляч УВ, L–С фільтр І, автономний інвертор напруги АІН, які в сукупності утворюють перетворювач частоти ПЧ із явно вираженою ланкою постійного струму. Для підтримки нормального намагнічування двигуна й перевантажувальної здатності у всьому діапазоні швидкостей необхідно одночасно зі зміною вихідної частоти АІН за певним законом змінювати вихідну напругу УВ. Для досягнення цього напруга з елемента ЗЕ надходить безпосередньо на вхід пристрою керування інвертором УУІ, а на вхід регулятора напруги РН через нелінійний функціональний перетворювач ФП з необхідною залежністю $U_{ЗН}$ від Ω швидкості. Стабілізація напруги на двигуні здійснюється двоконтурною системою регулювання з внутрішнім контуром регулювання випрямленого струму (регулятор струму РС) і зовнішнім контуром регулювання напруги. Сигнали зворотного зв'язку по струму й напрузі формуються відповідними датчиками струму ДТ і напруги ДН.

Вихідний сигнал РС надходить на пристрій керування випрямлячем УУВ, виконане за принципом імпульсно-фазового регулювання. Регулятори струму й напруги виконуються на операційних підсилювачах, як і в СКЕП постійного струму.

У розглянутій системі найбільшою електромагнітною інерційністю має фільтр, що дозволяє зневажити електромагнітними перехідними процесами в АД. З врахуванням цього, вибір оптимальних параметрів регуляторів струму й напруги здійснюється так само, як і у двоконтурних СКЕП постійного струму. Для підвищення точності регулювання в статисти звичайно обоє регулятора виконують пропорційно-інтегральними.

Системи векторного керування АД з короткозамкненим ротором.

Сучасні системи векторного частотного керування електроприводами змінного струму виконують на основі розглянутої раніше математичної моделі узагальненої двофазної електричної машини. Звичайно використовують найбільш просту модель із осями координати, v , що обертаються в просторі з постійною кутовою швидкістю Ω_K . Рівняння для АД з короткозамкненим ротором приводяться до наступного виду:

$$\begin{cases} i_{su} \cdot R_s + \frac{d\psi_{su}}{dt} - \Omega_K \cdot \psi_{sv} = U_{su} \\ i_{sv} \cdot R_s + \frac{d\psi_{sv}}{dt} + \Omega_K \cdot \psi_{su} = U_{sv} \\ i_{ru} \cdot R_r + \frac{d\psi_{ru}}{dt} - (\Omega_K - p_n \cdot \Omega) \cdot \psi_{rv} = 0 \\ i_{rv} \cdot R_r + \frac{d\psi_{rv}}{dt} + (\Omega_K - p_n \cdot \Omega) \cdot \psi_{ru} = 0 \\ M = p_n L_{sr} \cdot (i_{sv} \cdot i_{ru} - i_{su} \cdot i_{rv}) = p_n \cdot (\psi_{sv} \cdot i_{ru} - \psi_{ru} \cdot i_{rv}) \end{cases}$$

У рівняннях прийнята нумерація (індексація) змінних і параметрів: індексами s , r позначені змінні й параметри, що ставляться, відповідно, до статора й ротору двофазної електричної машини, а індексами u , v – проекції змінних на відповідні осі. Через p_n позначене число пар полюсів, а через ψ потокозчеплення з обмотками:

$$\begin{aligned} \psi_{su} &= L_s \cdot i_{su} + L_{sr} \cdot i_{ru}; \\ \psi_{sv} &= L_s \cdot i_{sv} + L_{sr} \cdot i_{rv}; \\ \psi_{ru} &= L_r \cdot i_{ru} + L_{sr} \cdot i_{su}; \\ \psi_{rv} &= L_r \cdot i_{rv} + L_{sr} \cdot i_{sv}; \end{aligned}$$

де L_s , L_r – власні індуктивності обмоток статора й ротора; L_{sr} – взаємна індуктивність між обмотками статора й ротора. У рівняннях (6.1) враховане, що взаємні індуктивності між двома обмотками статора дорівнюють нулю, тому що осі обмоток взаємно перпендикулярні, і тому магнітний зв'язок між ними відсутній. Те ж саме справедливо для двох обмоток ротора. У рівняннях (6.1) проекції змінних на координатні осі можна розглядати, як проекції деяких

векторів, що обертаються в просторі. При виборі швидкості обертання осей координат Ω_K , рівної швидкості обертання вектора, що представляє в моделі певну змінну, проекції цього вектора на осі координат будуть постійними величинами.

У результаті суттєво спрощується математична модель АД. Але при синтезі СКЕП із частотним регулюванням важливо спростити не тільки модель керованого об'єкта, але й пристрій керування. Для цього додатково орієнтують обертову систему координат u, v так, щоб напрямком однієї з осей, наприклад u , збігалось по напрямкові з вектором обраної змінної. У цьому випадку проекція вектора на цю вісь буде дорівнює постійній величині, рівної амплітудному значенню змінної, а проекція на другу ортогональну вісь буде дорівнює нулю. Можливі різні варіанти такого сполучення, наприклад, з векторами $U_S, i_S, i_r, \psi_S, \psi_r$ й ін. СКЕП, що використовують такий підхід, називають системами векторного керування. Загалом вони реалізуються в такий спосіб:

1. виміряються фактичні миттєві значення деяких змінних (струмів, напруг, потокозчеплень) реальної асинхронної машини;
2. за допомогою спеціалізованих обчислювальних пристроїв вони перераховуються до відповідних змінних узагальненої двофазної машини з обраною системою координат. Перетворені змінні виявляються при цьому сигналами постійного струму;
3. поточні значення перетворених змінних у пристрої керування рівняються із заданими значеннями;
4. за результатами порівняння відповідними регуляторами виробляються розрахункові керуючі впливи у вигляді електричних сигналів постійного струму;
5. отримані впливи за допомогою спеціалізованих обчислювальних пристроїв перетворюються в керуючі впливи на реальний трифазний перетворювач частоти. При цьому вузли СКЕП, що реалізують функції 3 і 4, виконуються точно так само, як і в як і в системах керування електроприводів постійного струму.

Порівняльними дослідженнями показане, що стосовно до частотного керування АД з короткозамкненим ротором кращими є системи векторного керування з орієнтацією координат по напрямкові векторів результуючого потокозчеплення статора ψ_S або ротора ψ_r . Розглянемо як приклад систему з орієнтацією осей координат по напрямкові вектора потокозчеплення ротора. Позначимо модуль вектора потокозчеплення ротора через ψ_{rm} . Тоді при обраній орієнтації осей u, v : $\psi_{ru} = \psi_{rm} = \text{const}$, $\psi_{rv} = 0$, а похідні за часом $d\psi_{ru} dt = 0$, $d\psi_{rv} dt = 0$ як від постійних величин.

Як що при $i_{ru} = 0$ тоді:

$$M = -p_n \cdot \psi_{rm} \cdot i_{rv},$$

$$\psi_{rm} = L_{sr} \cdot i_{su},$$

$$0 = L_r \cdot i_{rv} + L_{sr} \cdot i_{sv}$$

З рівнянь випливає, що основні взаємозв'язки між параметрами й змінними АД аналогічне таким для двигуна постійного струму (ДПТ): магнітний потік

пропорційний струму намагнічування i_{su} , який є аналогом струму збудження ДПТ, а момент пропорційний добутку магнітного потоку й активного i_{sv} струму, який можна розглядати як аналог струму якоря ДПТ.

Із цих же рівнянь випливає, що якщо при керуванні АД оперувати в колах керування не з реальними змінними машини, а з перетвореними до координатних осей, орієнтованих по полю, можна роздільно управляти величинами магнітного потоку й моменту двигуна, маючи справу не зі змінними синусоїдальними величинами, а з постійними їхніми перетвореними значеннями. Це дозволяє будувати систему керування АД аналогічно розглянутим раніше системам для ДПТ. Основою побудови такої системи є інформація про величину й просторовому положенні вектора потокозчеплення в повітряному зазорі машини, вимір якого звичайно проводиться за допомогою датчиків Холу. З врахуванням викладеного на рис.6.10 наведена спрощена функціональна схема однієї із систем прямого векторного керування з орієнтацією осей координат по напрямкові вектора потокозчеплення ротора (Трансвектор), що розроблена фірмою “Сименс”.

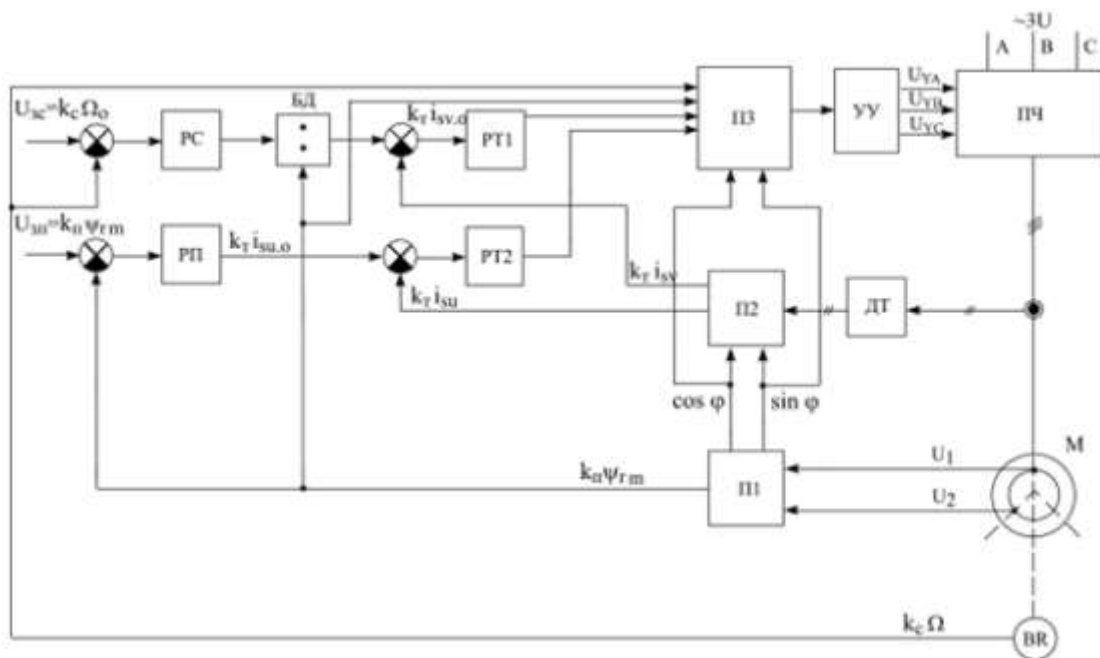


Рис 4.12

Потокозчеплення ротора ψ_r вимірюється в ній двома датчиками Холу, розташованими в повітряному зазорі по осях фаз α , β . По напругах датчика U_1 , U_2 , перетворювач П1 обчислює модуль потокозчеплення ψ_{rm} і його миттєве кутове положення (кут ϕ) щодо нерухливої системи координат α , β , пов'язаної з осями обмоток статора еквівалентної двофазної електричної машини. Реальні струми двох фаз статора вимірюються датчиками струму ДТ і перетворюються перетворювачем П2 у напруги $k_T \cdot i_{su}$, $k_T \cdot i_{sv}$, пропорційні реактивному i_{su} й активному i_{sv} струмам розглянутої вище моделі двофазної електричної

машини. Миттєва швидкість ротора Ω вимірюється датчиком швидкості BR (тахогенератором постійного струму).

У системі використані Пі-регулятори швидкості, магнітного потоку й струмів i_{sv} , i_{su} . На вхід регулятора швидкості РШ надходить сигнал, пропорційний відхиленню фактичної швидкості Ω від заданої Ω_0 . Вихідний сигнал РШ, пропорційний заданому значенню моменту, після поділу блоком розподілу БД на напругу $k_{П} \cdot \psi_{гм}$, що пропорційне заданому магнітному потоку, формує завдання для контуру підлеглого регулювання струму i_{sv} (регулятор струму РС1). На вхід регулятора потоку РП надходить сигнал, пропорційний відхиленню фактичного значення модуля потокозчеплення $\psi_{гм}$ від заданого значення $\psi_{гм} \cdot 0$, а вихідний сигнал РП відповідно до рівняння (??) є, що завданням для підпорядкованого контуру регулювання струму i_{su} (регулятор струму РС2). Вихідні сигнали регуляторів РС1, РС2, датчика швидкості BR і перетворювача П1 надходять на перетворювач ПЗ, у якому розраховуються реальні керуючі впливи, що надходять через пристрій керування УУ на перетворювач частоти ПЧ у колі статора АД. 76 Перетворювачі П1. . . ПЗ системи, що входять до складу, виконуються із застосуванням спеціалізованих обчислювальних пристроїв. Оптимізація регуляторів здійснюється за методикою, розробленою для СКЕП постійного струму з підпорядкованим регулюванням. Розглянута система забезпечує одержання характеристик, що якісно не відрізняються від характеристик електроприводів постійного струму, але вимагає для своєї реалізації вбудовування у двигун спеціальних датчиків для виміру модуля й поточного просторового положення вектора потокозчеплення ротора.

СКЕП з асинхронними каскадами

Варіанти й загальні характеристики каскадів

Каскадні схеми включення АД дозволяють корисно реалізувати енергію ковзання при регулюванні швидкості, на відміну від розглянутих раніше систем керування з незмінною синхронною швидкістю, де енергія розсіюється в елементах роторного кола привода. За способом реалізації енергії ковзання розрізняють два види каскадних з'єднань: електромеханічні й електричні, як показано на рис.4.13

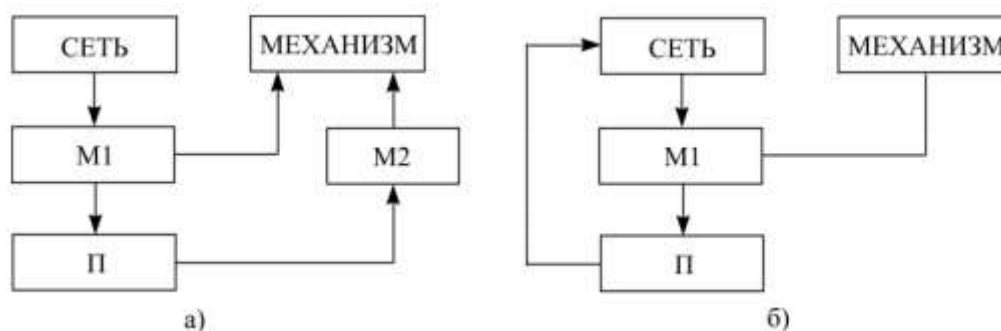


Рис 4.13

В електромеханічному каскаді енергія ковзання головного двигуна М1 через перетворювач П і додатковий двигун М2 передається виробничому механізму, а в електричному каскаді вертається в мережу.

Перетворювач П може бути електромашинним або статичним – на керованих або некерованих вентилях, із проміжною ланкою постійного струму або з безпосереднім зв'язком. У каскадах з безпосереднім зв'язком напруга ротора надходить на колекторний двигун змінного струму, який перетворює енергію ковзання в механічну й передає на вал механізму (варіант а), або через з'єднаний з ним синхронний генератор повертає в мережу (варіант б). У каскадах із проміжною ланкою постійного струму змінна напруга ротора М1 перетворюється за допомогою спеціальної електричної машини – одноякірного перетворювача, або випрямляча в постійну напругу, яка живить додатковий двигун М2 постійного струму. Останній передає енергію в механічному виді виробничому механізму (в електромеханічному каскаді), або, обертаючи генератор змінного струму, повертає її в мережу. 77 У сучасній практиці з великого різноманіття каскадних схем знайшли застосування 2 основних варіанта: 1. Електромеханічний вентиляно-машинний каскад рис.6.12 а. 2. Електричний асинхронно-вентильний каскад рис.4.14 б.

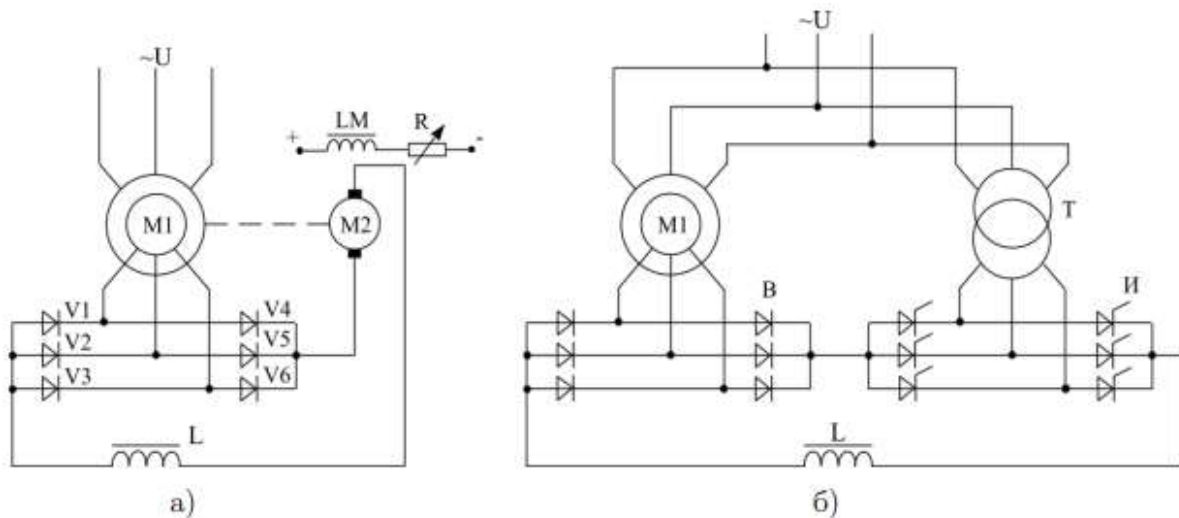


Рис 4.14

В електромеханічному каскаді обертаючий момент МК дорівнює сумі моментів головне АД М1 і додаткового ДПС М2. Регулювання швидкості Ω здійснюється зміною струму збудження ІВ ДПС в обмотці збудження LM2. Сімейство механічних характеристик каскаду $\Omega = f(\text{МК})$ при різних значеннях струму збудження показане на рис.4.15.

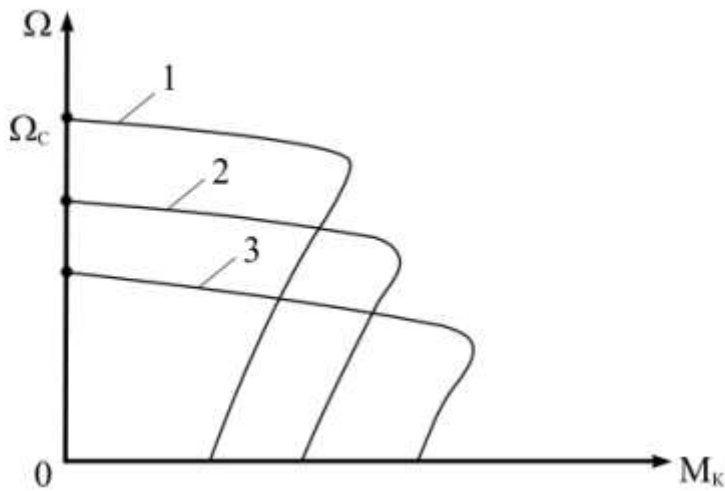


Рис 4.15

Зі збільшенням струму збудження ІВ кутова швидкість знижується, а перевантажувальна здатність привода росте. Регулювання швидкості однозонне (дниз від номінальної).

Діапазон регулювання D порівняно невеликий, обмежується потужністю ДПС і звичайно не перевищує 2:1. В електричному асинхронно-вентильному каскаді (АВК) додаткові електричні машини відсутні, а перетворювач Π містить у собі некерований випрямляч B , інвертор I , синхронізований мережею погоджувальний трансформатор TV . Для обмеження пульсацій випрямленого струму ротора, як і в попередній схемі, використовується дросель L . Регулювання кутової швидкості Ω здійснюється зміною кута інвертування β . Зі зменшенням кута швидкість і одночасно перевантажувальна здатність знижуються, що впливає з сімейства механічних характеристик, наведених на рис.4.16.

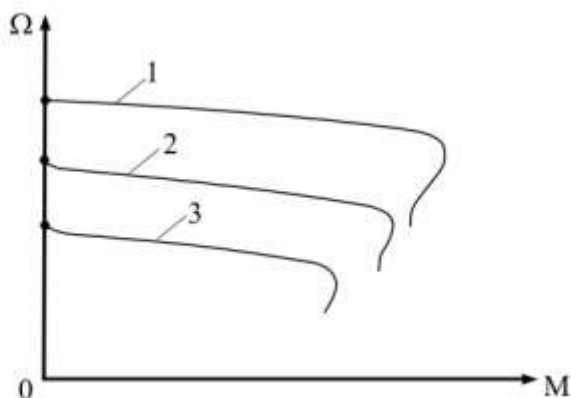


Рис 4.16

При зниженні швидкості характеристики зм'якшуються, тому діапазон регулювання D обмежений заданою точністю підтримки швидкості при зміні моменту опору й зниженням перевантажувальної здатності привода.

Діапазон регулювання розширюється при вентиляторному моменті навантаження, коли при зниженні кубової швидкості у квадратичній залежності

зменшується момент опору на валу двигуна. Для розширення діапазону регулювання й підвищення точності керування застосовують замкнені системи керування асинхронними каскадами з різними варіантами зворотних зв'язків.

Механічна частина значної кількості систем електродвигун - робоча машина має складну кінематичну схему з багатьма ланками, які рухаються з різними швидкостями. Рух окремих ланок може бути обертовим, поступальним або складним. Кожний елемент кінематичної схеми має певну пружність, а в з'єднаннях елементів наявні зазори.

При теоретичному аналізі такої системи потрібно скласти рівняння руху кожного елемента з урахуванням впливу одного елемента на інший, а потім розв'язати ці рівняння разом. Розрахунок систем таким методом досить складний і проводиться в тих випадках, коли потрібна дуже висока точність (слідкуючі системи металообробних верстатів, радіотелескопів, механізми з гнучкими в'язами, довгими валами тощо).

У більшості випадків розрахунки ведуть з допущеннями, що механічна система складається з абсолютно жорстких елементів, які не деформуються і між якими немає зазорів. При такому допущенні за рухом одного елемента можна одержати інформацію про рух решти елементів системи. Найчастіше таким елементом вважають вал електродвигуна. При цьому реальну багатомасову систему замінюють найпростішою одномасовою без зазорів системою з обертальним рухом, еквівалентною в енергетичному відношенні реальній. Розрахункова схема системи зводиться до узагальненої жорсткої механічної ланки, яка має еквівалентну масу з моментом інерції J , на яку діє електромагнітний момент двигуна M_d і сумарний зведений до вала електродвигуна момент статичних опорів M_c , до якого входять всі механічні втрати в системі. В основу принципу зведення моментів статичних опорів до вала електродвигуна покладена рівність потужності системи до і після зведення.

Висновки

У дипломній роботі розглянуті питання системи керування асинхронних двигунів перемінного струму. Асинхронні двигуни перемінного струму знайшли широке застосування в сучасній промисловості через свою простоту і зручність у використанні.

Проектований пристрій призначений для застосування в автоматизованих системах керування, де украй важливо здійснювати плавний пуск асинхронних двигунів змінного струму, які приводять у рух системи промислової автоматики.

Застосування даних пристрою може приводити до зниження навантаження на живильну підстанцію підприємств, зменшенню пускових струмів двигунів, продовженню терміну служби їхніх обмоток і комутаційно-захисної апаратури. Плавний розгін двигунів забезпечує поступовий вибір зазорів у механічних передачах, що істотно збільшує їхній термін служби за рахунок різкого зниження ударних навантажень. Застосування пристроїв плавного пуску дозволяє цілком усунути або істотно зменшити проблеми, що виникають при важких пусках двигунів. Простота конструкції пристроїв плавного пуску і простота обслуговування забезпечує їхню надійну роботу навіть у найважчих умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Брускин Д.Е.и др.. Электричні машини., Вища школа., М., 1987
2. Кузнецов М.И. Основы электротехники., Трудрезервиздат, м., 1997
3. Петров И.В. «Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного программирования», 256 стр., 2004
4. Куприянов М.С., Матюшкин Б.Д. Цифровая обработка сигналов,592 стр., 2000 г..
5. Промислова енергетика №11, 2005 р.
6. Каханер Д., Моулер К., Неш С. Численные методы и программное обеспечение, М., Мир,2001,-575 с.
7. Технічна документація мікроконтролера I-8051.
8. Гук М. Интерфейсы ПК. Справочник, СПб, 1999,-389 с.
9. Новиков Ю.В., Калашников О.А., Разработка устройств сопряжения для ПК, М.,2002,-215с.
10. Куприянов М.С., Матюшкин Б.Д. Цифровая обработка сигналов., М.,2000,-592с.
11. Петухов В.С., Соколов В. А. Повреждения трансформаторов и электродвигателей. Причина — в системе плавного пуска // Новости ЭлектроТехники. — 2005. — № 2(32).
12. Соркин М. Асинхронные электродвигатели 0,4 кВ. Аварийные режимы работы// Новости ЭлектроТехники. —2005.—№ 2(32).

13. Schneider Electric. Устройства плавного пуска и торможения Altistart 48. Каталог 2002. ART. 011237RU.
14. ABB. Системы плавного пуска. Учебное пособие. Февраль 2003.
15. Siemens. SIRIUS 3RW. Устройства плавного пуска. Презентация. Февраль 2005.
16. Ключев В. И., Терехов В. М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов. М., Энергия, 1980. — 360 с.,
17. Лотоцкий К. В. Электрические машины и основы электропривода. М., Колос, 1964. — 495 с., ил.
18. <http://www.electronmash.ru/ustroystva-plavnogo-puska-i-tormozheniya>