

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____ В.П. Захарченко
« ____ » _____ 2020 р.

ДИПЛОМНИЙ РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР

ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 151 «АВТОМАТИКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ НА
ТРАНСПОРТІ»

Тема: «Система керування безколекторним двигуном»

Виконавець _____ студент групи АТ-216М Комашинський Анатолій Васильович
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник _____ к.ф-м.н., доцент Журиленко Борис Євгенович
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Консультант розділу «Охорона праці»: _____ С.М. Занько
(підпис) (ПІБ)

Консультант розділу «Охорона
навколишнього середовища»: _____ В.Ф. Фролов
(підпис) (ПІБ)

Нормоконтролер: _____ Б.Є. Журиленко

КИЇВ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аерокосмічний

Кафедра автоматизації та енергоменеджменту

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр, найменування)

Освітньо-професійна програма «Атоматика та автоматизація на транспорті»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

В.П.Захарченко

«05» жовтня 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи (проекту)

Комашинський Анатолій Васильович

(П.І.Б. випускника)

1. Тема роботи (проекту) «Система керування безколекторним двигуном» затверджена наказом ректора від «30» вересня 2020 р. № 1835/ст.

2. Термін виконання роботи (проекту): з 05.10.2020 р. по 27.12.2020 р.

3. Вихідні дані до роботи (проекту): системи управління приводами двигунів

4. Зміст пояснювальної записки: Аналіз існуючих систем управління двигуном. Дослідження приводу безколекторного двигуна. Порівняльний аналіз систем управління двигуном.

5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу:

Блок схема регулятора швидкості . Часова діаграма комутації. Структурна схема підключення. Структурна схема системи управління електроприводом. Схема запуску електропривода. Схема регулювання швидкості приводу. Мостова схема ключів. Схема включення затворів транзисторів.

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін Виконання	Підпис керівника
1.	Вивчення інформаційних джерел	13.09-13.10.20	
2.	Аналіз системи керування двигуном	11.10-17.10.20	
3.	Особливості експлуатації системи управління безколекторним двигуном	18.10-28.10.20	
4.	Теоретичний розрахунок регулятора частоти сигналу	29.11-05.11.20	
5.	Розгляд теми охорони праці	06.11-16.11.20	
6.	Розгляд теми охорони навколишнього	17.11-09.12.20	
7.	Оформлення креслень	10.12-20.12.20	

7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Занько С.М.		
Охорона навколишнього середовища	Фролов В.Ф.		

8. Дата видачі завдання: «05» вересня 2020 р.

Керівник дипломної роботи (проекту)

(підпис керівника)

Журиленко Б.Є.

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

(підпис випускника)

Комашинський А.В.

(П.І.Б.)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ТИПИ ЕЛЕКТОРОДВИГУНІВ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	11
1.1 Принцип дії, класифікація, загальна характеристика електродвигунів змінного та постійного струму.....	11
1.1.1 Двигуни змінного струму	13
1.1.2 Двигуни постійного струму.....	17
1.2 Використання електродвигунів на транспорті.....	23
1.3 Безколекторний електродвигун постійного струму. Переваги та недоліки.....	25
1.3.1 Переваги та недоліки.....	26
РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ БЕЗКОЛЕКТОРНИХ ДВИГУНІВ..	29
2.1 Відмінність двигунів із зовнішнім та внутрішнім розташуванням магнітів ротора.....	29
2.2 Магніти та полюси.....	30
2.3 Обмотки та зубці.....	31
2.4 Обороти електричні та реальні.....	35
2.5 Датчики положення.....	36
2.6 Основні характеристики.....	37
РОЗДІЛ 3. УПРАВЛІННЯ БЕЗКОЛЕКТОРНИМ ЕЛЕКТРОДВИГУНОМ	39
3.1 Типи безколекторних двигунів та їх застосування	39
3.2 Комутація обмоток безколекторного двигуна.....	41
3.3 Дослідження системи управління безколекторним двигуном.....	44
3.3.1 Управління безколекторним двигуном з датчиками Холла.....	44
3.3.2 Управління бездатчиковим безколекторним двигуном.....	47

3.4 Особливості запуску бездатчикового безколекторного електродвигуна.....	53
3.5 Структура регулятора швидкості безколекторного двигуна.....	56
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	61
4.1 Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	62
4.1.1 Хімічні чинники.....	62
4.1.2 Біологічні чинники.....	64
4.2 Технічні та організаційні заходи щодо профілактики виробничого травматизму.....	65
4.3 Пожежна безпека.....	67
4.4 Інструкція з техніки безпеки.....	75
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	77
5.1 Шкідливі викиди теплових двигунів.....	78
5.2 Шляхи покращення екологічної ситуації за рахунок використання електродвигунів.....	79
5.3 Вплив електричного двигуна на навколишнє середовище.....	81
ВИСНОВКИ.....	82
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	84

ПЕРЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ТЕД – тяговий електродвигун;

КМБ – колісно-моторний блок;

НОЗ – незалежна обмотка збудження;

ШОЗ – шунтована обмотка збудження;

ПОЗ – послідовна обмотка збудження;

Г – ДПС – генератор - двигун постійного струму;

ЕМП–ДПС – електромашинний підсилювач - двигун постійного струму;

МП – ДПС – магнітний підсилювач - двигун постійного струму;

Т – ДПС – тиристорний перетворювач - двигун постійного струму;

ПК - перетворювач координат;

УП - підсилювач потужності;

СЕМП - синхронний електромеханічний перетворювач;

ДПР - датчик положення ротора;

ГОСТ – державний стандарт;

СДПМ – синхронний двигун з постійними магнітами;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

АД – асинхронний двигун;

СД – синхронний двигун;

ЕРС – електрорушійна сила;

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція;

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;

БД – безколекторний двигун

ВСТУП

У часному світі неможливо обійтися без електроприводу. Життя б серйозно ускладнилося, якщо не було би в будинку ліфта. Без електропривода важко собі уявити системи охолодження. Якщо переходити від загального до приватного, то двигуни постійного струму застосовуються в наступних пристроях і системах:

- Крани різних важких виробництв;
- Привід, з вимогами регулювання швидкості в широкому діапазоні і з високим пусковим моментом;
- Тяговий електропривод тепловозів, електровозів, теплоходів, кар'єрних самоскидів;
- Стартери автомобілів, тракторів та ін.

Крокові електродвигуни застосовуються в приводах машин і механізмів, що працюють в старт-стопному режимі, або в приводах безперервного руху, де керуючий вплив задається послідовністю електричних імпульсів, наприклад, у верстатах з ЧПК. На відміну від сервоприводів, крокові приводи дозволяють отримувати прецензійне позиціонування без використання зворотного зв'язку, тобто без датчиків кутового положення. Крокові двигуни застосовуються в пристроях комп'ютерної пам'яті - НГМД, НЖМД, пристроях читання оптичних дисків.

Якщо брати до уваги мікромашини, то найбільш зручним засобом забезпечення живлення можна назвати реверсивний імпульсний перетворювач постійного струму в постійний, силова схема якого отримала назву H-міст

Безколекторні двигуни постійного струму (БДПС) отримали широке розповсюдження завдяки розвитку електроніки і, в тому числі, завдяки появі недорогих силових транзисторних ключів. Також важливу роль зіграла поява потужних рідкоземельних постійних магнітів NdFeB та SmCo. Ідея безколекторного двигуна з'явилася на зорі електротехніки та електромеханіки. Але, в силу неготовності технологій, чекала свого часу до 1962 року, коли з'явився перший комерційний безколекторний двигун постійного струму. Понад півсторіччя існують

різні серійні реалізації даного типу електроприводу. В останні 10 років реалізація та ринок безколекторних двигунів розвивається значно швидше, ніж ринок машин з постійними магнітами інших типів. БДПС мають переваги традиційних ДПС, але за рахунок відсутності колектора більш надійні та не мають обмежень по частоті обертання. В порівнянні з асинхронними двигунами мають наступні переваги: високий коефіцієнт корисної дії та вищий коефіцієнт потужності.

Істотною перевагою безколекторного електродвигуна також є те, що він може бути набагато менших розмірів, ніж електродвигун з колектором, тому що можливе застосування потужних і невеликих неодимових магнітів на роторі.

Актуальність теми: отримавши данні про роботу системи управління безколекторним двигуном, можна сказати про те, що використання безколекторних електродвигунів є виправданим та доцільним. Використання двигуна даного типу зумовлене його високим ККД та тривалим терміном служби.

Метою дипломної роботи є дослідження системи управління безколекторним двигуном.

Об'єкт: процес управління безколекторним двигуном.

Предмет дослідження: система управління безколекторним двигуном.

Методи дослідження: : порівняльний аналіз, теоретичний розрахунок.

Практичне значення отриманих результатів: матеріали дипломного проекту можуть бути використані для проведення наукових досліджень та в теоретичній діяльності фахівців з автоматизації.

РОЗДІЛ 1

ТИПИ ЕЛЕКТОРОДВИГУНІВ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Принцип дії, класифікація, загальна характеристика електродвигунів змінного та постійного струму

Електричний двигун (електродвигун) є пристроєм для перетворення електричної енергії на механічну та приведення до руху машин і механізмів. Він є головним і обов'язковим (але не єдиним) елементом електроприводу.

Перші електричні двигуни були винайдені ще у першій половині XIX ст., а з кінця того ж століття почали набувати все більшого поширення. Сучасні промисловість, транспорт, комунальне господарство, побут неможливо уявити без електричних двигунів.

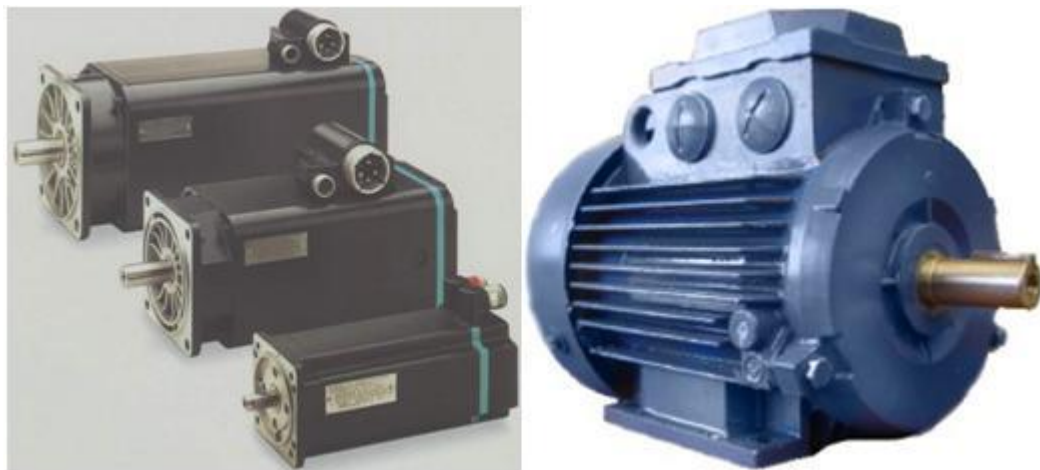


Рис. 1.1 Електричні двигуни оберտального руху

Переважає більшість електричних двигунів є двигунами обертального руху (див. рис. 1.1). Вони складаються з нерухомої частини (статора) та рухомої (ротора). Ротор починає обертатися після подачі живлення до обмоток двигуна. Проте для низки механізмів, які виконують поступальний або зворотно-

поступальний рух (супорти та столи металорізальних верстатів, деякі транспортні засоби), з метою спрощення конструкції механічної частини електропривода іноді використовують лінійні двигуни. Рухома частина таких двигунів (вторинний елемент або бігун) здійснює лінійне переміщення (див. рис. 1.2).

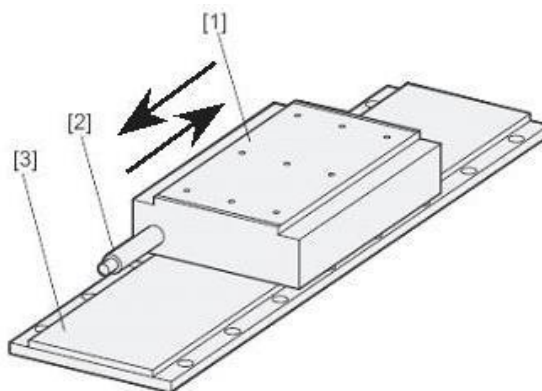


Рис. 1.2 Лінійний електричний двигун: 1 – статор, 2 – підведення живлення, 3 – бігун.

Принцип дії будь-якого електричного двигуна базується на взаємодії магнітних полів. Якщо наблизити один магніт до іншого, то різнойменні їхні полюси будуть притягуватися один до одного, а однойменні – відштовхуватися. У двигуні роль принаймні одного з магнітів грає котушка зі струмом (тобто електромагніт). Відомо, що протікання провідником електричного струму викликає появу магнітного поля довкола провідника (див. рис. 1.3). Це поле має коаксіальний характер, а напрям його магнітних силових ліній можна визначити за «правилом гвинта». Згідно з цим правилом, якщо гвинт закручувати у провідник так, щоб напрям поступального руху гвинта збігався з напрямом струму, то напрям обертання гвинта покаже напрям магнітних силових ліній поля (стрілки на рис. 1.3).

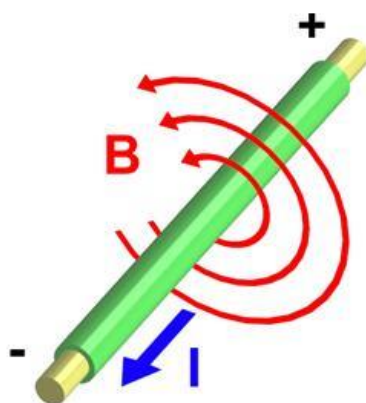


Рис. 1.3 Виникнення магнітного поля провідника зі струмом

За принципом виникнення обертаючого моменту електродвигуни можна розділити на гістерезисні і магнітоелектричні. У двигунів першої групи обертовий момент створюється внаслідок гістерезису при перемагнічуванні ротора. Дані двигуни не є традиційними і не широко поширені в промисловості.

Найбільш поширені магнітоелектричні двигуни, які за типом споживаної енергії підрозділяються на дві великі групи:

- двигуни постійного струму;
- двигуни змінного струму.

1.1.1. Двигуни змінного струму

До двигунів змінного струму належать синхронні, крокові (різновид синхронних) та асинхронні двигуни. Їх об'єднує те, що їхніми обмотками протікають знакозмінні струми, а живляться вони від джерел знакозмінної напруги.

Статор електричних двигунів змінного струму являє собою осердя (магнітопровід) з листів електротехнічної сталі, у якому зроблено отвори (пази) для розміщення обмотки. Обмотка складається з окремих секцій (котушок, рамок). У середині статора на підшипниках розташований ротор, спроможний вільно обертатися відносно своєї осі.

На рисунку 6 схематично показано поперечний переріз статора та ротора. На протилежних боках статора у двох пазях розташовані провідники елементарної

котушки обмотки. До котушки можна подати напругу від стороннього джерела з тією чи іншою полярністю. На роторі розміщений постійний магніт (полюси N_r та S_r). Якщо до обмотки статора подати постійний струм такого напрямку, як показано на рис. 4а, виникає магнітне поле статора з полюсами N_s та S_s . Ротор повертається за годинниковою стрілкою, аби сумістити протилежні полюси полів ротора та статора (остаточне положення ротора показано штриховою лінією). Якщо полярність струму статора протилежна (диа. рис. 1.4б), полюси статора поміняються місцями, а ротор повертатиметься у протилежний бік.

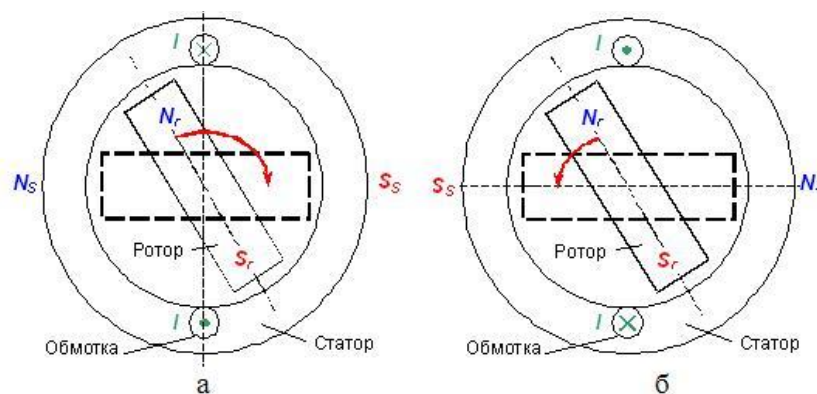


Рис. 1.4 Взаємодія магнітних полів статора та ротора

Аби забезпечити безперервне обертання ротора, на статорі розташовують кілька окремих обмоток, живлених від окремих джерел. На рис. 1.5 показаний поперечний переріз двигуна з трьома обмотками статора (червона А, синя В, зелена С). Подібний двигун називають трифазним, а його обмотки – фазними. Обмотки являють собою елементарні рамки з провідника, зсунуті у просторі на 120 градусів одна від одної. На рис. 1.5 струм протікає лише обмотками зі значками точки та хрестика.

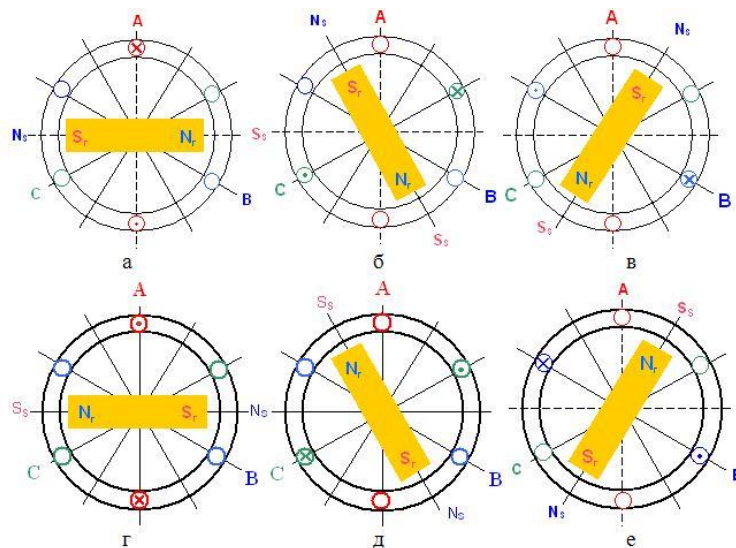


Рис. 1.5 Принцип дії синхронного двигуна

Якщо подати струм до обмотки А так, як показано на рис. 1.5а, магнітна вісь поля статора стане горизонтальною, а південний полюс поля ротора після його повороту суміститься з північним полюсом поля статора. Протікання струму обмоткою С призведе до повороту магнітної осі статора (а за ним – ротора) на 60 градусів за годинниковою стрілкою. Згодом струм подається до обмотки В. Після цього струм протікає обмотками А, С, В, але у протилежному напрямі. Кожного разу магнітна вісь статора, а за нею – і ротор повертаються на наступні 60 градусів. Якщо після чергового перемикавання струму в обмотках продовжити протікання струму в останній обмотці, ротор лишиться нерухомим. Саме таким є принцип дії крокового двигуна. Такі двигуни використовують для дозованого повороту валу механізму на заданий кут (наприклад, в електромеханічних годинниках та принтерах). Змінити напрям обертання ротору можна, змінивши порядок підключення обмоток до позитивного полюсу джерела (А-С-В замість А-В-С).

Подаючи поперемінно струм до фазних обмоток (див. рис. 1.6), можна забезпечити безперервне обертання ротора. Струми I_A , I_B , I_C фазних обмоток зсунуті у часі один від одного на третину періоду T . Змінюючи період перемикавання струму в обмотках, можна регулювати швидкість обертання ротора. Для зміни рушійного моменту двигуна змінюють величину струму обмоток статора або індукцію магнітного поля ротора.

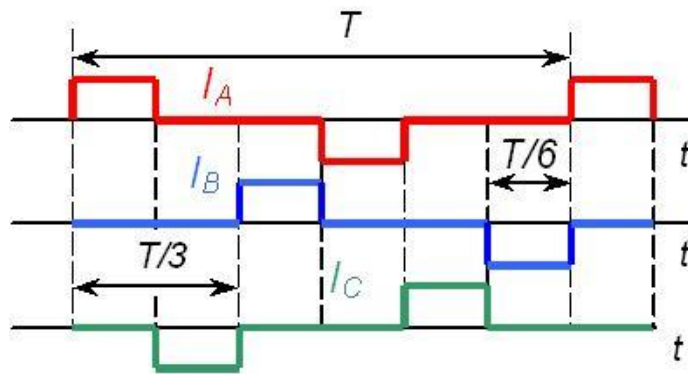


Рис. 1.6 Зміна у часі струмів обмоток статора крокового двигуна

Асинхронний двигун (АД) має такий самий статор, як і синхронний, а обмотками статора також протікають синусоїдні струми. Проте конструкція ротора особлива. Ротор АД набрано з листів електротехнічної сталі (як і статор). У пазах ротора укладено стрижні (алюмінієві або мідні), які на торцях ротора замкнені за допомогою кілець. Якщо ротор обертається зі швидкістю, меншою за швидкість поля статора, в обмотці ротора полем статора наводиться електрорушійна сила, яка спричиняє протікання обмоткою ротора струмів. Струми викликають появу магнітного поля ротора, а взаємодія двох полів – створення рушійного моменту, який повертає ротор. Оскільки рушійний момент виникає лише тоді, коли швидкості ротора та поля статора неоднакові, ротор не може рухатися синхронно з полем статора. Завдяки простоті конструкції, дешевизні та надійності асинхронні двигуни набули найбільшого розповсюдження.

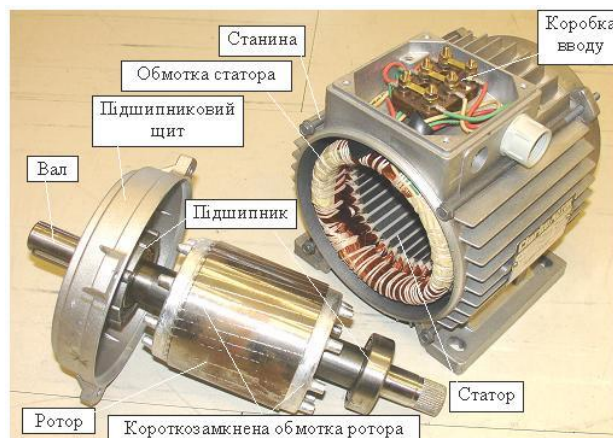


Рис. 1.7 Асинхронний двигун у розібраному вигляді

За кількістю фаз двигуни змінного струму поділяються на:

- однофазні - запускаються вручну, або мають пускову обмотку, або мають фазозсувний ланцюг;
- двофазні - в тому числі конденсаторні;
- трифазні;
- багатофазні;

1.1.2. Двигуни постійного струму

Електродвигуни постійного струму застосовують в тих електроприводах, де потрібний великий діапазон регулювання швидкості, велика точність підтримки швидкості обертання приводу, регулювання швидкості вгору від номінальної.

Робота електричного двигуна постійного струму заснована на явищі електромагнітної індукції. З основ електротехніки відомо, що на провідник зі струмом, поміщений в магнітне поле, діє сила, яка визначається за правилом лівої руки:

$$F = BIL,$$

де I - струм, що протікає по провіднику, B - індукція магнітного поля; L - довжина провідника.

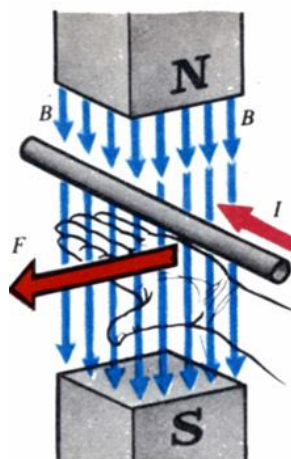


Рис. 1.8 Правило лівої руки

При перетині провідником магнітних силових ліній машини в ньому наводиться ЕРС, яка по відношенню до струму в провіднику спрямована проти

нього, тому вона називається оберненою. Електрична потужність в двигуні перетворюється в механічну і частково витрачається на нагрівання провідника.

Індуктор електродвигуна постійного струму служить для створення нерухомого магнітного поля машини і складається з станини, головних і додаткових полюсів. Станина служить для кріплення основних і додаткових полюсів і є елементом магнітного ланцюга машини. На головних полюсах розташовані обмотки збудження, призначені для створення магнітного поля машини, на додаткових полюсах - спеціальна обмотка, що служить для поліпшення умов комутації.

Якір електродвигуна постійного струму складається з магнітної системи, зібраної з окремих листів, робочої обмотки, покладеної в пази, і колектора службовця для підведення до робочій обмотці постійного струму.

Колектор являє собою циліндр, насаджений на вал двигуна і обраний з ізолюваних один від одного мідних пластин. На колекторі є виступи-півники, до яких припаяні кінці секцій обмотки якоря. Знімання струму з колектора здійснюється за допомогою щіток, що забезпечують ковзний контакт з колектором. Щітки закріплені в щеткодержателях, які утримують їх в певному положенні і забезпечують необхідне натискання щітки на поверхню колектора. Щітки і щіткотримачі закріплені на траверсі, пов'язаної з корпусом електродвигуна

В електроприводі звичайно виникає задача автоматичного керування електричним двигуном. У найпростіших випадках достатньо лише забезпечити їхній запуск, зупинку, зміну напрямку обертання та захист від аварійних режимів. Подібні функції легко реалізуються за допомогою простих та відносно дешевих електромеханічних контакторів та реле. Проте часто є потреба в плавному регулюванні швидкості обертання та рушійного моменту. Тоді для живлення двигунів використовують керовані джерела живлення – напівпровідникові перетворювачі енергії та достатньо складні системи автоматичного регулювання. Електроприводи, до складу яких, окрім двигуна, входять керовані перетворювачі енергії та системи автоматичного керування, здатні виконувати виробничу задачу

за мінімальної участі людини. Вони отримали назву автоматизованих електроприводів.

Способи збудження електродвигунів постійного струму

Під збудженням електричних машин розуміють створення в них магнітного поля, необхідного для роботи електродвигуна. Схеми збудження електродвигунів постійного струму показані на Рис.9.

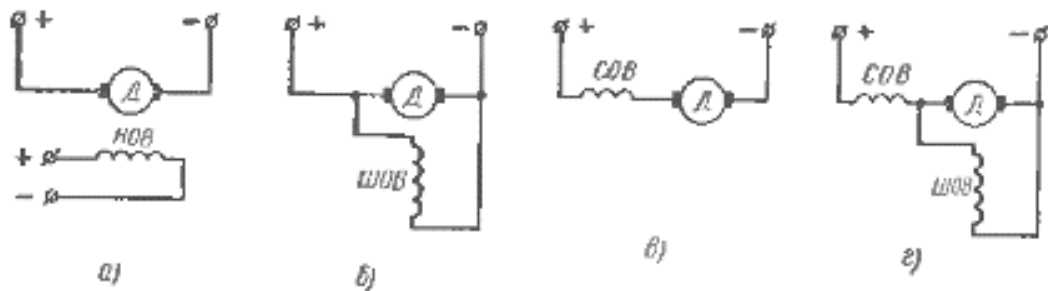


Рис. 1.9 Схеми збудження електродвигунів постійного струму: а - незалежне, б - паралельне, в - послідовне, г – змішане

Двигуни постійного струму в свою чергу по наявності щітково-колекторного вузла підрозділяються на:

- колекторні двигуни;
- безколекторні двигуни.

Щітково-колекторний вузол забезпечує електричне з'єднання ланцюгів обертової та нерухомої частин машини і є найбільш ненадійним і складним в обслуговуванні конструктивним елементом .

Безколекторні двигуни (вентильні двигуни) - електродвигуни, виконані у вигляді замкнутої системи з використанням датчика положення ротора, системи управління (перетворювача координат) і силового напівпровідникового перетворювача. Принцип роботи даних двигунів аналогічний принципу роботи синхронних двигунів.

Пуск двигунів постійного струму

У початковий момент пуску двигуна якір нерухомий і протидія ЕДС в якорі дорівнює нулю, тому:

$$I_n = \frac{U}{R_j},$$

Опір ланцюга якоря невеликий, тому пусковий струм перевищує в 10 - 20 разів і більше номінального. Це може викликати значні електродинамічні зусилля в обмотці якоря і надмірний перегрів, тому пуск двигуна виробляють за допомогою пускових реостатів - активних опорів, що включаються в ланцюг якоря. Двигуни потужністю до 1 кВт допускають прямий пуск.

Величина опору пускового реостата вибирається по допустимому пусковому струму двигуна. Реостат виконують ступінчастим для поліпшення плавності пуску електродвигуна. На початку пуску вводиться всі опори реостата. У міру збільшення швидкості якоря виникає ЕДС, яка обмежує пускові струми. Поступово виводячи щабель за щаблем опір реостата з ланцюга якоря, збільшують напругу підведену до якоря.

Регулювання частоти обертання електродвигуна постійного струму

Частота обертання двигуна постійного струму:

$$n = \frac{U - I_j \cdot R_j}{k_c \cdot \Phi},$$

де U - напруга мережі живлення; I_j - струм якоря; R_j - опір ланцюг якоря; k_c - коефіцієнт, що характеризує магнітну систему; Φ - магнітний потік електродвигуна.

З формули видно, що частоту обертання електродвигуна постійного струму можна регулювати трьома шляхами: зміною потоку збудження електродвигуна, зміною підводиться до електродвигуна напруги і зміною опору в ланцюзі якоря.

Найбільш широке застосування отримали перші два способи регулювання, третій спосіб застосовують рідко: він неекономічний, швидкість двигуна при цьому значно залежить від коливань навантаження. Механічні характеристики, які при цьому виходять, показані на рис. 1.10.

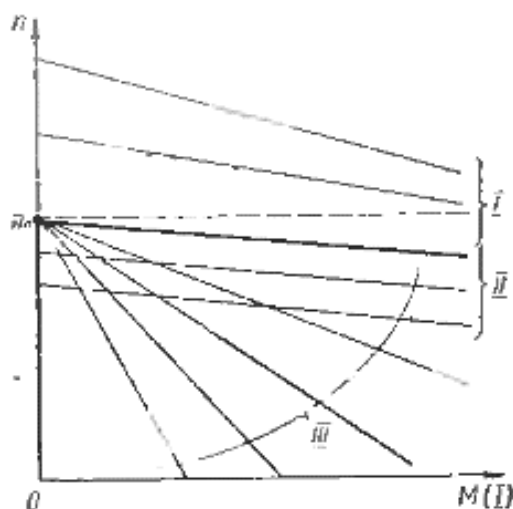


Рис. 1.10 Механічні характеристики електродвигуна постійного струму при різних способах регулювання частоти обертання

Величину струму збудження двигуна постійного струму можна регулювати за допомогою реостата або будь-якого пристрою, активний опір якого можна змінювати за величиною, наприклад транзистора. При збільшенні опору в ланцюзі струм збудження зменшується, частота обертання двигуна збільшується. При ослабленні магнітного потоку механічні характеристики розташовуються вище природної. Підвищення частоти обертання двигуна викликає посилення іскріння під щітками..

Регулювання зміною напруги вимагає джерела постійного струму, наприклад генератора або перетворювача. Таке регулювання використовують у всіх промислових системах електроприводу: генератор - двигун постійного струму (Г - ДПС), електромашинний підсилювач - двигун постійного струму (ЕМП - ДПС), магнітний підсилювач - двигун постійного струму (МП - ДПС), тиристорний перетворювач - двигун постійного струму (Т - ДПС).

Гальмування електродвигунів постійного струму

В електроприводах з електродвигунами постійного струму застосовують три способи гальмування: динамічне, рекуперативне і гальмування противовключенням.

Динамічне гальмування електродвигуна постійного струму здійснюється шляхом замикання обмотки якоря двигуна накоротко або через резистор. При цьому електродвигун постійного струму починає працювати як генератор, перетворюючи накопичену їм механічну енергію в електричну. Ця енергія виділяється у вигляді тепла в опорі, на яке замкнута обмотка якоря. Динамічне гальмування забезпечує точний останов електродвигуна.

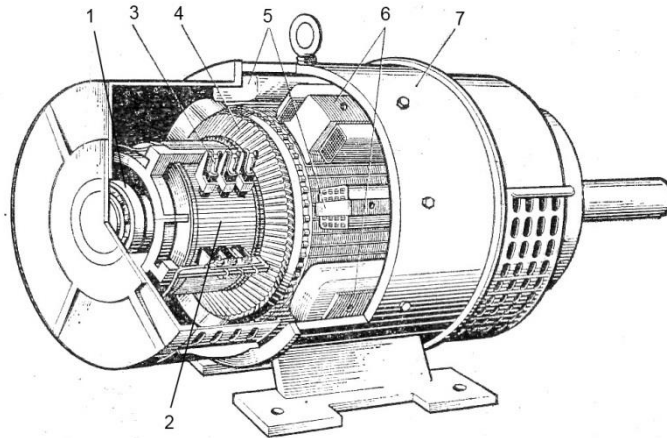


Рис. 1.11 Двигун постійного струму

Рекуперативне гальмування електродвигуна постійного струму здійснюється в тому випадку, коли він приєднаний до мережі електродвигун обертається виконавчим механізмом зі швидкістю, що перевищує швидкість ідеального холостого ходу. Тоді ЕДС, наведена в обмотці двигуна, перевищить значення напруги мережі, струм в обмотці двигуна змінює напрямок на протилежне. Електродвигун переходить на роботу в генераторному режимі, віддаючи енергію в мережу. Одночасно на його валу виникає гальмівний момент. Такий режим може бути отриманий в приводах підйомних механізмів при опусканні вантажу, а також при регулюванні швидкості двигуна і під час гальмівних процесів в електроприводах постійного струму. Рекуперативне гальмування двигуна постійного струму є найбільш економічним способом, так як в цьому випадку відбувається повернення в мережу електроенергії.

Гальмування противключенням електродвигуна постійного струму здійснюється шляхом зміни полярності напруги і струму в обмотці якоря. При взаємодії струму якоря з магнітним полем обмотки збудження створюється

гальмівний момент, який зменшується у міру зменшення частоти обертання електродвигуна. При зменшенні частоти обертання електродвигуна до нуля електродвигун повинен бути відключений від мережі, інакше він почне розгортатися в зворотну сторону.

1.2. Використання електродвигунів на транспорті

Незабаром після того як електродвигун був винайдений, його почали використовувати в наземному, повітряному та водному транспорті в якості тягової сили. Навіть з появою двигуна внутрішнього згорання електричні механізми не втратили своєї актуальності завдяки таким якостям, як:

- високий ККД (до 95%);
- великий ресурс;
- екологічність;
- простота в догляді;
- велика потужність;
- економічність;
- безшумність.

Використання електродвигунів в різних промисловостях обумовлено їх високою ефективністю та екологічною чистотою. Основні види техніки, які працюють на електриці - це:

- локомотиви (тепловози з електропередачею і електровози);
- підводні човни, теплоходи з електроприводами;
- приміські електропоїзди;
- міський наземний транспорт (тролейбуси і трамваї);
- підземний міський транспорт (потяги метрополітену);
- електромобілі;
- великовантажні автомобілі з електроприводом;

- безпілотні літальні апарати;
- самохідні крани;
- транспортно-підйомні машини.

У тепловозах часто встановлюється дизель в парі з електродвигуном - перший обертає генератор, який живить ТЕД, а другий приводить колеса в рух.

Двигуни для надземного і підземного міського транспорту дають можливість поліпшити екологічну обстановку і знизити рівень шуму в мегаполісах. Основне навантаження припадає на потяги метро, тому зараз безперервно ведеться робота над поліпшенням експлуатаційних характеристик, надійності і довговічності електродвигунів вагонів. До них ставляться такі вимоги:

- здатність справлятися з високими пусковими ускореннями;
- здатність зберігати високу ефективність при постійній зміні режимів роботи.

До особливостей тягових двигунів для всіх видів міського транспорту можна віднести:

- порівняно невелику потужність (до 200 кВт);
- низьке максимальна напруга;
- високий ккд (до 91%);
- наявність резервів для зростання ефективності роботи агрегату;
- двигуни для спецтехніки і кранових установок.

На самохідних кранах електродвигуни надають рух приводу коліс і лебідці. При потужності в 40-50кВт вони можуть працювати від мережі 220В. У торгових і логістичних центрах для транспортування продуктів харчування і фармакологічних товарів застосовуються виключно навантажувачі з електродвигунами, так як вони не виробляють екологічно шкідливих викидів.

Двигуни для електровозів - це найпотужніші двигуни (до 400кВт для тепловозів і до 1500Квт для кар'єрних і магістральних електровозів), які працюють в комплексі з тяговою передачею і рушійною колісною парою, утворюючи КМБ. Вони створюють дуже сильне тягове зусилля і дозволяють транспорту розвивати велику швидкість.

1.3 Безколекторний електродвигун постійного струму. Переваги та недоліки

Безколекторні двигуни отримали широке поширення завдяки розвитку електроніки і, в тому числі, завдяки появі недорогих силових транзисторних ключів. Також важливу роль зіграла поява потужних неодімових магнітів. Однак не варто вважати безколекторний двигун новинкою. Ідея бесколекторного двигуна з'явилася на зорі електрики. Але, в силу неготовності технологій, чекала свого часу до 1962 року, коли з'явився перший комерційний безколекторний двигун постійного струму. Тобто вже понад півстоліття існують різні серійні реалізації цього типу електроприводу!

Безколекторні двигуни постійного струму називають також вентильними. Конструктивно безколекторний двигун складається з ротора з постійними магнітами і статора з обмотками.

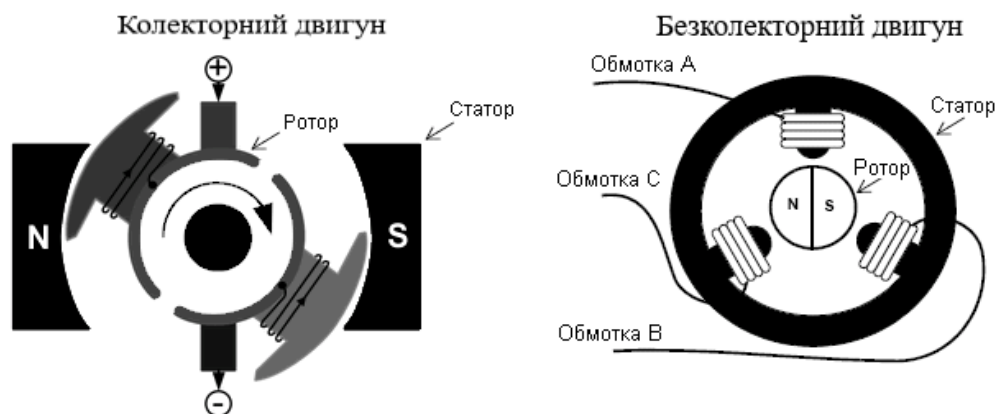


Рис. 1.12 Різниця між колекторним та безколекторним двигуном

Для управління двигуном застосовується електронний регулятор. У зарубіжній літературі Speed Controller або ESC (Electronic speed control).

Зазвичай люди, стикаючись з чимось новим, шукають аналогії. Оскільки більшість безколекторних двигунів трифазні, це ще більше плутає, що призводить до неправильного думку про те, що регулятор "годує" двигун змінним 3-х фазним струмом. Все вищесказане відповідає дійсності лише частково. Справа в тому, що синхронними можна назвати всі двигуни крім асинхронних. Всі двигуни постійного струму є синхронними з самосинхронізацією, але їх принцип дії відрізняється від синхронних двигунів змінного струму, у яких самосинхронізація відсутня. Безколекторний двигун постійного струму являє собою двигун постійного струму без колектора. Функції колектора виконує електроніка.

1.3.1 Переваги та недоліки

З конструкції колекторного двигуна видаляється досить складний, важкий і іскрящий вузол – колектор, який вимагає обслуговування. Конструкція двигуна істотно спрощується. Двигун виходить легше і компактніше. Значно зменшуються втрати на комутацію, оскільки контакти колектора і щітки замінюються електронними ключами. У підсумку отримуємо електродвигун з найкращими показниками ККД і показником потужності на кілограм власної ваги, з найбільш широким діапазоном зміни швидкості обертання. На практиці безколекторні двигуни гріються менше, ніж їх колекторні брати. Переносять велике навантаження по моменту. Застосування потужних неодімових магнітів зробили безколекторні двигуни ще більш компактними. Конструкція бесколекторного двигуна дозволяє експлуатувати його в воді і агресивних середовищах (зрозуміло, тільки двигун, регулятор мочити буде дуже дорого). Безколекторні двигуни практично не створюють радіоперешкод.

Єдиним недоліком вважають складний дорогий електронний блок управління (регулятор або ESC). Якщо вам не треба керувати обертами бесколекторного двигуна, без електронного блоку управління все одно не обійтись. Безколекторний двигун без електроніки - просто залізяка. Немає можливості подати на нього напругу і домогтися нормального обертання як у інших двигунів.

Для того щоб зрозуміти, що відбувається в електроніці регулятора, керуючого безколекторним двигуном, повернемося трохи назад і спочатку розберемося як працює колекторний двигун. Зі курсу фізики пам'ятаємо, як магнітне поле діє на рамку зі струмом. Рамка зі струмом обертається в магнітному полі. При цьому вона не обертається постійно, а повертається до певного положення. Для того щоб відбувалося безперервне обертання, потрібно перемикаати напрямок струму в рамці в залежності від положення рамки. У нашому випадку рамка зі струмом - це обмотка двигуна, а перемиканням займається колектор - пристрій зі щітками і контактами. Пристрій найпростішого двигуна дивись на малюнку.

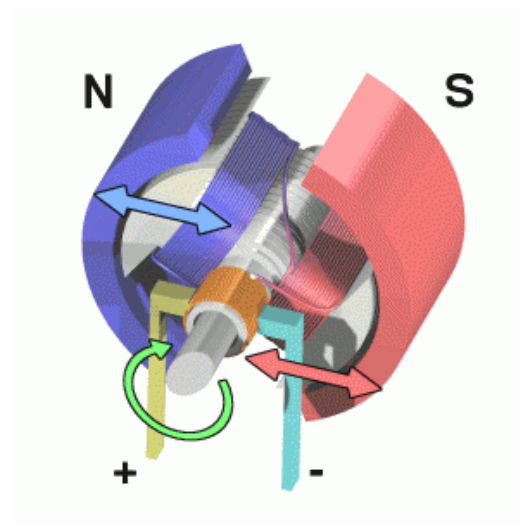


Рис. 1.13 Пристрій найпростішого двигуна

Те ж саме робить і електроніка, що управляє безколекторним двигуном - в потрібні моменти підключає постійна напруга на потрібні обмотки статора.

Подавати напругу на обмотки двигуна потрібно в залежності від положення ротора. Тому електроніка повинна вміти визначати положення ротора двигуна. Для цього застосовуються датчики положення. Вони можуть бути різного типу, оптичні, магнітні і т.д. В даний час дуже поширені дискретні датчики на основі ефекту Холла. У трифазному безколекторним двигуні використовується 3 датчика. Завдяки таким датчикам електронний блок управління завжди знає, в якому стані знаходиться ротор і на які обмотки подавати напругу в кожен момент часу. Пізніше буде розглянуто алгоритм управління трифазним безколекторним двигуном.

Існують безколекторні двигуни, які не мають датчиків. У таких двигунах положення ротора визначається шляхом вимірювання напруги на незадіяно у в даний момент часу обмотці. Слід звернути увагу на істотний момент, цей спосіб актуальний тільки при обертанні двигуна. Коли двигун не обертається або обертається дуже повільно, такий метод не працює.

РОЗДІЛ 2

ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ БЕЗКОЛЕКТОРНИХ ДВИГУНІВ

2.1 Відмінність двигунів із зовнішнім та внутрішнім розташуванням магнітів ротора

Безколекторний двигун постійного струму складається з ротора з постійними магнітами і статора з обмотками. Розрізняють два типи двигунів: Inrunner, у яких магніти ротора знаходяться всередині статора з обмотками, і Outrunner, у яких магніти розташовані зовні і обертаються навколо нерухомого статора з обмотками.

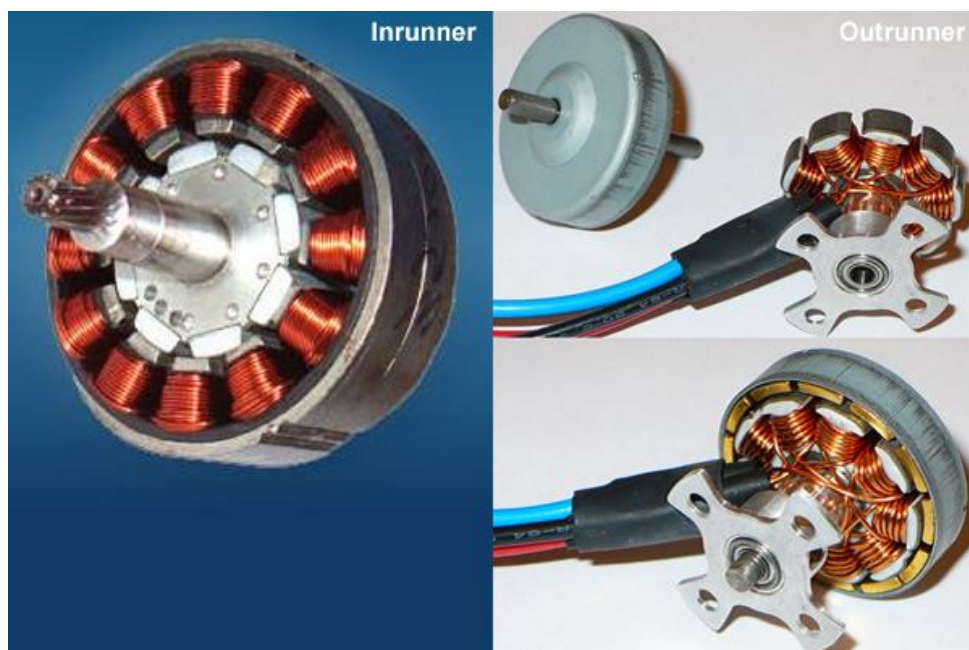


Рис. 2.1 Типи двигунів Inrunner та Outrunner

Схему Inrunner зазвичай застосовують для високоспритних двигунів з невеликою кількістю полюсів. Outrunner при необхідності отримати високомоментного двигун з порівняно невеликими оборотами. Конструктивно Inrunners простіше через те, що нерухомий статор може служити корпусом. До нього можуть бути змонтовані кріпильні пристосування. У разі Outrunners обертається вся зовнішня частина. Кріплення двигуна здійснюється за нерухому вісь або деталі статора. У разі мотор-колеса кріплення здійснюється за нерухому вісь статора, дроти заводяться до статора через порожнисту вісь.

Схему Inrunner зазвичай застосовують для високоспритних двигунів з невеликою кількістю полюсів. Outrunner при необхідності отримати високомоментного двигун з порівняно невеликими оборотами. Конструктивно Inrunners простіше через те, що нерухомий статор може служити корпусом. До нього можуть бути змонтовані кріпильні пристосування. У разі Outrunners обертається вся зовнішня частина. Кріплення двигуна здійснюється за нерухому вісь або деталі статора. У разі мотор-колеса кріплення здійснюється за нерухому вісь статора, дроти заводяться до статора через порожнисту вісь.

2.2 Магніти та полюси

Кількість полюсів на роторі парне. Форма застосовуваних магнітів зазвичай прямокутна. Циліндричні магніти застосовуються рідше. Встановлюються вони з чергуванням полюсів.

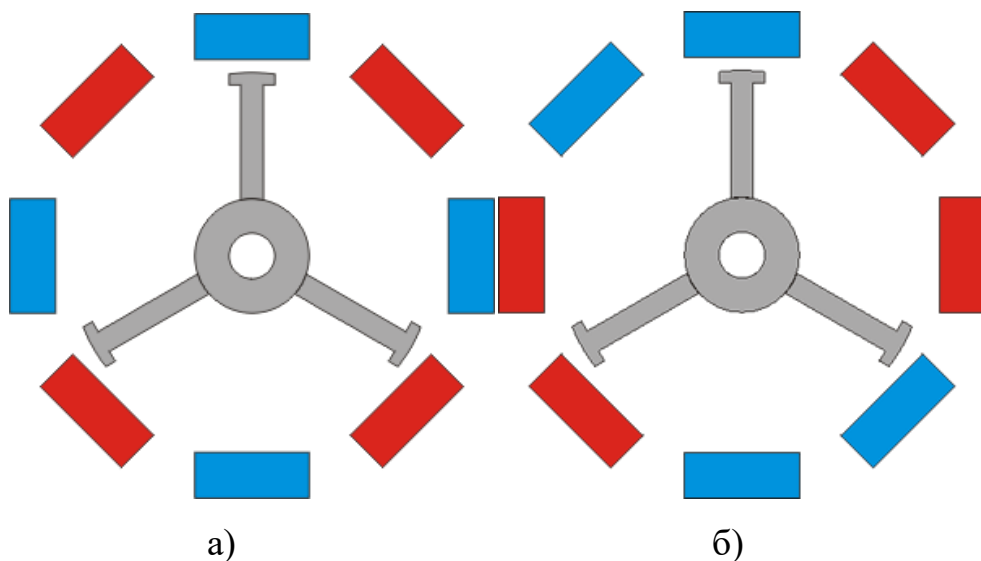


Рис. 2.2 Розташування магнітів: а-чергування полюсів, б-8 магнітів формують 4 полюса

Розмір магнітів залежить від геометрії двигуна і характеристик мотора. Чим сильніші застосовуються магніти, тим вище момент сили, що розвивається двигуном

на валу. Магніти на роторі закріплюються за допомогою спеціального клею. Рідше зустрічаються конструкції з тримачем магнітів. Матеріал ротора може бути магнітопровідним (сталевим), не магнітопровідним (алюмінієві сплави, пластики і т.п.) та комбінованим.

2.3 Обмотки та зубці

Обмотка трифазного безколекторного двигуна виконується мідним дротом. Провід может бути одножильним або складатися з декількох ізольованих жил. Статор виконується з декількох складення разом листів магнітопровідної сталі.

Кількість зубів статора має ділитися на кількість фаз, тобто для трифазного безколекторного двигуна кількість зубів статора має ділитися на 3. Кількість зубів статора може бути як більше так і менше кількості полюсів на роторі. Наприклад існують мотори зі схемами: 9 зубів / 12 магнітів; 51 зуб / 46 магнітів. Двигун з 3-х зубним статором застосовують вкрай рідко. Оскільки в кожен момент часу працює тільки дві фази (при включенні зіркою), магнітні сили впливають на ротор не рівномірно по всьому колу (див. рис. 2.3).

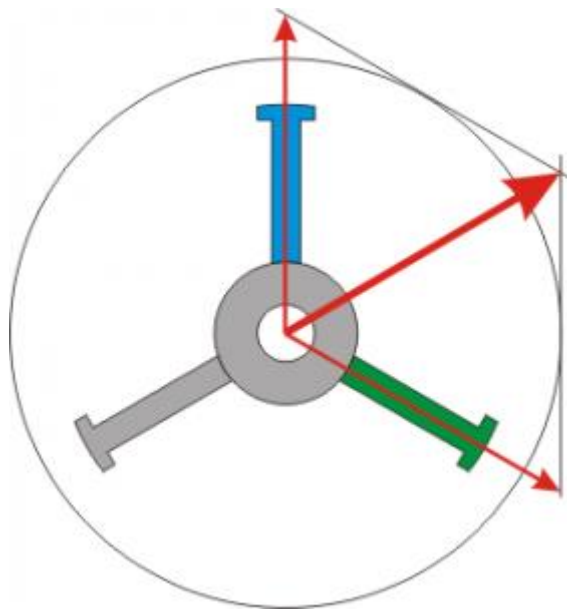


Рис. 2.3 Нерівномірний вплив магнітних сил на ротор

Сили, що впливають на ротор, намагаються його перекосити, що призводить до збільшення вібрацій. Для усунення цього ефекту статор роблять з великою кількістю зубів, а обмотку розподіляють по зубам всьому колу статора якомога рівномірніше. В цьому випадку магнітні сили, що діють на ротор, компенсують одна одну. Дисбаланс не виникає.

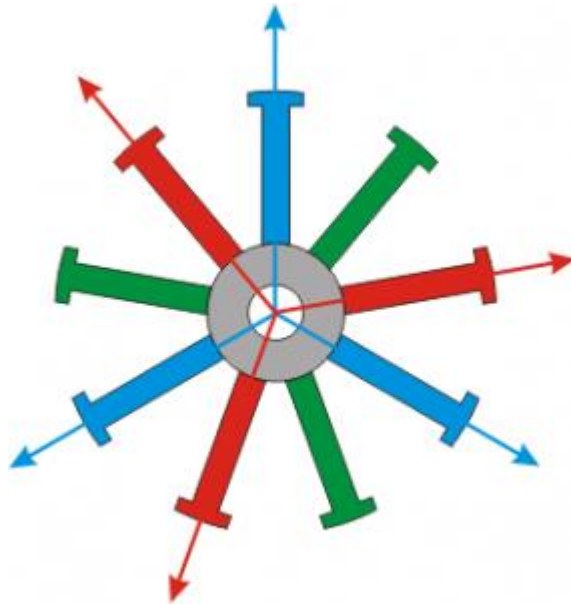


Рис. 2.4 Компенсація сил, які діють на ротор

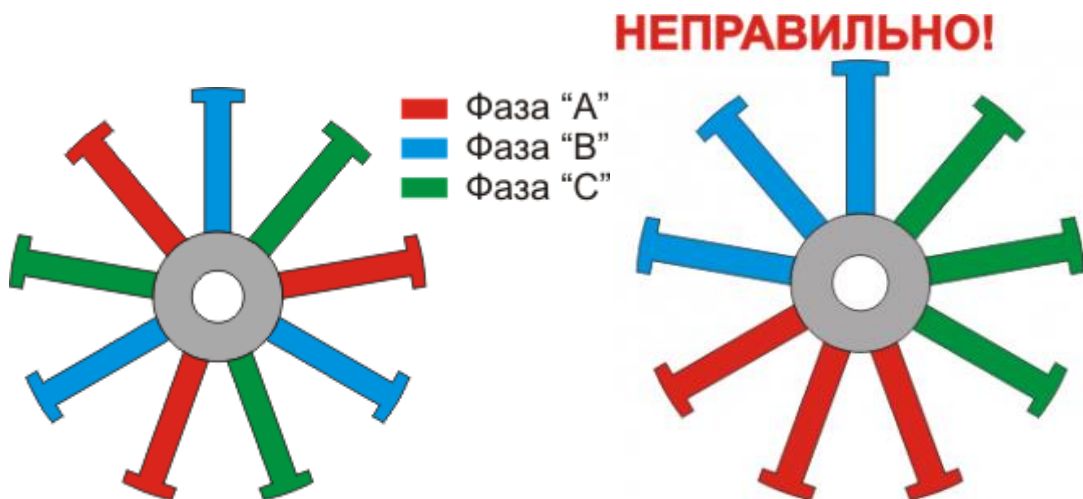


Рис. 2.5 Варіант обмотки на 9 зубів

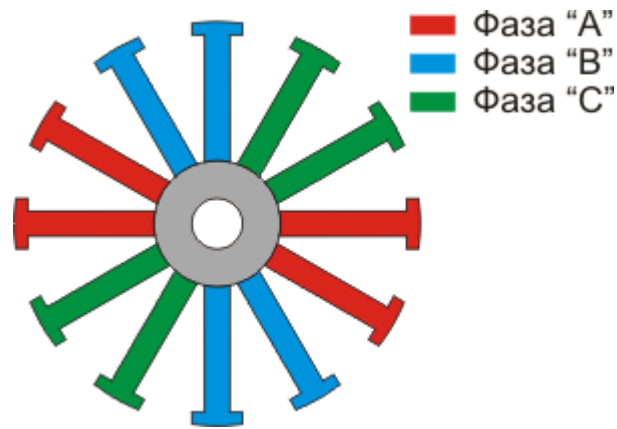


Рис. 2.6 Варіант обмотки на 12 зубів

У наведених схемах число зубів вибрано таким чином, щоб воно ділилося не тільки на 3. Наприклад, при 36 зубах доводиться 12 зубів на одну фазу. 12 зубів можна розподілити так: 6 груп по 2 зуба, 4 групи по 3 зуба, 3 групи по 4 зуба, 2 групи по 6 зубьев.

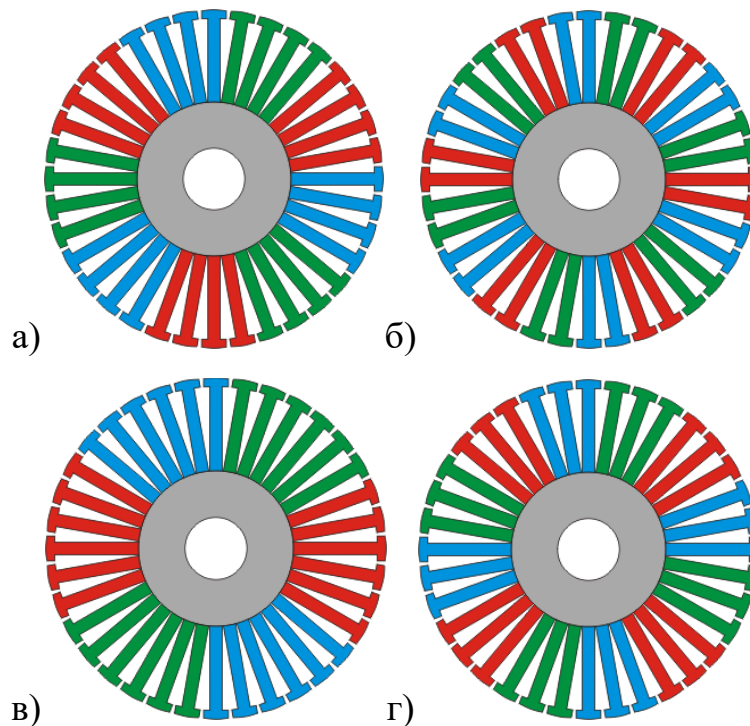


Рис. 2.7 Розподіл 36 зубів: а-3 групи по 4 зуба ,б-6 груп по 2 зуба, в-2 групи по 6 зубьев, г-4 групи по 3 зуба

Найбільш краща схема 6 груп по 2 зуба.

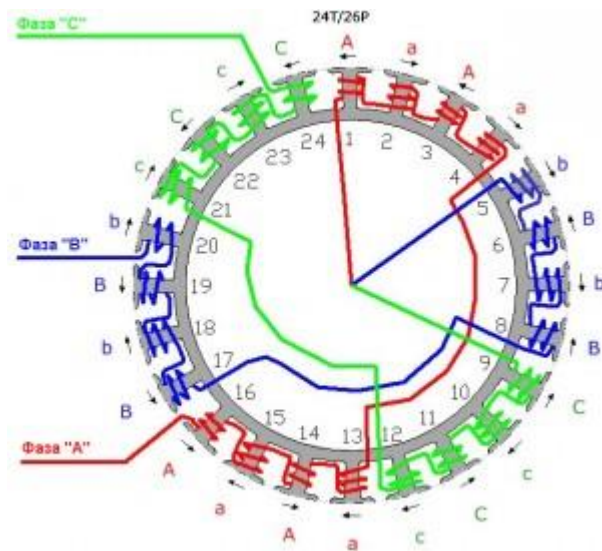


Рис. 2.8 Схема обмотки

Необхідно звернути увагу, що обмотка має різні напрямки намотування на різних зубах. Різні напрямки намотування позначаються прописними і великими літерами. Класична обмотка виконується одним проводом для однієї фази. Тобто всі обмотки на зубах однієї фази з'єднані послідовно.

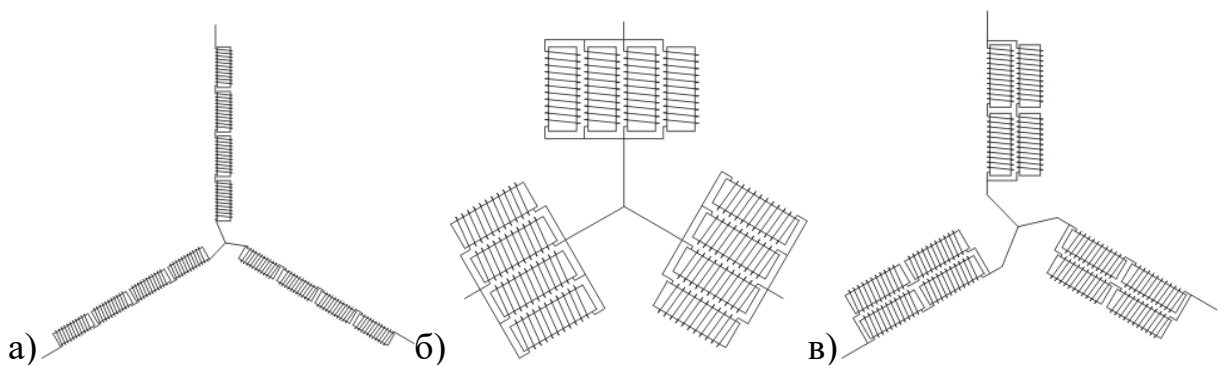


Рис. 2.9 З'єднання обмоток зубів одним проводом: а-послідовно, б-паралельно, в-комбіноване

Паралельне і комбіноване включення дозволяє зменшити індуктивність обмотки, що призводить до збільшення струму статора (отже і потужності) і швидкості обертання двигуна.

2.4 Обороти електричні та реальні

Якщо ротор двигуна має два полюси, то при одному повному обороті магнітного поля на статорі, ротор здійснює один повний оборот. При 4 полюсах, щоб повернути вал двигуна на один повний оборот потрібно два оберти магнітного поля на статорі. Чим більше кількість полюсів ротора, тим більше буде потрібно електричних оборотів для обертання валу двигуна на один оборот. Наприклад, маємо 42 магніту на роторі. Для того щоб повернути ротор на один оборот, буде потрібно $42/2 = 21$ електричний оборот. Це властивість можна використовувати як своєрідний редуктор. Підібравши необхідну кількість полюсів, можна отримати двигун з бажаними швидкісними характеристиками. Крім того, розуміння цього процесу буде нам необхідно в майбутньому, при виборі параметрів регулятора.

2.5 Датчики положення

Пристрій двигунів без датчиків відрізняється від двигунів з датчиками тільки відсутністю останніх. Інших принципових відмінностей немає. Найбільш поширені датчики положення, що працюють на основі ефекту Холла. Датчики реагують на магнітне поле, їх розташовують, як правило, на статорі таким чином, щоб на них впливали магніти ротора. Кут між датчиками повинен бути 120 градусів.

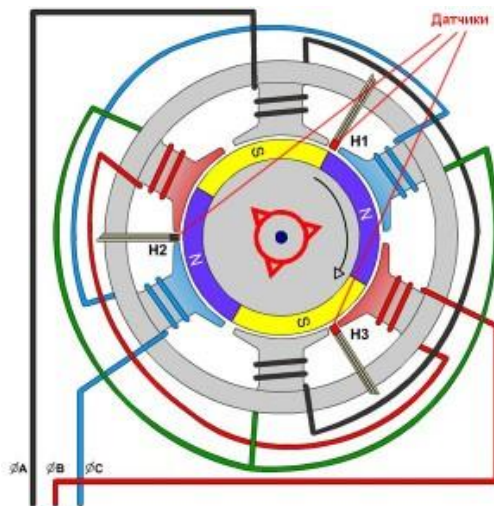


Рис. 2.10 Розташування датчиків Холла

Іноді датчики розташовують зовні двигуна. Ось один із прикладів розташування датчиків.

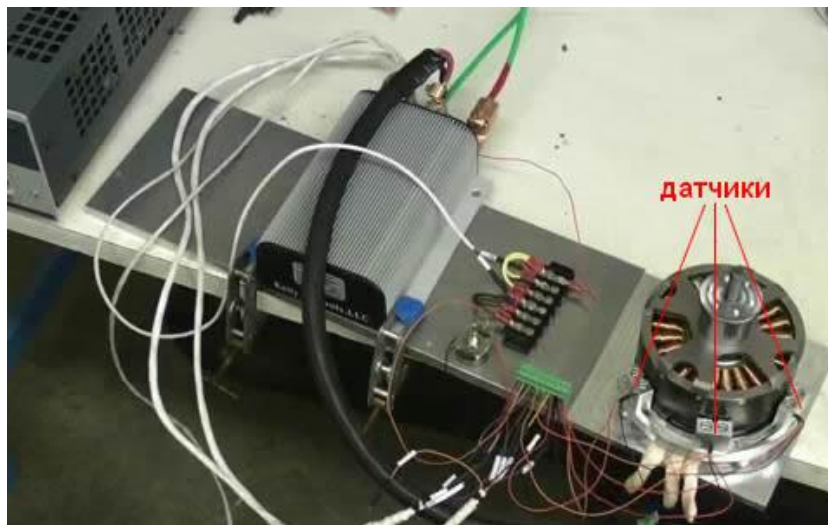


Рис. 2.11 Зовнішнє розташування датчиків

На деяких двигунах датчики встановлюють на спеціальному пристрої, який дозволяє переміщати датчики в певних межах. За допомогою такого пристрою встановлюється кут випередження (timing). Однак, якщо двигун вимагає реверсу (обертання в зворотний бік) буде потрібно другий комплект датчиків, налаштованих на зворотний хід. Оскільки timing не має вирішального значення при старті і низьких оборотах, можна встановити датчики в нульову точку, а кут випередження коригувати програмно, коли двигун почне обертатися.

2.6 Основні характеристики двигуна

Кожен двигун розраховується під певні вимоги і має наступні основні характеристики:

- Режим роботи на який розрахований двигун: тривалий або короткочасний. Тривалий режим роботи має на увазі, що двигун може працювати годинами. Такі двигуни розраховуються таким чином, щоб тепловіддача в навколишнє середовище була вище тепловиділення самого двигуна. У цьому випадку він не буде розігріватися. Приклад: вентиляція, привід ескалатора або конвеєра. Короткочасний - має на увазі, що двигун буде включатися на короткий період, за який не встигне розігрітися до максимальної температури, після чого слід тривалий період, за час якого двигун встигає охолонути. Приклад: привід ліфта, електробритви, фени;
- Опір обмотки двигуна. Опір обмотки двигуна впливає на ККД двигуна. Чим менше опір, тим вище ККД. Вимірявши опір, можна з'ясувати наявність межвиткового замикання в обмотці. Опір обмотки двигуна становить тисячні частки Ома. Для його вимірювання потрібен спеціальний прилад або спеціальна методика вимірювання;
- Максимальна робоча напруга. Максимальна напруга, яке здатна витримати обмотка статора. Максимальна напруга взаємозв'язана з наступним параметром;
- Максимальні обороти. Іноді вказують не максимальні оберти, а K_v - кількість обертів двигуна на один вольт без навантаження на валу. Помноживши цей показник на максимальне напруження, отримаємо максимальні оберти двигуна без навантаження на валу;
- Максимальний струм. Максимально допустимий струм обмотки. Як правило, вказується і час, протягом якого двигун може витримати вказаний струм. Обмеження максимального струму пов'язано з можливим перегрівом обмотки.

Тому при низьких температурах навколишнього середовища реальний час роботи з максимальним струмом буде більше, а в спеку двигун згорить раніше;

- Максимальна потужність двигуна. Безпосередньо пов'язана з попереднім параметром. Це пікова потужність, яку двигун може розвинути на невеликий період часу, зазвичай - кілька секунд. При тривалій роботі на максимальній потужності неминучий перегрів двигуна і вихід його з ладу;
- Номінальна потужність. Потужність, яку двигун може розвивати протягом усього часу включення;
- Кут випередження фази (timing). Обмотка статора має деяку індуктивність, яка гальмує зростання струму в обмотці. Струм досягне максимуму через деякий час. Для того, щоб компенсувати цю затримку перемикач фази виконують з деяким випередженням. Аналогічно запалювання в двигуні внутрішнього згорання, де виставляється кут випередження запалювання з урахуванням часу займання палива.

Так само слід звернути увагу на те, що при номінальному навантаженні Ви не отримаєте максимальних обертів на валу двигуна. K_v вказується для не завантаженою двигуна. При живленні двигуна від батарей слід врахувати "просідання" живлячої напруги під навантаженням, що в свою чергу також знизить максимальні оберти двигуна.

РОЗДІЛ 3

УПРАВЛІННЯ БЕЗКОЛЕКТОРНИМ ЕЛЕКТРОДВИГУНОМ

3.1 Типи безколекторних двигунів та їх застосування

Двигуни з датчиками положення більш кращі з технічної точки зору. Алгоритм управління такими двигунами значно простіше. Однак є і свої мінуси:

- потрібно забезпечити живлення датчиків і прокладку проводів від датчиків в двигуні до керуючої електроніці;
- в разі виходу зі строю одного з датчиків, двигун перестає працювати, а заміна датчиків, як правило, вимагає розбирання двигуна.

У тих випадках, коли конструктивно неможливо розмістити датчики в корпусі двигуна, використовують двигуни без датчиків. Конструктивно такі двигуни практично не відрізняються від двигунів з датчиками. А ось електронний блок повинен вміти управляти двигуном без датчиків. При цьому блок управління має відповідати стандартам конкретної моделі двигуна.

Якщо двигун повинен стартувати з суттєвим навантаженням на валу двигуна (електротранспорт, підйомні механізми і т.п.) - застосовують двигуни з датчиками. Якщо двигун стартує без навантаження на валу (вентиляція, повітряний гвинт, застосовується відцентрова муфта зчеплення і т.п.), можна застосовувати двигуни без датчиків. Двигун без датчиків положення повинен стартувати без навантаження на валу. Якщо ця умова не дотримується, слід використовувати двигун з датчиками. Крім того, в момент старту двигуна без датчиків можливі обертальні коливання осі двигуна в різні боки.

Трьохфазні безколекторні двигуни набули найбільшого поширення. Але вони можуть бути і одне, двох, трьох і більше фазними. Чим більше фаз, тим більше плавне обертання магнітного поля, а й складніше система управління двигуном. 3-х фазна система найбільш оптимальна по співвідношенню ефективність / складність, тому і отримала настільки широке поширення. Фактично фази - це обмотки двигуна. Три обмотки з'єднуються за схемою "зірка" або "трикутник". Трифазний безколекторний двигун має три дроти.

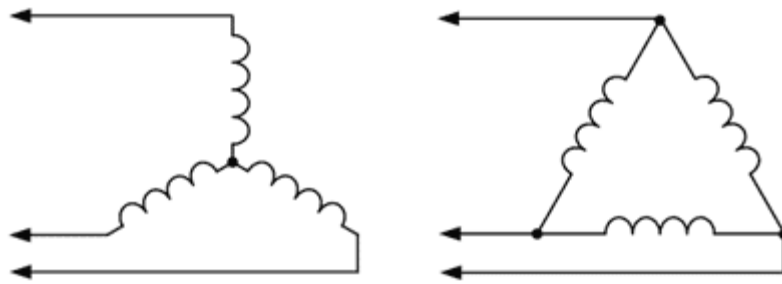


Рис. 3.1 З'єднання за схемою "зірка" та "трикутник"

Двигуни з датчиками мають додаткових 5 проводів (2-живлення датчиків положення, і 3 сигнали від датчиків). У трифазній системі в кожен момент часу напруга подається на дві з трьох обмоток. Таким чином, є 6 варіантів подачі постійної напруги на обмотки двигуна (див. рис. 3.2).

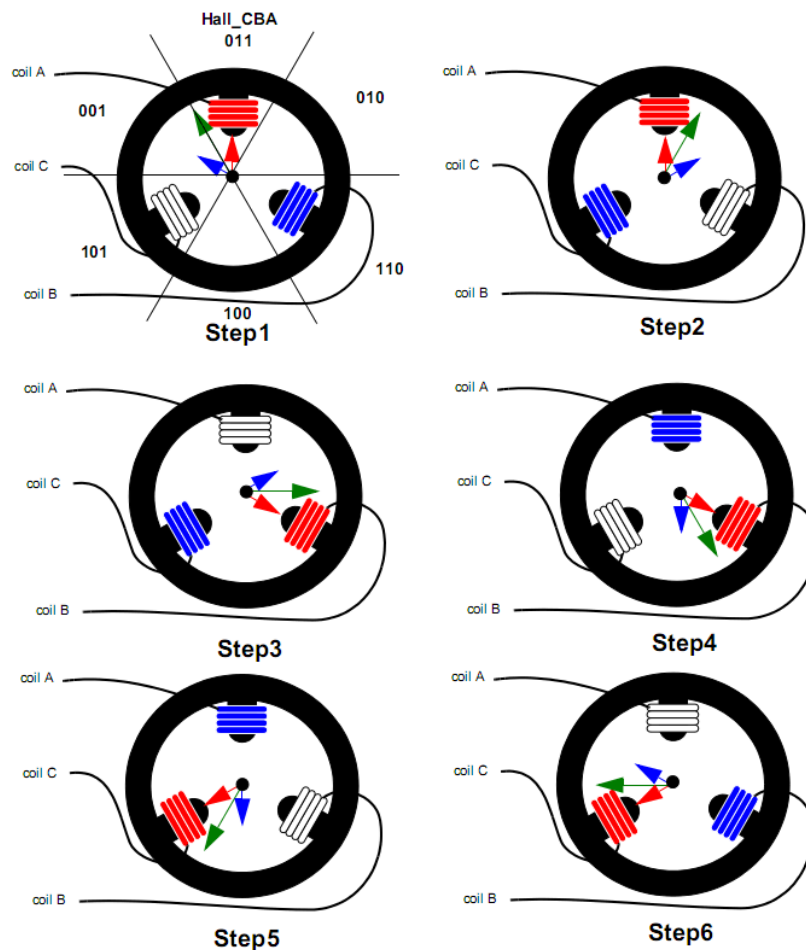


Рис. 3.2 6 варіантів подачі постійної напруги на обмотки двигуна

Це дозволяє створити обертове магнітне поле, яке буде провертатися "кроками" на 60 градусів при кожному перемиканні.

3.2 Комутація обмоток безколекторного двигуна

Щоб змусити працювати приводи даного типу, потрібно спеціальний контролер, без нього запуск неможливий. Збирати самому такий пристрій немає сенсу, дешевше і надійніше буде придбати готовий.

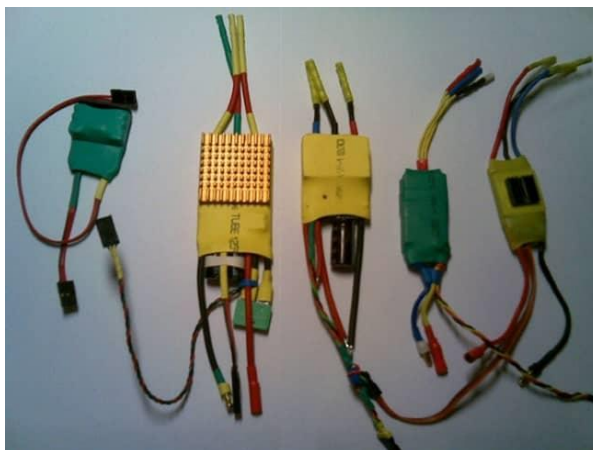


Рис. 3.3 Контролери безколекторних двигунів

Підібрати його можна за такими характеристиками, властивим драйверам ШІМ каналів:

- Максимально допустима сила струму, ця характеристика наводиться для штатного режиму роботи пристрою. У деяких випадках наводиться значення для пікового режиму, який контролер може підтримувати кілька секунд;
- Максимальна величина штатної напруги для тривалої роботи;
- Опір внутрішніх ланцюгів контролера;
- Допустима кількість обертів, вказується в об/хв. Понад це значення контролер не дозволить збільшити обертання (обмеження реалізовано на програмному рівні). Частота обертання завжди наводиться для двополюсних приводів. Якщо пар полюсів більше, слід розділити значення на їх кількість. Наприклад, зазначено число 60000 об/хв., отже, для 6-ти магнітного двигуна частота обертання складе $60000/3 = 20000$ об/хв.

- Частота генеруючих імпульсів, у більшості контролерів цей параметр лежить в межах в 7 до 8 кГц, більш дорогі моделі дозволяють перепрограмувати параметр, збільшивши його до 16 або 32 кГц.

Управління комутацією обмоток приводу здійснюється електронікою. Щоб визначити, коли виробляти перемикання, драйвер відслідковує положення якоря за допомогою датчиків Холла. Якщо привід не споряджений такими детекторами, то в розрахунок береться зворотна ЕРС, яка виникає в невідключених котушках статора. Контролер, який, по суті, є апаратно-програмним комплексом, відстежує ці зміни і задає порядок комутації.

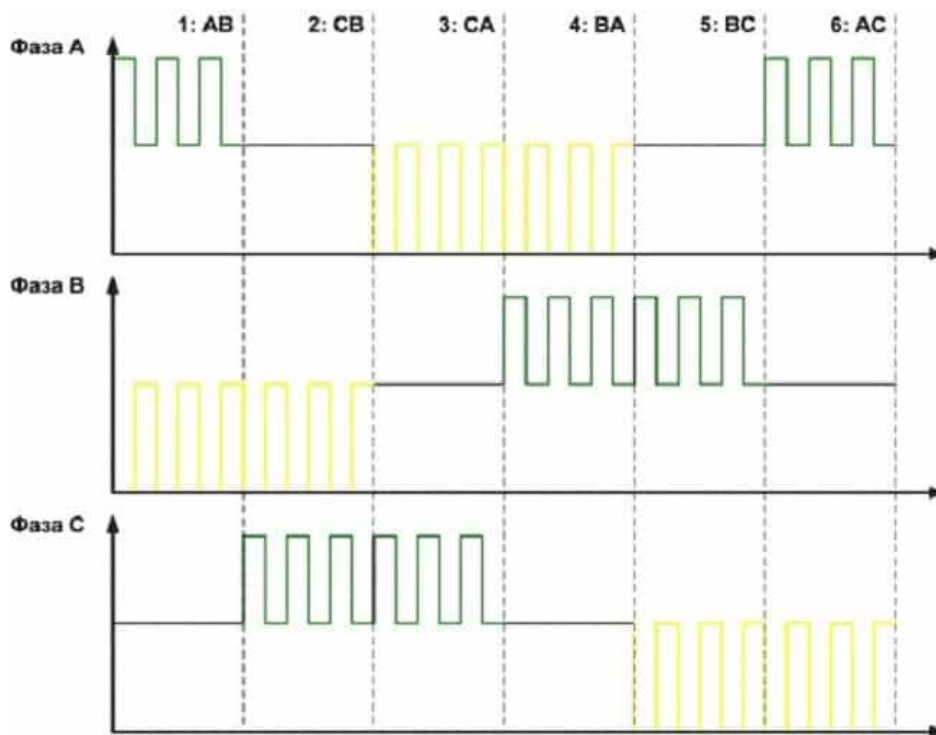


Рис. 3.4 Діаграма напруг БД

Щоб пояснити, як працює такий вентильний двигун, слід разом з рис. 3.4 розглядати рис. 3.2, де почерзі зображені всі етапи приводу. Розпишемо їх:

1. На котушки «А» подається 1 позитивний імпульс, в той час як на «В» - негативний, в результаті якір зрушиться. Датчиками зафіксується його рух і подається сигнал для наступної комутації.

2. Котушки «А» відключається, і позитивні імпульси йде на «С» («В» залишається без зміни), далі подається сигнал на наступний набір імпульсів.
3. На «С» - позитивний, «А» - 3 негативний.
4. Працює пара «В» і «А», на які надходять позитивний і негативний імпульси.
5. Позитивний імпульс повторно 5 подається на «В», і негативний на «С».
6. Включаються котушки «А» (подається +) і повторюється негативний імпульс на «С». Далі цикл повторюється.

Потрібно не тільки відстежувати стан якоря, щоб зробити наступну серію імпульсів, а й управляти частотою обертання, регулюючи струм у котушках. Крім цього слід вибрати найбільш оптимальні параметри для розгону і гальмування. Контролер повинен бути оснащений блоком, що дозволяє управляти роботою. Зовнішній вигляд такого пристрою зображений на рис. 3.5.

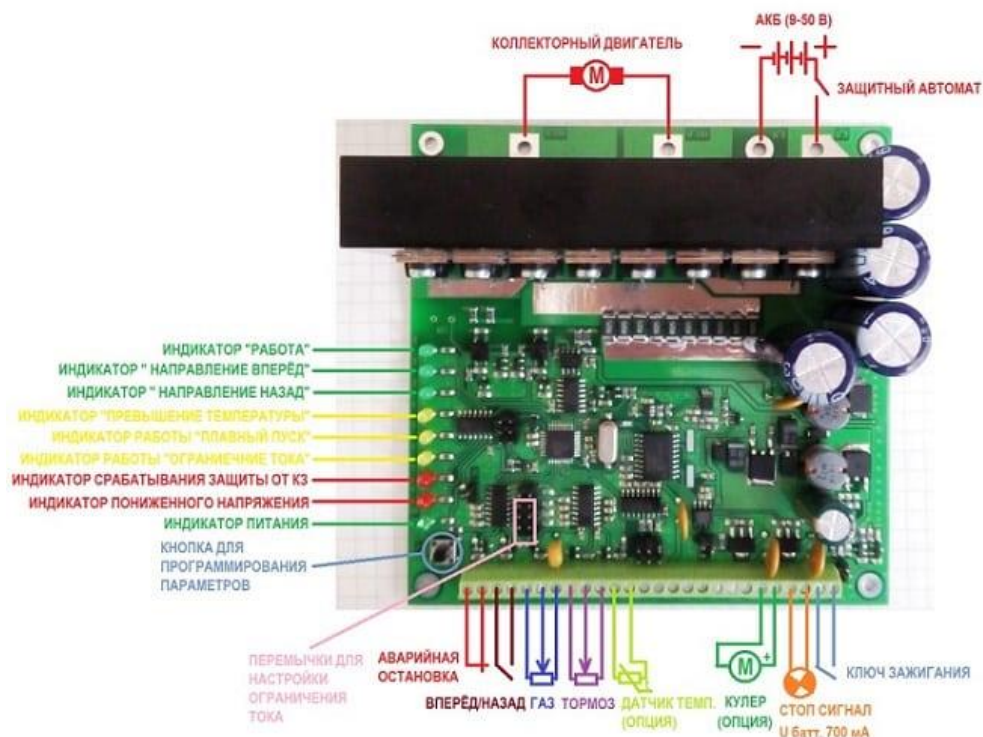


Рис. 3.5 Багатофункціональний пристрій для управління

3.3 Дослідження системи управління безколекторним двигуном

3.3.1 Управління безколекторним двигуном з датчиками Холла

Двигун має три виходи (три фази) на які нам доведеться подавати в різні моменти часу "+" або "-" живлення. Це реалізується за допомогою електронних ключів, включених по мостовій схемі.

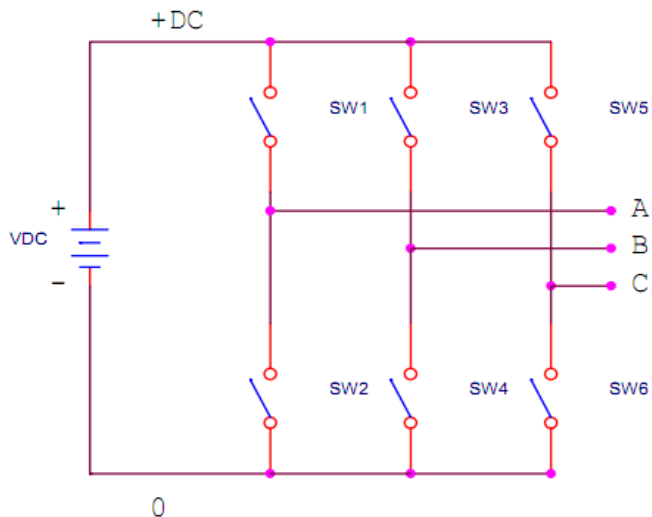


Рис. 3.6 Мостова схема

Замикаючи ключ SW1 подаємо "+" на фазу A, а замикаючи SW6 подаємо "-" на фазу C. Таким чином, струм потече від "+" батареї через фази A і C. Для забезпечення зворотного напрямку, відкриваємо SW5 і SW2. У цьому випадку струм потече від "+" батареї через фази C і A в зворотному напрямку. При роботі двигуна одночасно повинен бути відкритий тільки один верхній ключ і один нижній ключ. При зміні стану потрібно відразу вимкнути пару ключів, витримати час, необхідний для закриття ключів, і тільки після цього включити іншу пару ключів.

Напругу на обмотки потрібно подавати в залежності від положення двигуна. Розглянемо управління двигуном, де в якості датчиків положення використовуються датчики Холла. Всього використовують 3 датчика з дискретними виходами. Нижче наведена схема, згідно з якою потрібно подавати напругу на обмотки в залежності від сигналів з датчиків.

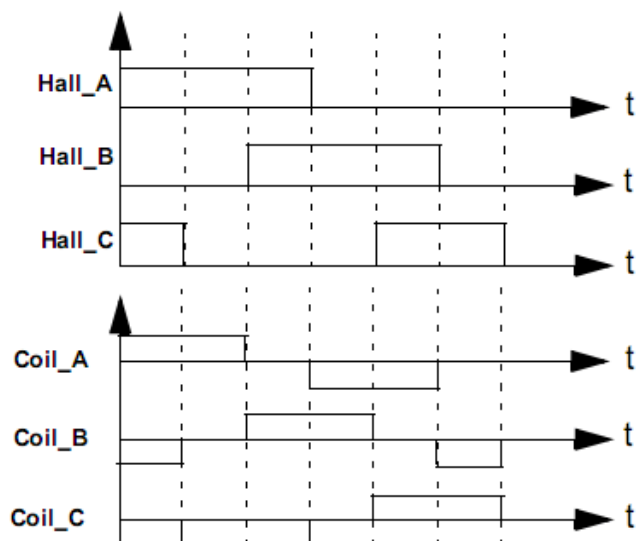


Рис. 3.7 Часова діаграма

Таблиця 3.1

Включення ключів в залежності від сигналів датчиків Холла

Hall Sensors Value (Hall_CBA)	Phase	Switches
101	A-B	SW1 ; SW4
001	A-C	SW1 ; SW6
011	B-C	SW3 ; SW6
010	B-A	SW3 ; SW2
110	C-A	SW5 ; SW2
100	C-B	SW5 ; SW4

При включенні ключів, як показано вище, на двигун подається повна напруга живлення. При цьому двигун розвиває максимальні оберти. Щоб забезпечити управління двигуном потрібно регулювати напругу живлення двигуна. Зміна поточного значення напруги здійснюється за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Тобто ключі відкриті не весь час, а відкриваються, і закриваються з фіксованою частотою, але змінною скважністю. Таким чином, змінюється поточна напруга від нульової до напруги живлення. Щоб домогтися управління оборотами двигуна потрібно накласти сигнал ШІМ на сигнали, що подаються на ключі. Це можна реалізувати, наприклад, такою схемою.

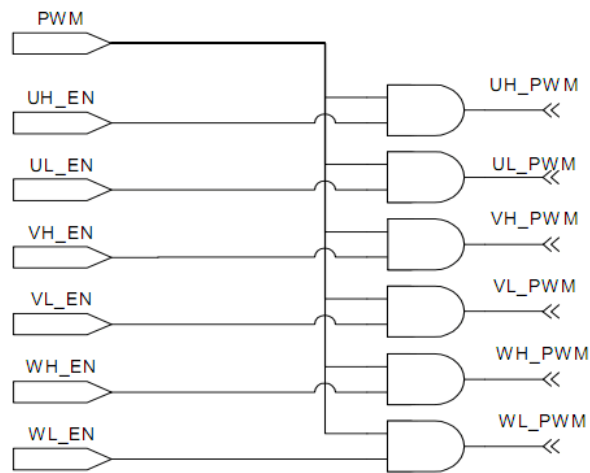


Рис. 3.8 Схема управління оборотами двигуна

Деякі мікроконтролери можуть апаратно формувати ШІМ сигнал на кількох своїх висновках. Можна формувати ШІМ для кожного з ключів програмно. В цьому випадку схему можна спростити, і не використовувати логічних елементів. Частота ШІМ сигналу зазвичай буває від 4 до 80 кілогерц.

Під час включення і виключення ключів відбуваються перехідні процеси, внаслідок чого на ключах виділяється додаткове тепло. Чим вище частота ШІМ сигналу, тим більше кількість перехідних процесів за одиницю часу, і тим вище втрати на ключах. Занадто мала частота може бути не ефективною або не спроможна необхідної плавності регулювання.

Для зменшення втрат внаслідок перехідних процесів на ключах ШІМ сигнал можна подавати тільки на нижні або тільки на верхні ключі. Прямі втрати на ключах (без урахування перехідних процесів) можна розрахувати за формулою:

$$P = R \cdot I^2$$

де, P - втрачається потужність, яка виділяється у вигляді тепла

R - пряме опір відкритого ключа

I - струм, протікає через ключ.

Очевидно, що чим менше опір ключів, тим менше втрати на ключах. Зменшення опору ключів веде до підвищення загального ККД і зменшення тепловиділення на ключах. Рівень втрат на ключах має квадратичну залежність від

струму. Зменшити струм, зберігши при цьому загальну потужність, можна підвищивши напруга живлення двигуна. Як приклад розглянемо два варіанти:

1. Живлення: 50В, струм: 100А, опір ключів: 0,001 Ом. Втрати на ключах = $0,001 * 100^2 = 10$ Вт;
2. Живлення: 100В, струм: 50А, опір ключів: 0,001 Ом. Втрати на ключах = $0,001 * 50^2 = 2,5$ Вт

Тобто низивши струм вдвічі втрати на ключах падають в 4 рази.

Прикладаючи напруги до обмотки двигуна, струм в обмотці не може вирости миттєво, оскільки обмотка двигуна являє собою індуктивність. Від моменту подачі напруги до досягнення струму максимального значення пройде деякий час. Аналогічно при знятті напруги знадобиться деякий час поки струм буде зменшуватися до нуля. Цей час залежить від індуктивності обмотки двигуна і інших конструктивних особливостей двигуна. Таким чином, дія обмотки двигуна дещо запізнюється за керуючим сигналом. Щоб компенсувати цю затримку керуючий сигнал на ключі подають з випередженням. Випередження керуючого сигналу висловлюють у куті випередження. Кут випередження може бути від 0 до 30 градусів. Кут випередження може відрізнятися для кожної моделі двигуна. Точність установки кута випередження сильно впливає на роботу високо-швидкісних двигунів. На малих швидкостях точність установки кута випередження не настільки критична.

3.3.2 Управління бездатчиковим безколекторним двигуном

У безколекторних двигунах без будь-яких датчиків положення або енкoderів визначення положення ротора виконується шляхом вимірювання ЕРС на вільній фазі. Ми пам'ятаємо, що в кожен момент часу до однієї з фаз підключений "+" до іншої "-" живлення, одна з фаз залишається вільною. Обертаючись, двигун наводить ЕРС у вільній обмотці. У міру обертання напруга на вільній фазі змінюється.

Вимірюючи напруга на вільній фазі, можна визначити момент перемикання до наступного положенню ротора. Зазвичай визначають момент переходу напруги на вільній фазі через нульову точку (половину напруги живлення). Тобто потрібно відстежити момент, коли напруга на вільній фазі зрівняється із середньою точкою. Для роботи цього методу двигун повинен обертатися. Цей метод добре працює при порівняно високих оборотах двигуна. При низьких оборотах ЕРС може виявитися недостатньою для чіткого визначення положення ротора.

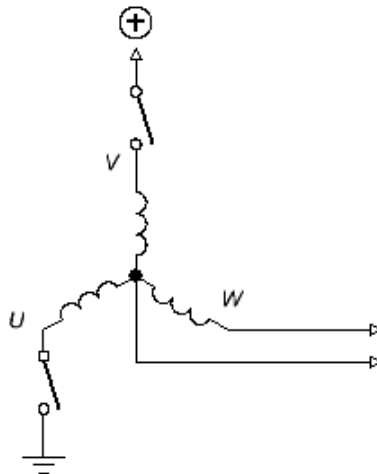


Рис. 3.9 Схема з середньою точкою

Коли ключі відкриті, через фази протікає струм і середня точка "прив'язана" до живлячої напруги. У цей момент на вільній фазі двигуна виконуються вимірювання. Очевидно, що при розімкнутих ключах, вимір напруги на вільній фазі не дасть результату, оскільки нульова точка як би висить в повітрі. У більшості випадків середня точка недоступна. Тобто немає можливості фізично підключитися до неї без розбирання двигуна. Обійти цю ситуацію допоможе створення віртуальної середньої точки.

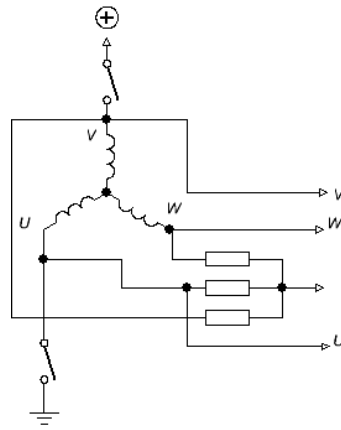


Рис. 3.10 Віртуальна середня точка

Ця схема дуже проста і застосовується дуже часто, але вона має свої недоліки. Через ШІМ напруга середньої точки не постійна. Вона коливається в широкому діапазоні напруг. Для того щоб мікроконтролер зміг виміряти напругу, застосовуються ланцюги узгодження сигналів - дільники напруги і RC-фільтри для згладжування коливань.

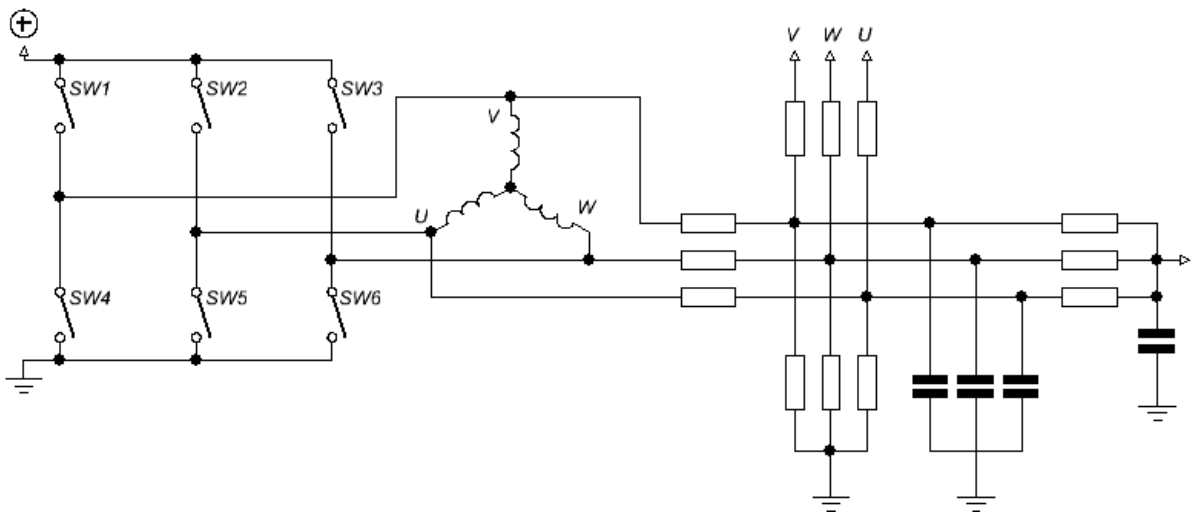


Рис. 3.11 Схема з використанням ланцюгів узгодження сигналів - дільники напруги і RC-фільтри

Якщо двигун живиться напругою 24 Вольт, то в середній точці напруга може знаходитися в межах від 0 до 24 Вольт. Мікроконтролери зазвичай мають межу вимірювання 5 В. Без схем узгодження рівнів сигналів не обійтися. Підвищивши напруга живлення двигуна, слід змінити і дільники напруги в ланцюгах узгодження. В іншому випадку напруга може перевищити допустиме значення і вивести зі

строю мікроконтролер. Для запобігання таких ситуацій додатково застосовують схеми захисту.

Присутність дільника напруги веде до зниження чутливості на малих обертах двигуна, а наявність фільтрів вносить затримку. Затримка є причиною похибок у визначенні положення ротора і може стати критичною для управління двигунами на високих швидкостях. Оскільки схема з віртуальною середньою точкою досить не стабільна, можна вдаватися до іншої схеми, де стабільна напруга середньої точки встановлюється окремо і залежить від напруги живлення.

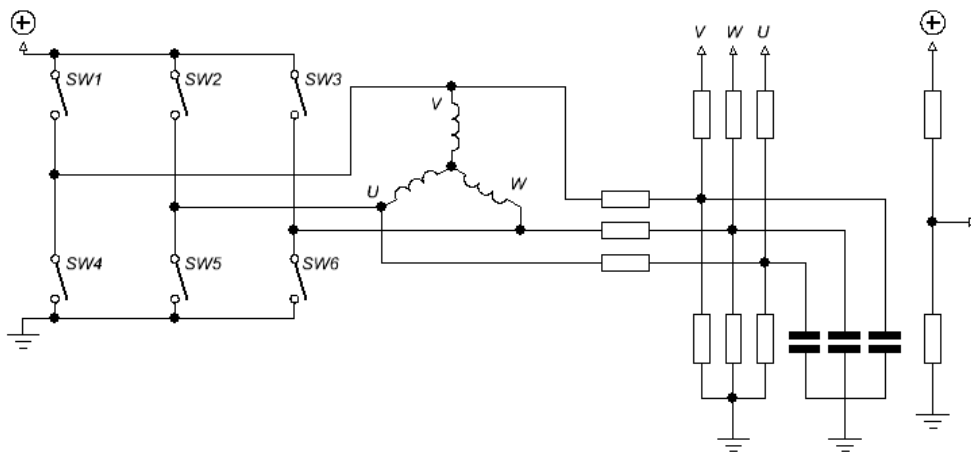


Рис. 3.12 Схема, де стабільна напруга середньої точки встановлюється окремо і залежить від напруги живлення

На вільній фазі нам потрібно буде вимірювати напругу. Напругу можна вимірювати за допомогою АЦП і порівнювати із середньою точкою. АЦП мають час перетворення, що вносить похибка в обчислення. Логічніше використовувати компаратори. Адже не обов'язково знати значення напруги. Важливо визначити сам момент переходу через середню точку. Компаратор спрацьовує саме в момент переходу напруги через середню точку і може генерувати переривання для мікроконтролера.

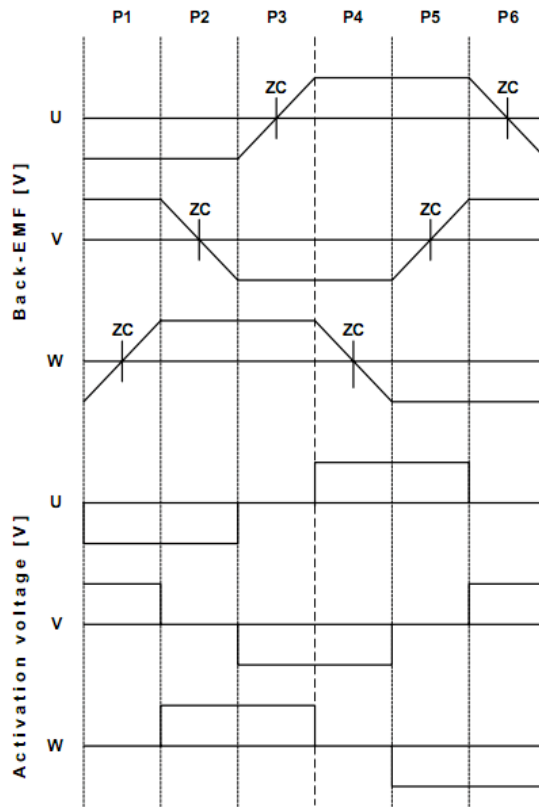


Рис. 3.13 Часова діаграма комутації

На першому етапі P1 на фазу V подається "+", мінус - на фазу U. При цьому напруга на фазі W починає рости і в середині періоду P1 перетинає нульову точку - половину напруги між фазами V і U, тобто половину напруги живлення. Як видно з діаграми, зміна стану ключів потрібно виконати на половині періоду між подією перетину нульової точки (ZC). Після перемикання стану ключів (етап P2) вимірювання виконуємо на вільній фазі V. Зверніть увагу на те, що напруга на вільній фазі може рости або падати. Це доведеться враховувати при роботі компараторів. Таким чином, наш регулятор повинен пам'ятати на якому етапі від P1 до P6 знаходиться, і переходити до наступного стану, виходячи з розрахунків часу, обчислених між подіями ZC. Нижче наведена таблиця відповідності стану ключів і вільних фаз для кожного з 6 положень ротора:

Відповідності стану ключів і вільних фаз для кожного з 6 положень ротора

Етап	Живлення +	Живлення -	Відкриті ключі	Вимірювання на фазі
P1	V	U	SW1, SW5	W↑
P2	W	U	SW3, SW5	V↓
P3	W	V	SW3, SW4	U↑
P4	U	V	SW2, SW4	W↓
P5	U	W	SW2, SW6	V↑
P6	V	W	SW1, SW6	U↓

Отже знадобиться підраховувати час між ZC. І відміряти час від події ZC до перемикання ключів. Цей час має враховувати кут випередження фази.

В приводах визначення положення ротора, вимірювання струму, напруги і т.п. синхронізують з сигналом ШІМ. Тобто в певні моменти з періодичністю, яка залежить від частоти ШІМ сигналу. Припустимо ситуацію, коли, частота ШІМ 8 кГц, скважність 100% (повний газ), двигун обертається зі швидкістю, при якій частота комутацій теж дорівнює 8 кГц. Тобто від моменту перемикання ключів до наступного перемикання проходить рівно один період ШІМ сигналу. Якщо швидкість обертання зростає і частота комутацій перевищить частоту ШІМ, виникне ситуація, при якій ШІМ сигнал буде утримувати ключі відкритими довше необхідного і протидіяти обертанню двигуна. Крім того, вимірювання напруги на вільній фазі синхронізовані частотою ШІМ сигналу, тому немає технічної можливості обчислити швидкість комутації вище частоти ШІМ. Іншими словами контролер теоретично не зможе керувати двигуном, якщо той обертається зі швидкістю, при якій частота комутацій перевищує частоту ШІМ сигналу. Це тільки теоретичні розрахунки. На практиці, бажано щоб частота ШІМ в кілька разів перевищувала частоту комутацій.

Наприклад, маємо регулятор з частотою ШІМ 8 кГц, і двигун з 14 магнітами.

Максимальна теоретично можлива частота обертання валу двигуна буде:

$$V = \frac{Q}{6} \cdot \frac{2}{N} \cdot 60$$

Q - частота ШІМ в герцах

6 - кількість комутацій за один електричний оборот

N - кількість магнітів

60 - кількість секунд в хвилині

$$V = ((8000/6 / (14/2)) * 60) = 11428 \text{ об / хв.}$$

Двигун з 28 магнітами:

$$V = ((8000/6 / (28/2)) * 60) = 5714 \text{ об / хв.}$$

Тобто якщо потрібно управляти багатополюсним двигуном на високих оборотах, доведеться використовувати регулятор з більш високою частотою ШІМ.

Наприклад, щоб розкрутити двигун з 24 магнітами до 10000 об / хв знадобиться регулятор з частотою ШІМ не нижче 24кГц. Потрібно також пам'ятати, що чим вище частота ШІМ, тим більше перехідних процесів відбувається на ключах за одиницю часу. Це може привести до збільшення втрат і до збільшення тепловиділення на ключах.

3.4 Особливості запуску бездатчикового безколекторного електродвигуна

Коли ротор не обертається, ми не можемо визначити його положення. Пам'ятаючи, що в бездатчикового двигуні положення ротора визначається виходячи з ЕРС, що наводиться у вільній обмотці під час обертання двигуна. Ця ЕРС виникає при переміщенні магнітів ротора щодо обмоток статора. Оскільки обертання немає, немає наводимої ЕРС, дізнатися положення ротора цим методом не представляється можливим.

Найпростіший спосіб - це встановити ротор в свідомо відоме положення, подавши напругу на дві з обмоток двигуна. Почекати паузу, поки ротор займе положення, після чого почати комутувати. Цей метод застосовується на більшості мало інерційних, слабкострумових двигунах. Розглянемо його докладніше.

Перший етап - це установка ротора в початкове положення. Встановимо ротор в положення P1. Згідно таблиці відкриваємо ключі SW1, SW5. Однак, якщо просто відкрити ключі, струм буде швидко рости і досягне струму короткого замикання до моменту коли ротор займе своє становище. Такий скачок напруги може вивести з ладу обмотку двигуна або ключі регулятора, але швидше за все, спрацює захист по струму. Для того, щоб цього не сталося, на SW1, SW5 слід подавати ШІМ сигнал. Скважністю ШІМ сигналу встановлюють рівень безпечної напруги. Чим менше напруга, тим м'якше і повільніше відбувається позиціонування ротора. Чим вище напруга, тим швидше і з великими вібраціями відбувається позиціонування. Занадто мала напруга же може зовсім не повернути ротор. А надто велике - викликати небажані коливання ротора і збільшити час позиціонування.

Час установки ротора в початкове положення залежить не тільки від напруги, прикладеного до обмоток статора, а й від інертності двигуна і навантаження на валу. Чим більша маса ротора, тим повільніше він буде встановлюватися в початкове положення. Важливо правильно визначити час, який потрібно почекати між подачею напруги на обмотки і закінченням позиціонування ротора. Якщо ви продовжите запуск двигуна до того, як ротор встановився в початкове положення, старт може виявитися невдалим. Якщо пізніше - обмотки будуть грітися під впливом струму. У більшості випадків шпаруватість ШІМ і час установки ротора в початкове положення визначають експериментально. В особливо відповідальних випадках для цього використовують спеціальні прилади, які допомагають аналізувати коливальні обертання ротора при установці його в початкове положення і подальшому старті.

Якщо зобразити тимчасову діаграму установки ротора в початкове положення, вона буде мати форму згасаючих коливань. Важливо розуміти, що ротор може

перебувати в одному з 6 положень і для того щоб зайняти вихідне положення йому доведеться повернутися на різний кут, відповідно це може зайняти різний час.

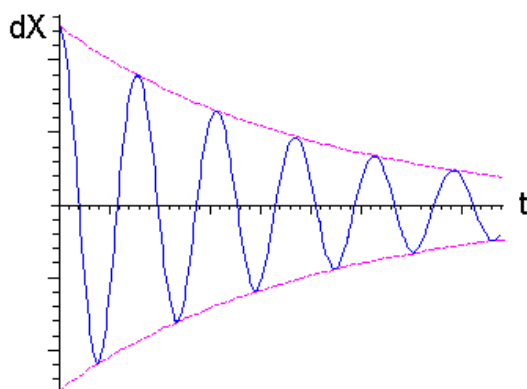


Рис. 3.14 Діаграма установки ротора в початкове положення

Другий етап. Тепер, коли становище ротора відомо, ми можемо переключити ключі в стан P2, ротор почне обертатися до наступного положення. Швидкість обертання ротора ще занадто мала щоб по наведеній в статорі ЕРС можна було визначити положення ротора. Тому, перші кілька перемикаць виконують асинхронно. Тобто не визначаючи положення ротора. Кількість асинхронних перемикаць залежить від інертності двигуна. Чим потужніший, а значить: інертний ротор, - тим довший розгін і необхідно буде виконати більшу кількість асинхронних перемикаць. При цьому період між перемиканнями з кожним разом скорочують. Таким чином, розганяючи ротор двигуна. Зрозуміло, що розгін двигуна залежить від того, наскільки чітко Ви вгадаєте момент наступного перемикання. Адже якщо перемикання відбудеться набагато раніше або набагато пізніше, ротор буде гальмуватися.

Третій етап. У момент останнього асинхронного перемикання переходимо в режим управління двигуном, вважаючи, що він обертається, а положення ротора відповідає поточному стану ключів. Тобто намагаємося визначити його положення, використовуючи метод, описаний в попередній статті. Однак, не завжди виходить запустити двигун з першого разу. В алгоритмі управління слід передбачити контроль обертання ротора двигуна. Якщо старт не вдався, слід вчасно відключити

живлення. В іншому випадку при зупиненому двигуні і відкритих ключах можуть вийти зі строю, як двигун, так і регулятор. Один із способів контролю обертання ротора - вимірювання часу пройшов від моменту попереднього перемикання ключів. Якщо пройшло занадто багато часу, а положення ротора не змінилося, значить, двигун заклинило.

3.5 Структура регулятора швидкості безколекторного двигуна

Перед тим, як приступити безпосередньо до розробки схеми регулятора, складемо його блок-схему. Це спростить подальший вибір елементної бази. Регулятор швидкості бесколекторного двигуна (ESC - Electronic Speed Controller) іноді називають контролер бесколекторного двигуна або привід бесколекторного двигуна.

Умовно розділимо регулятор на наступні модулі:

- Модуль контролера - приймає задані сигнали, сигнали датчиків, видає сигнали на ключі;
- Модуль силових ключів - управляє силовими ключами;
- Модуль датчиків - сукупність різних датчиків і схем узгодження.

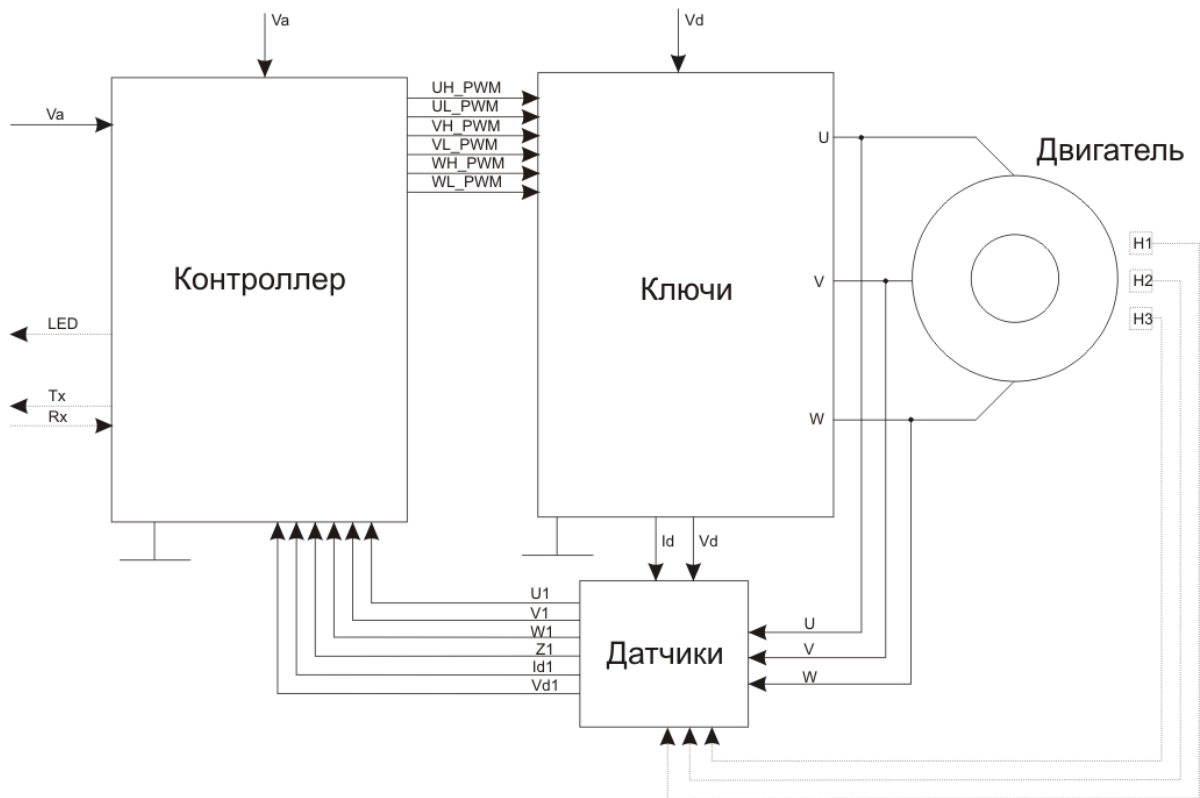


Рис. 3.15 Блок схема регулятора швидкості безколекторного двигуна

Регулятор повинен гарантувати основні вихідні сигнали:

- ШІМ сигнал на 6 ключів (UH_PWM, UL_PWM, VH_PWM, VL_PWM, WH_PWM, WL_PWM).

Приймати сигнали:

- напруга від трьох фаз U1, V1, W1 (для регулятора, що працює з двигуном з датчиками положення - сигнали від датчиків положення Н1, Н2, Н3);
- напруга середньої точки або половинного напруги харчування Z1 (для регулятора працює з двигуном з датчиками положення не потрібно);
- сигнал датчика струму двигуна (Id1);
- напруга живлення двигуна (Vd1);
- керуючий сигнал, що задає обертів двигуна (Va).

Додаткові сигнали:

- сигнали для управління, контролю індикації. Наприклад, світлодіодний індикатор (LED), сигнали для настройки регулятора з використанням терміналу (Tx, Rx).

Зрозуміло, можуть бути і інші корисні сигнали, наприклад, сигнали від датчиків температури ключів і двигуна, перемикач напрямку обертання (реверс) і т.п. Так само можуть бути зовсім специфічні датчики, необхідні для вирішення конкретного завдання.

Технічна реалізація

ШІМ сигнал на 6 ключів. Оскільки наш регулятор двигуна буде будуватися на мікроконтролері, він повинен гарантувати ШІМ сигнал на 6 ключів (для трифазного бесколлекторного двигуна). Існує два способи:

- генерувати на виходах мікроконтролера 6 ШІМ сигналів: окремо на кожен ключ;
- генерувати один ШІМ сигнал і розводити на ключі додатковими логічними елементами "І".

Перший спосіб реалізуємо, якщо мікроконтролер має 6 ШІМ виходів. Як правило, це спеціалізовані ШІМ мікроконтролери, наприклад AT90PWM3B.

Другий спосіб легко реалізується за допомогою будь-якого мікроконтролера хоча б з одним PWM виходом + 6 дискретних виходів для кожного з ключів. У цьому випадку додатково будуть потрібні мікросхеми логіки.

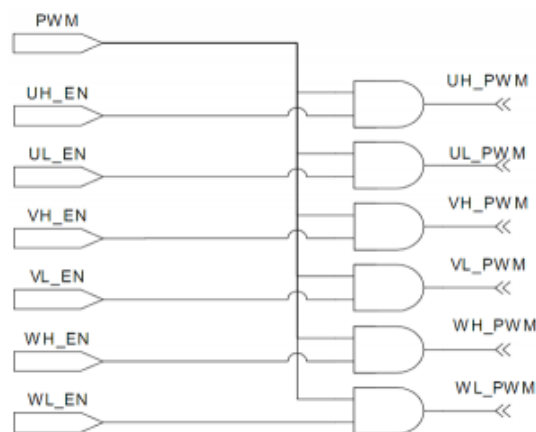


Рис. 3.16 Схема управління оборотами двигуна

Якщо потрібно вибрати спосіб подачі ШІМ на ключі (тільки верхні / тільки нижні / верхні і нижні) в першому випадку доведеться передбачити програмні установки. У другому можна обійтися двома перемичками на платі.

Напругу від трьох фаз двигуна потрібно привести до рівня, прийнятного для входів компараторів. Це робиться за допомогою простого дільника напруги.

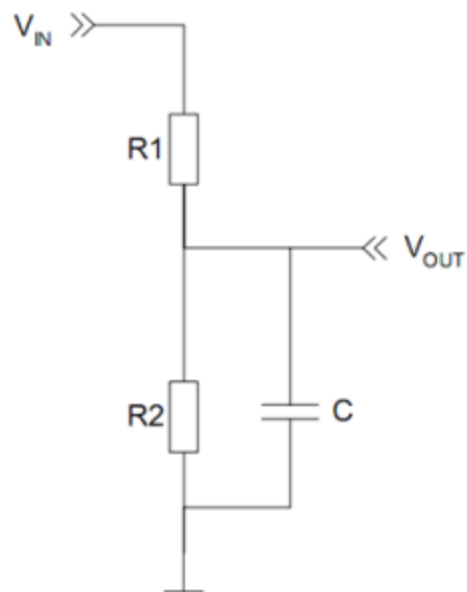


Рис. 3.17 Схема дільника напруги

Така ж схема - для напруги середньої точки. Після дільника ці сигнали надходять на вхід компаратора. Можна використовувати окремі схеми компараторів. Після компараторів дискретні сигнали надходять на входи мікроконтролера. Багато мікроконтролери мають вбудовані компаратори, які можна використовувати. Сигнали після дільника будуть подаватися безпосередньо на входи мікроконтролера. За великим рахунком, в кожен момент часу нас цікавить напруга тільки на одній, вимірюваної фазі. Тому можна побудувати схему з одним компаратором і аналоговим мультиплексором. Власне, всередині мікроконтролера приблизно так і відбувається.

Датчик струму і контроль напруги живлення двигуна зажадають 2 АЦП входу. Передбачається, що датчик струму видає сигнал в діапазоні живлення

мікроконтролера (0..5В). Ми будемо використовувати датчик струму на основі датчика Холла з серії ACS758.

Можна використовувати класичний шунт, з операційним підсилювачем. Датчик струму на основі датчика Холла обраний, оскільки планується управляти двигунами з великими струмами, де застосування шунта призведе до значного тепловиділення. Контроль напруги живлення потрібен для користування послугою батарей. Він дозволить уникнути глибокого розряду батарей.

Способів вказати регулятору, з якою швидкістю повинен обертатися двигун безліч. Це може бути як аналоговий, так і цифровий сигнал. Будемо застосовувати простий аналоговий сигнал, що формується потенціометром.

Хотілося б зробити більш-менш універсальний регулятор, який можна налаштувати для управління широким розмаїттям безколекторних двигунів. Тому, потрібно інтерфейс для налаштування регулятора. Я зупинився на найпростішому варіанті - підключити до Tx, Rx виходів мікроконтролера FT232 перетворювач і підключити його до комп'ютера. Це універсальний спосіб, оскільки дозволяє передавати інформацію в обидва боки. До Tx, Rx виходів можна підключити спеціально розроблений дисплей або через Bluetooth модуль до смартфона або іншого пристрою має Bluetooth інтерфейс.

Оскільки Tx, Rx виходи передбачається використовувати тільки для настройки регулятора, нам буде потрібно ще індикатор стану. Найбільш простий - звичайний світлодіод.

Модуль силових ключів

Для керування трифазним безколекторним двигуном необхідно 6 ключів, включених по мостовій схемі. Параметри силових ключів вибираються в залежності від характеристик керованого двигуна. Основні характеристики силових ключів - напруга і комутований струм. Модуль ключів складається з самих транзисторних ключів і драйверів ключів. Завдання драйвера ключів перетворити логічні рівні мікроконтролера в сигнали, що управляють силовими транзисторами. Для потужних польових транзисторів потрібні досить потужні сигнали. В іншому випадку час

відкриття ключа може збільшитися, що викличе збільшення теплових втрат на транзисторах. Схеми драйверів можуть будуватися на транзисторах або із застосуванням спеціалізованих мікросхем.

Драйвери ключів слід проектувати так, щоб ті не допускали можливості одночасного відкриття ключів верхнього і нижнього плеча. Крім того, повинні реалізовувати тимчасову затримку між закриттям одного ключа і відкриттям іншого. Ця затримка може бути реалізована драйвером, якщо у використовуваного драйвера є така функція, або - мікроконтролером. При виході зі строю ключів, драйвери ключів повинні перешкоджати проходженню напруги, що живить двигун, в ланцюг мікроконтролера. Саме тому я вважаю за краще використовувати спеціальні мікросхеми драйвера MOSFET ключів.

Для систем з великими струмами не завжди вдається підібрати відповідний транзистор для ключа. Паралельне включення транзисторів може вирішити цю задачу. Якщо включити два однакових польових транзистора паралельно, можна отримати збірку, пропускає в 2 рази більший струм. Рекомендується включати затвори транзисторів через резистори номіналом 2-100 Ом, як показано на схемі. Номінали резисторів вибираються з урахуванням ємності затвора транзистора, максимального струму, який може забезпечити драйвер ключа і необхідного часу відкриття ключа.

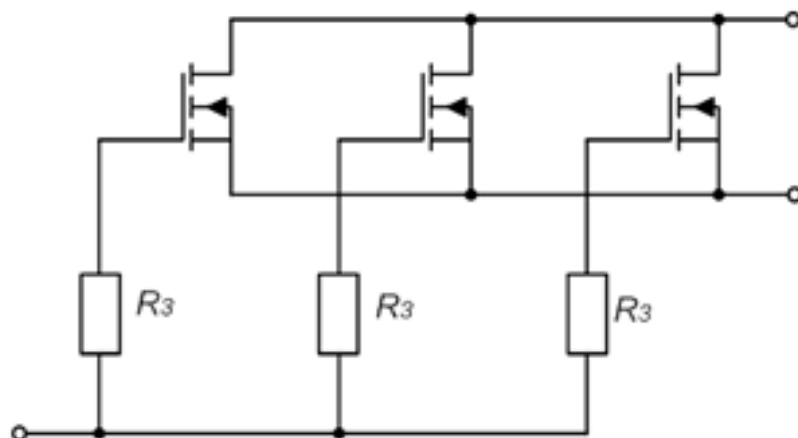


Рис. 3.18 Схеми включення затворів транзисторів через резистори для систем з великими струмами

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори, здатні погіршити здоров'я працюючого населення, вивчені і включені в єдиний список. Перелік виробничих факторів, визнаних небезпечними і шкідливими, міститься в додатку 1 до наказу Міністерства охорони здоров'я України від 12.04.2011 № 302Н. Шкідливі виробничі фактори, як і небезпечні виробничі фактори, об'єднані в 4 основні групи:

- хімічні;
- біологічні;
- фізичні;
- фактори трудового процесу.

Аналогічно класифікуються небезпечні і шкідливі виробничі фактори згідно ГОСТ 12.0.003-74 на:

- фізичні;
- хімічні;
- біологічні;
- психофізіологічні.

4.1.1 Хімічні чинники

Група хімічних небезпечних і шкідливих виробничих факторів найбільш велика з розглянутих 4 груп. Вона включає як загальне структурування речовини, так і складні з'єднання і композиції. За характером впливу на організм працівника хімічні речовини поділяються:

- на токсичні;

- дратівливі;
- сенсибілізуючі;
- канцерогенні;
- мутагенні;
- які впливають на репродуктивну функцію.

Хімічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори розрізняють ще по тому, яким чином вони проникають в організм працюючої людини (через органи дихання, шлунково-кишковий тракт, шкірні покриви або слизові оболонки).

ГОСТ 12.1.007 поділяє хімічні шкідливі речовини на 4 класи:

- надзвичайно небезпечні;
- високонебезпечні;
- помірно небезпечні;
- малонебезпечні.

До того або іншого класу небезпеки фактори відносять в залежності від таких показників, як:

- ГДК (гранично допустима концентрація шкідливої речовини);
- ССД (середня смертельна доза при введенні в шлунок);
- ССК (середня смертельна концентрація);
- КВІО (коефіцієнт можливого інгаляційного отруєння);
- ЗОД і ЗХД (зона гострого і зона хронічної дії).

В особливу підгрупу слід виділити хімічні речовини, що володіють вираженими особливостями дії на організм. До них відносяться алергени, канцерогени, речовини, що шкідливо впливають на репродуктивну функцію, аерозолі та ін. Вони здатні приводити до широкого спектру наслідків для здоров'я працівників - від алергічних реакцій до новоутворень, здатних перероджуватися. Звичні в повсякденному житті матеріали, такі як цемент і азбест, а також природні

алмази, здатні згубно впливати на здоров'я регулярно контактують з ними людей, приводячи до дистрофічних захворювань верхніх дихальних шляхів. А постійний контакт в процесі роботи з такими металами, як золото, мідь, срібло, і їх сполуками можуть спричинити неприємні наслідки у вигляді викривлення носової перегородки, що перешкоджає диханню, або алергічних захворювань шкіри, очей і дихальних шляхів. При цьому можуть порушитися і обмінні процеси в організмі. Найбільш схильні до дії цих факторів члени трудових колективів підприємств хімічної промисловості, будівельники, зварювальники та ін.

4.1.2 Біологічні чинники

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори біологічного походження менш різноманітні, ніж хімічні. До їх складу входять комбікорми, біостимулятори, ферментні препарати, отрути тварин і рослин та ін. Однак спектр їх впливу на здоров'я працюючого населення не менш широкий - від алергії до виражених розладів центральної нервової системи. З зазначеною групою небезпечних і шкідливих виробничих факторів стикаються співробітники агропромислових підприємств, медпрацівники і ряд трудящих, чия діяльність пов'язана з біологічними об'єктами. Небезпека впливу біологічних факторів на здоров'я в процесі трудової діяльності зростає при безпосередньому контакті працівників з водою і ґрунтом, а також місцями можливого перебування шкідливих мікроорганізмів і вірусів. Щоб мінімізувати наслідки впливу зазначених чинників на здоров'я працівників, роботодавцю доведеться провести цілий комплекс заходів. Необхідно не тільки забезпечити виконання всіх вимог, що пред'являються до виробничих процесів і обладнання, а й забезпечити працівників засобами індивідуального захисту, а також не забувати про систему профілактичних заходів. В їх число входять:

- створення у працівників активного або пасивного імунітету;
- нормування тривалості виконання трудових функцій;
- забезпечення лікувально-профілактичним харчуванням та ін.

Предмети праці (обладнання, механізми, інструменти), територія і приміщення, а також засоби індивідуального захисту повинні піддаватися систематичному знезараженню. Важливий елемент в ланцюжку профілактичних заходів щодо мінімізації впливу несприятливих біологічних факторів - це контроль за умовами праці та дотриманням гігієнічних вимог.

4.2 Технічні та організаційні заходи щодо профілактики виробничого травматизму

Технічні заходи - технічні засоби, що забезпечують безпечні і нешкідливі умови праці, та пов'язані з впровадженням нового обладнання, пристроїв і приладів безпеки і безпечною експлуатацією засобів виробництва.

Нормативно-методичні заходи:

- розробка посібників і рекомендацій;
- розробка нормативно-правової бази з охорони праці на підприємстві;
- забезпечення необхідною нормативно-правовою документацією функціональних служб, окремих структурних підрозділів та робочих місць;
- забезпечення програм і розробка методик навчання з питань охорони праці;
- розробка розділів охорони праці в посадових інструкціях, інструкціях за професіями;
- перегляд НПАОП підприємства.

Організаційні заходи:

- контроль за технічним станом обладнання, інструментів, будівель і споруд;
- контроль за дотриманням вимог нормативних документів з охорони праці;
- нагляд за обладнанням підвищеної небезпеки;
- організація навчання, перевірка знань з питань охорони праці і інструктажів робітників підприємства;

- контроль за виконанням технологічного процесу відповідно до вимог охорони праці;
- організація належних умов до проїздів і проходів відповідно до вимог охорони праці;
- забезпечення працівників засобами індивідуального та колективного захисту;
- забезпечення відповідними знаками безпеки, плакатами.

Санітарно-гігієнічні заходи:

- контроль за впливом виробничих факторів на здоров'я працівників;
- забезпечення санітарно-побутових умов згідно з діючими нормами;
- атестація робочих місць відповідно до їх нормативним актам з охорони праці;
- планування заходів щодо поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці;
- паспортизація санітарно-технічного стану умов праці.

Соціально-економічні заходи:

- надання пільг і компенсацій працівникам, які працюють зі шкідливими і небезпечними умовами праці;
- створення умов для економічної зацікавленості роботодавця і працівника у поліпшенні умов і підвищенні безпеки праці;
- соціальне страхування працівників роботодавцем;
- фінансування заходів з охорони праці;
- відшкодування роботодавцем працівнику збитків у разі каліцтва.

Лікувально-профілактичні заходи:

- надання медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків на виробництві;
- контроль за здоров'ям працюючих протягом їхньої трудової діяльності;
- лікувально-профілактичне харчування працівників, які працюють на роботах зі шкідливими і небезпечними умовами праці;
- проведення медичних оглядів працівників (попередніх та періодичних);

- дотримання охорони праці жінок, неповнолітніх та інвалідів;
- відшкодування потерпілому працівнику витрат на лікування, протезування, придбання транспортних засобів та інші види медичної допомоги.

Наукові заходи:

- прогнозування соціально-економічних наслідків нещасних випадків і аварій; моделювання аварійних ситуацій і розробка заходів щодо їх відвернення;
- плани локалізації і ліквідації аварії;
- оцінка ефективності управління охороною праці;
- підготовка науково обгрунтованих технічних рішень, спрямованих на підвищення безпеки і поліпшення умов праці.

Інформаційне забезпечення - інформаційна підтримка при проведенні нормативно-методичних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, лікувально-профілактичних, соціально-економічних, наукових досліджень, спрямованих на збереження безпеки праці, здоров'я працюючих.

4.3 Пожежна безпека

Вибухи та їх наслідки – пожежі, виникають на об'єктах, які виробляють вибухонебезпечні та хімічні речовини. При горінні багатьох матеріалів утворюються високотоксичні речовини, від дії яких люди гинуть частіше, ніж від вогню. Раніше при пожежах виділявся переважно чадний газ. Але в останні десятиріччя горить багато речовин штучного походження: полістирол, поліуретан, вініл, нейлон, поролон. Це призводить до виділення в повітря синильної, соляної й мурашиної кислот, метанолу, формальдегіду та інших високотоксичних речовин. Найбільш вибухо- та пожежонебезпечні суміші з повітрям утворюються при витоку газоподібних та зріджених вуглеводних продуктів метану, пропану, бутану, етилену, пропилену тощо.

В останнє десятиріччя від третини до половини всіх аварій на V виробництві пов'язано з вибухами технологічних систем та обладнання: реактори, ємності, трубопроводи тощо. Пожежі на підприємствах можуть виникати також внаслідок ушкодження електропроводки та машин, які перебувають під напругою, опалювальних систем. Певний інтерес (щодо причин виникнення) можуть становити дані офіційної статистики, які базуються на проведених дослідженнях 25 тисяч пожеж та вибухів. Причини виникнення пожеж:

- несправність електрообладнання – 23%;
- куріння в неналежному місці – 18%;
- перегрів внаслідок тертя в несправних вузлах машин – 10%;
- перегрів паливних матеріалів – 8%;
- контакти з паливними поверхнями через несправність котлів, печей, димоходів – 7%;
- контакти з полум'ям, запалення від полум'я горілки – 7%;
- запалення від паливних часток (іскри) від установок та устаткування для спалювання – 5%;
- самозапалювання паливних матеріалів – 4%;
- запалювання матеріалів при різці та зварюванні металу – 4%.
- необережне поводження з вогнем (куріння у недозволених місцях, газом, бензином, несправність електрообладнання і т. д.);
- природні явища (удар блискавки, самозагоряння торфу і т.ін.).

Найчастіше пожежі з фатальними наслідками виникають при порушенні правил безпеки і від необережного поводження з вогні (несправність електрообладнання, необережність при курінні, перебування у нетверезому стані та ін.). Причиною пожеж може бути розряд блискавки. Блискавка – електричний розряд між статично зарядженою хмарою та землею. Сила струму блискавки досягає 200 кА, напруга 150 мВ. Час розряду блискавки – до 1 сек. а температура – 5000-10000°C. Особливо небезпечним є прямий удар блискавки, при якому можливе руйнування об'єкта. Крім прямого удару (первинний прояв блискавки), виникає

вторинний прояв (у вигляді електростатичної і магнітної індукції, а також занесення високих потенціалів у будинки. Для захисту від удару блискавки застосовують блискавковідводи.

Більше 63% пожеж у промисловості обумовлено помилками людей або їх некомпетентністю. Коли підприємство скорочує штати й бюджет аварійних служб, знижується ефективність їх функціонування, різко зростає ризик виникнення пожеж та вибухів, а також рівень людських та матеріальних втрат.

Пожежа – це стихійне розповсюдження вогню, який вийшов з-під контролю людей і призводить до матеріальної шкоди, а іноді й до загибелі людей. В Україні 1996 року 80 відсотків усіх пожеж стихає внаслідок необережного поводження з вогнем мешканців житлових будинків; з них 90 відсотків призвело до загибелі людей. Усього в країні внаслідок необережного поводження з вогнем затнуло 1800 чоловік, з них – 42 дитини. Щодня в Україні виникає до 120 пожеж, в яких гине в середньому до 7 чоловік. По Львівській області сталося 1035 пожеж, в тих загинуло 59 чоловік. За половину 1997 року трапилося 598 пожеж. Вогонь знищив 93 будівлі, 14 тонн технічних та зернових культур. Збитки становили 7 млн. грн. У вогні загинуло 50 осіб, з них двоє дітей, ще 37 травмовано.

Пожаро- і взривонебезпечні об'єкти (ПВНО) – підприємства, на яких робляться, зберігаються, транспортуються взривонебезпечні продукти або продукти, що набувають за певних умов спроможність до загоряння або вибуху.

До них насамперед відносяться виробництва, де використовуються вибухові і маючі високу ступінь займистості речовини, а також залізничний і трубопровідний транспорт, що несе основне навантаження при доставці рідких, газоподібних пожаро- і взривоопасних вантажів. По вибуховій, взриво-пожежній і пожежній небезпеці ПВНО підрозділяються на п'ять категорій: А, Б, В, Г, Д. Особливо небезпечні об'єкти, що відносяться до категорій А, Б, В:

- Категорія А - нафтопереробні заводи, хімічні підприємства, трубопроводи, склади нафтопродуктів;
- Категорія Б - цехи готування і транспортування вугільного пилу, деревної муки, цукрової пудри, вибойні і розмелені відділення млинів;

- Категорія В – деревообробні лісопильні, столярні, модельні, лісопильні виробництва;
- Категорія Г – склади і підприємства, зв'язані з переробкою і збереженням неспалених речовин у гарячому стані, а також із спаленням твердого, рідкого або газоподібного палива;
- Категорія Д – склади і підприємства по збереженню неспалених речовин і матеріалів у холодному стані, наприклад м'ясних, рибних і інших продуктів.

Ступінь вогнестійкості будинків і споруджень визначається мінімальними межами вогнестійкості будівельних конструкцій і займистістю матеріалів, із яких вони перебувають, і часом невогараємості.

Всі будівельні матеріали і конструкції з них діляться на три групи: незгораємі, труднозгораємі і згораємі.

Незгораємі – це матеріали, що під впливом вогню або високої температури не загораються, не жевріють і не обвуглюються.

Труднозгораємі – це матеріали, що під впливом вогню або високої температури з трудом загораються, жевріють або обвуглюються і продовжують горіти при наявності джерела вогню.

Згораємі – це матеріали, що під впливом вогню або високої температури загораються або жевріють і продовжують горіти і жевріти після видалення джерела вогню.

Пожежі на великих промислових підприємствах і в населених пунктах підрозділяються на локальні і масові. Локальні – пожежі в будинку або спорудженні. Масові – сукупність окремих пожеж, що охопили більш 25% будинків. Сильні пожежі за певних умов можуть перейти у вогневий шторм.

Характеристика аварій на пожежно- і взривонебезпечних об'єктів. До аварій на ПВНО відносяться:

- пожежі з наступним вибухом газоподібних (зріджених) вуглеводородних продуктів, паливно-повітряних сумішей і інших взривовоопасних речовин;

- вибухи частіше усього в результаті вільного витікання легкозаймистих взривонебезпечних рідин або газів, що приводять до виникнення численних вогнищ пожеж.

Особливим випадком вибуху є об'ємний вибух, коли підривається газоподібна або аерозольна суміш, що займає значний об'єм. Характерний приклад такого вибуху – вибух при витoku газу. При цьому взривонебезпечна хмара здатна проникати в закриті помешкання через вікна, люки і т.п. і вибух може уражати людей і заподіювати руйнації в місцях, захищених стінами. Надзвичайні ситуації, що створюються на ПВНО, часто ускладнюються тим, що багато взривонебезпечних речовин отруйні або утворюють при згоранні хімічно небезпечні речовини (ХНР). Вражаючі чинники, при аваріях на пожежонебезпечних об'єктах. До вражаючих чинників аварій на ПВНО відносяться: повітряна ударна хвиля з утворенням осколкових полів, теплове і світлове випромінювання і як наслідок – забруднення повітря у вогнищі поразки чадним газом і ХНР.

Вражаюча дія теплового випромінювання у вогнищі поразки визначається розміром теплового потоку – кількості теплової енергії, що проходить через визначену площу поверхні, розташованої перпендикулярно напрямку поширення теплової енергії. Одиниці теплового потоку: джоуль на квадратний метр (Дж/м²) – у системі СІ і калорія на квадратний сантиметр (кал/см²) – позасистемна. Характер впливу аварії на пожежо- і вибухонебезпечному об'єкті на населення і навколишнє середовище. При вибуху на ПВНО поразка людей і ушкодження різного ступеня можуть відбуватися як від прямого впливу ударної хвилі, так і побічно – від уламків, що летять, каменів, осколків скла і т.п. Характер і ступінь поразки людей залежать від ступеня їхньої захищеності. При надлишковому тиску травми і контузії людей можуть бути:

- важкими - при тиску 60-100 кПа;
- середніми - при тиску 40-60 кПа;
- легкими - при тиску 20-40 кПа.

Важкі травми, виражаються сильною контузією, утратою свідомості і численних складних переломів кісток; середні – вивихами кінцівок, контузією головного мозку, ушкодженням органів слуху; легкі – функціональними порушеннями, які проходять незабаром.

Надлишковий тиск, що не перевищує 10 кПа, вважається безпечним для розташованих на відкритій місцевості людей, однак непрямі ураження за рахунок каменів, що летять, і скла можуть спостерігатися навіть при надлишковому тиску 2 кПа.

Нерідко пожежі від загоряння пального при перевезеннях. Під час пожеж на залізничному транспорті, як правило, обриваються проводи, паралізуючи весь рух. При плануванні заходів щодо боротьби з аваріями треба враховувати, що вони проходять п'ять фаз:

- перша - накопичення відхилень від нормального процесу;
- друга – ініційовані аварії;
- третя - розвиток аварії, під час якої виявляється вплив на людей, природне середовище й об'єкти народного господарства;
- четверта - проведення рятувальних і інших невідкладних робіт, локалізація аварії;
- п'ята - відновлення життєдіяльності після ліквідації наслідків аварії.

Відносні показники кількості пожеж в Україні до числа населення в 3,5 рази перевищують аналогічні показники розвинутих країн, а показники загибелі людей у результаті пожеж – у 4-9 разів. Відповідно до правил на усіх великих підприємствах і оптових базах повинні створюватися спеціальні служби по протипожежному захисту.

Відповідно до Закону України «Про пожежну безпеку» забезпечення безпеки підприємств, установ покладено на керівників або уповноважених ними осіб. Обов'язки власників підприємств або уповноважених ними осіб, а також орендарів щодо забезпечення пожежної безпеки обумовлено статтею 5 Закону України «Про пожежну безпеку». Згідно з цим законом вони зобов'язані:

1. Розробляти комплекс заходів щодо забезпечення пожежної безпеки.
2. Відповідно до нормативних актів з пожежної безпеки розробляти і затверджувати положення, інструкції, інші нормативні акти, що діють в межах підприємства, здійснювати контроль за їх виконанням.
3. Організувати навчання працівників щодо пожежної безпеки.
4. Утримувати у справному стані засоби протипожежного захисту і зв'язку, пожежну техніку, обладнання та інвентар, не використовувати його не за призначенням.
5. Проводити службове розслідування випадків пожеж.

Пожежна безпека – стан об'єкта, при якому з регламентованою ймовірністю виключається можливість виникнення та розвиток пожежі і впливу на людей небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Загальні вимоги пожежної безпеки:

- Кожний працівник повинен знати місце розташування первинних засобів пожежогасіння і вміти ними користуватися, працівники повинні знати правила поведінки при пожежі, шляхи евакуації;
- Легкозаймісті та горючі рідини дозволяється зберігати у спеціально відведених місцях, у межах їх потреби відповідно до норм;
- Мастильні матеріали, легкозаймісті та горючі рідини повинні зберігатися окремо від інших матеріалів і речовин, у спеціальних ємкостях;
- Забороняється розкидати пожежонебезпечні матеріали. Після використання їх треба вивести з приміщення у спеціально відведене місце. Не захаращувати ними підвальні або горищні приміщення;
- У разі виникнення пожежі працівники повинні негайно повідомити про це пожежну охорону телефоном 01 та керівництву розпочати ліквідацію пожежі всіма наявними засобами.

Правила поведінки і заходи безпеки при виникненні пожеж є такими.

Головна небезпека, від якої гинуть люди на пожежі, – це дим і гаряче повітря, тому у задимленому приміщенні дихати треба тільки через мокру щільну тканину. У задимленому приміщенні слід пересуватися повзучи, тому що знизу менше диму. Виходячи з приміщення, де виникла пожежа, потрібно зачинити щільно двері, щоб полум'я залишити без кисню. Якщо дим у під'їзді (коридорі), треба передусім в'янути, що трапилось, а потім якнайшвидше залишити приміщення через основні та запасні виходи. З другого-третього поверхів можна спуститися на зв'язаних простирадлах або кабелях, якщо є небезпека для життя.

При виникненні пожежі вже на першій стадії виділяється теплота, токсичні продукти згорання, можливі обвалення конструкцій. Тому слід враховувати необхідність евакуації людей у визначені строки. Показником ефективності процесу евакуації є час, протягом якого люди можуть при необхідності залишити окремі приміщення і будинок загалом. Безпека евакуації досягається тоді, коли тривалість евакуації людей з окремих приміщень і будинку в цілому менша критичної тривалості пожежі, і становить небезпеку для людини.

Критичною тривалістю пожежі вважається час досягнення при пожежі небезпечних для людей температури і зменшення вмісту кисню у повітрі. Не вважаються евакуаційними виходи, що пов'язані з механічним приводом (ліфти, ескалатори), сходи, які не розташовані у сходових клітках. Евакуаційних виходів з приміщень кожного поверху має бути не менше двох. Мінімальна ширина шляхів евакуації – не менше 1 м, дверей – 0,8 м. Двері на шляхах евакуації мають відчинятися у напрямку виходу зі споруди. У кожному приміщенні (поверху) слід вивісити план евакуації людей матеріальних цінностей

Для гасіння пожеж застосовують також водяні розчини двовуглекислої і вуглекислої соди, повареної солі, глауберової солі, хлористого амонію, брометилу й ін. Водяні розчини солей мають вогнегасну дію: випадаючи з розчину, вони утворюють на поверхні речовини, що горить, ізолюючі плівки і при цьому виділяють інертні вогнегасні гази. Широке поширення для гасіння пожеж усіх видів нафтопродуктів і інших пальних речовин одержали вогнегасні речовини на основі галлоїдированих вуглеводнів (бромистого етилу, тетрафтордиброметана).

4.4 Інструкція з техніки безпеки

Перед тим як приступити до будь-якої роботи по обслуговуванню електроприводу, необхідно перевірити стан захисного заземлення при знятій напрузі. У відсутності напруги на електроприводі впевнюються за допомогою покажчика напруги, при наближенні якого до частини електроустановки, яка завідомо знаходиться під напругою, він повинен підтверджувати наявність напруги. При оглядах елементів працюючого електроприводу не слід наближатися до струмо - ведучих частин електроустановки, необхідно проявляти обережність при очищенні елементів електроприводу, тому що такі роботи, що виконуються без зняття напруги, створюють небезпеку для виконавця. Слід враховувати, що небезпека, яка викликається порушенням правил техніки безпеки, при обслуговуванні електроприводів збільшується в цехах, які відносяться до категорії приміщень з «підвищеною небезпекою» і «особливо небезпечних».

Без зняття напруги з електроустановки, але з дотриманням мір обережності можна при експлуатації виконувати такі роботи, як чистку та обтирку корпусів електрообладнання, доливку масла в підшипники електродвигунів, заміну запобіжників, шліфовку кілець і колекторів по спеціальним інструкціям. Якщо потребується виконати які-небудь ремонтні роботи в електродвигунах або апаратах управління, а також замінити плавкі вставки відкритого типу, то їх доручають одній особі після відключення електродвигуна або апарата від джерел живлення не менше ніж в двох місцях (наприклад, на щиті і безпосередньо на місці роботи) рубильником, зі зняттям запобіжників. На місці робіт, на рукоятках апаратів відключення, за допомогою яких може бути подана напруга, вивішують попереджувальні плакати «Не включають працюють люди». По закінченні робіт плакати знімають. Якщо указане відключення не може бути виконано, то ремонтні роботи виконуються двома особами.

Ручне керування пусковими пристроями, які мають відкриті струмоведучі частини, являється операцією, яки при не дотриманні правил техніки безпеки

представляють небезпеку для обслуговуючого персоналу, тому вказану операцію виконують в діелектричних рукавичках, а перед пусковими пристроями кладуть ізолюючі прокладки. В процесі експлуатації може виникнути необхідність в тому, щоб відкрити ящик пускового пристрою, який знаходиться під напругою. При напрузі електродвигуна і в установці його пускового пристрою вище 1000 В відкривати ящик дозволяється лише особі, яка має необхідну для таких робіт кваліфікацію. Якщо необхідно виконувати які-небудь роботи всередині ящика, попередньо з ділянки ремонту знімають напругу. При обертанні електродвигунів виконувати будь-які роботи в його колах небезпечно, але якщо це все ж необхідно, то треба підняти щітки або повністю вивести реостат і цю роботу виконують в діелектричних рукавичках або інструментом з ізольованими рукоятками, стоячі на гумовому килимці. Якщо електродвигун тривалий час працює з підвищеною вібрацією, що є шкідливим для здоров'я обслуговуючого персоналу, то її необхідно усунути в короткий термін.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Шкідливі викиди теплових двигунів

Для спалювання палива в теплових машинах витрачається велика кількість кисню. На згоряння різноманітного палива витрачається від 15% до 30% кисню, який виробляється зеленими рослинами. Теплові машини викидають в атмосферу

еквівалентні кількості оксиду карбону (CO₂). Згоряння палива в топках промислових підприємств і теплових електростанцій майже ніколи не буває повним, тому відбувається забруднення повітря золюю, пластівцями сажі. Енергетичні установки викидають в атмосферу щорічно 230-290 млн. м. куб. Золи і близько 60 млн. м. куб. оксиду сірки (SO₂).

Окрім того, при спалюванні нафти, вугілля, газу в повітря щорічно викидається: 400 млн. т оксиду вуглецю; 250 млн. т сполук хлору, фтору, найтоншого пилу, аерозолів; метали: свинець, ртуть, ванадій, нікель, радіоактивні елементи, 70 млн. т сполук свинцю.

Продукти неповного згоряння, що потрапили в атмосферу, вступають у хімічні реакції з водяними парами повітря і у вигляді мікроскопічних крапельок розчинів кислот переносяться на сотні і тисячі кілометрів. На поверхню Землі випадають так звані кислотні дощі. Вони негативно впливають на рослинний та тваринний світ, прискорюють корозію металів, руйнують будівлі з мармуру та вапняку, окислюють ґрунти та водойми

Речовини, які забруднюють атмосферу, особливо вуглекислий газ, накопичуються в атмосфері, значно збільшуючи тепло сонячного випромінювання. Таке протиприродне підвищення температури може призвести до серйозних кліматичних змін, таких як танення льодовиків, значне підвищення

рівня води у Світовому океані, підвищення його температури.

Рівень вуглекислого газу продовжує підвищуватись, а разом з цим підвищується і температура. Вчені прогнозують, що глобальне потепління підніме температуру в полярних регіонах значно вище, ніж деінде. З потеплінням полярного повітря крига тут тоншатиме, а оскільки полярна шапка матиме чи не вирішальний вплив на погоду в глобальному масштабі, наслідки її танення можуть бути згубними.

Глобальне потепління - це також стратегічна загроза. Концентрація вуглекислого газу та інших теплопоглинаючих молекул, що значною мірою потрапляють у оточуюче середовище через використання теплових двигунів, з часу

Другої світової війни зросла майже на 25% і створила всесвітню загрозу здатності Землі регулювати кількість сонячного тепла, що утримується в атмосфері. Таке збільшення тепла серйозно загрожує рівновазі глобального клімату, що визначає режим вітрів, кількість опадів, поверхневі температури, океанські течії та рівень моря. А це, у свою чергу, визначає розподіл рослинного та тваринного світів на землі та в морі та справляє суттєвий вплив на розміщення і структуру людських суспільств.

Вплив використання авто та авіатранспорту на навколишнє середовище:

- Транспортна система приносить суттєві збитки навколишньому середовищу, особливо - свинець.
- Середній вміст свинцю в бензині складає 0,4 г/л, при спалюванні ж його в двигунах 75% його кількості потрапляє у повітря. Підраховано, що навіть на території невеликої держави Австрія сумарні викиди свинцю від автомобільного транспорту та лакофарбної промисловості складає 20 тис. тон на рік.

Вплив забруднення довкілля на здоров'я людини
Забруднення природного середовища шкідливими речовинами в першу чергу впливає на здоров'я людини, сприяє збільшенню захворювань серцево-судинної системи, утворенню злоякісних пухлин, захворюванням крові. Жителі всіх великих міст задихаються від вихлопних газів автомобільних двигунів. Загалом негативний вплив на природу має три напрямки:

1. Хімічне забруднення повітря і води.
2. Теплове забруднення атмосфери і водоймищ.
3. Руїнування ґрунтів у зв'язку з добуванням палива і утилізацією шлаків.

Усі вищенаведені дані свідчать проте, що використання теплових двигунів, чинить вкрай негативний вплив на оточуюче середовище. Через наявність шкідливих речовин у повітрі, воді, ґрунті хворіють люди, потерпає прекрасний світ

рослин і тварин. Негативні зміни у навколишньому середовищі можуть привести людство до глобальної катастрофи, відгуки якої ми можемо відчувати вже зараз. Людина відповідає за цей світ, за збереження у ньому гармонії і краси, а тому необхідним, на нашу думку, є пошук шляхів покращення світової екології.

5.2 Шляхи покращення екологічної ситуації за рахунок використання електродвигунів

Негативні зміни в екології, пов'язані з використанням теплових двигунів уже давно привернули увагу учених всього світу. Роботи ведуться у чотирьох напрямках:

- Для більш повного згоряння палива в горючу суміш двигунів внутрішнього згоряння додають водень;
- Для кращого очищення вихлопних і паливних газів застосовують спеціальні фільтри, присадки до палива, а також спеціальну обробку газів перед їх викидом в атмосферу;
- Пошуки нового, більш чистого виду палива. Широко використовується в якості палива попередньо очищений природній газ, а також спирти;
- Ведуться великі дослідницькі роботи по створенню водневого та сонячного двигунів.

Один із засобів запобігти забрудненню атмосфери вихлопом бензинових двигунів - перехід на електричну тягу. До недавнього часу електромобілі були тихохідні, а заряду батарей їм вистачало лише на коротку відстань. Але нещодавно компанія "Дженерал Моторс" випустила електромобіль «Імпект». Це автомобіль обтічної форми з двома потужними електродвигунами, по одному на кожне переднє колесо. Він набирає швидкість з 0 до 100 км/год за 8 секунд, як спортивний автомобіль, і розвиває швидкість до 160 км/год. Його акумулятори заряджаються від електростанцій, що спалюють паливо. Виходить, що хоча сама машина і не викидає шкідливих газів, але це робить електростанція. Але електродвигуни можна заряджати вночі, використовуючи залишки електроенергії.

Виготовлення автомобілів потребує багато енергії та сировини. Для збереження природних ресурсів потрібно ширше використовувати вторинну сировину. До 2000 року в одній лише Німеччині на звалищах нагромадилося 2,8 млн. автомобілів. Зараз виробники автомобілів намагаються уникнути втрати такої величезної кількості цінної сировини.

В етилований бензин додають сполуки свинцю щоб двигун працював більш злагоджено. Але із двигуна свинець потрапляє у вихлоп і разом з ним викидається у повітря, яким ми дихаємо. Свинець отруйний, він може негативно впливати на мозок, тому це небезпечний забруднювач. Найбільше від нього страждають мешканці великих міст, особливо діти. В наші дні уряди багатьох країн світу закликають автомобілістів використовувати бензин без свинцевих добавок. В майбутньому, очевидно, додавати свинець у бензин взагалі перестануть. Це допоможе зменшити свинцеве забруднення. Пошук і використання джерел енергії, у яких не спалюють паливо. Це, наприклад, атомні електростанції, проєктовані термоядерні електростанції, використання енергії Сонця, вітру, морських припливів тощо.

5.3 Вплив електричного двигуна на навколишнє середовище

Лінії електропередач (ЛЕП) викликають екологічні проблеми. Спеціальні дослідження показали, що ЛЕП надвисокої напруги (750-1150 кВ), з екологічної точки зору є дуже небезпечними. Навколо них утворюються потужні електромагнітні поля, які негативно впливають на живі організми і людину, порушують природну міграцію тварин, процеси росту рослин тощо. Підготовка трас

для ЛЕП, вирубування просік, встановлення опор, монтаж проводів та іншого експлуатаційного обладнання і подальша експлуатація ЛЕП зумовлюють відповідну реакцію з боку екосистем. Вирубування лісу часто призводить до значної перебудови всього комплексу кліматичних факторів: на просіках збільшується швидкість 350 вітру, змінюються температура та вологість повітря, влітку різко посилюється інтенсивність випаровування вологи з поверхні ґрунту й трав'яного покриву, що викликає пересихання поверхневих шарів ґрунту, а взимку на просіках накопичується надмірна кількість вологи, що сприяє вегетації рослин навесні. Розморожування та відтаювання ґрунту на просіках відбувається на 7-30 днів раніше, ніж у лісі. Це призводить до виникнення ерозійних процесів. Утворення просік супроводжується також значними змінами тваринного компонента екосистем: спостерігається зникнення видів, що мешкають у кронах дерев: змінюється видовий склад, чисельність та різноманіття птахів тощо.

Без сумніву, ЛЕП впливають і на стан здоров'я людей. Це у першу чергу пов'язано з потенційними нещасними випадками, як то: нанесення травматизму людям від взаємодії зі струмопровідними елементами ЛЕП, витоків або розлиття трансформаторного мастила, а також від шумових впливів від коронного розряду. Розростання міст до мегаполісів наближує ЛЕП до новобудов. Допустимі норми електричного поля не мають перевищувати $1 \text{ кВ}\cdot\text{м}^{-1}$; для цього необхідно віддаляти опори ЛЕП на 30-40 м від житлових будівель

ВИСНОВКИ

На основі проведеного аналізу системи управління двигунами можна сказати що на безколекторний електродвигун має ряд великих переваг, а саме: високу швидкодію і динаміку; точність позиціонування; широкий діапазон зміни частоти обертання; безконтактність і відсутність вузлів, що вимагають техобслуговування; можливість використання у вибухонебезпечному і агресивному середовищі; велика перевантажувальна здатність по моменту; високі енергетичні показники (ККД понад 90 % і $\cos\phi$ понад 0,95); великий термін служби; висока надійність і підвищений ресурс роботи за рахунок відсутності ковзних електричних контактів та низький перегрів електродвигуна, при роботі в режимах з можливими перевантаженнями.

Серед недоліків таких двигунів можна виразити їню відносно складну систему керування двигуном та високу вартість двигуна, обумовлену використанням дорогих постійних магнітів в конструкції ротора

В процесі порівняльного аналізу було досліджено дві функціональні схеми системи управління безколекторним електродвигуном. На основі поставлених задач, які вирішує система керування було розглянуто функціональні схеми управління двигуном. Під час аналізу розглянуто два типи безколекторних двигунів: з датчиками Холла та без них.

Визначено основні особливості системи управління безколекторним двигуном з урахуванням широтно-імпульсної модуляції. В результаті дослідження двигуна з датчиками Холла було виявлено: чим менший опір ключів, тим менше втрати на ключах. Зменшення опору ключів веде до підвищення загального ККД і зменшення тепловиділення на ключах. Рівень втрат на ключах має квадратичну залежність від струму. Для зменшення втрат внаслідок перехідних процесів на ключах ШІМ сигнал можна подавати тільки на нижні або тільки на верхні ключі.

У безколекторних двигунах без будь-яких датчиків, положення ротора визначається шляхом вимірювання ЕРС на вільній фазі. Через ШІМ напруга середньої точки не постійна. Вона коливається в широкому діапазоні напруг. Для

того щоб мікроконтролер зміг виміряти напругу, застосовуються ланцюги узгодження сигналів - дільники напруги і RC-фільтри для згладжування коливань. Підвищивши напруга живлення двигуна, слід змінити і дільники напруги в ланцюгах узгодження. В іншому випадку напруга може перевищити допустиме значення і вивести зі строю мікроконтролер. Для запобігання таких ситуацій додатково застосовують схеми захисту.

Присутність дільника напруги веде до зниження чутливості на малих обертах двигуна, а наявність фільтрів вносить затримку. Затримка є причиною похибок у визначенні положення ротора і може стати критичною для управління двигунами на високих швидкостях.

Безколекторні двигуни постійного струму об'єднали в собі переваги двигунів постійного струму, а саме мають широкий діапазон регулювання та не мають колектора, що дозволяє виконувати їх для високошвидкісних приводів зі швидкостями від 5000 об/хв до 15000 об/хв та вище в спецтехніці.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лебедев А. А., Карабанов В. А. Динаміка систем управління безпілотними літальними апаратами. – М.: Машинобудування, 1965. – 528 с.
2. Лебедев А. А., Чернобровкін Л.С. Динаміка польоту безпілотних літальних апаратів. – М.: Машинобудування, 1973. – 616 с.
3. Берзін Г. С. Літальні апарати. Основи аеродинаміки, динаміка польоту і конструкція. Видання ВВІА ім. проф. Н. Е. Жуковського, 1972.
4. Боднер В. А. Системи управління літальними апаратами. – М.: Машинобудування, 1973. – 506 с.
5. Казаков И. Е., Мішаков А. Ф. Авіаційні керовані ракети. Видання ВВІА ім. проф. Н. Е. Жуковського, 1985.
6. Синеглазов В. М., Філяшкін М. К. Автоматизовані системи управління повітряних суден. –К.: Изд-во НАУ, 2003. – 502 с.
7. Якубовський С. В., Барканов Н. А. Аналогові і цифрові інтегральні мікросхеми. – М.: Радіо і зв'язок, Довідковий посібник, 1985. – 432с.
8. Красовський А. А., Поспелов Г. С. Основи автоматики і технічної кібернетики. – М.: «Держенерго», 1962. – 600 с.
9. Кузовков Н. Т. Теорія автоматичного регулювання, заснована на частотних методах. – М.: Оборонгіз, 1960. – 446 с.
10. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник для студентів вищих закладів освіти України I-IV рівнів акредитації /За ред. Є.П.Желібо і В.М.Пічі. – Київ: "Каравелла", Львів: "Новий світ-2000", 2001. – С.190-191.
11. Закон України "Про пожежну безпеку" від 17 грудня 1993 року.
12. Лапін В.М. Безпека життєдіяльності людини: Навч. посіб. – 5-те вид., стереотип. – Л.: Львів банк ін-т НБУ; Т-во "Знання", КОО, 2002. – 185 с.

