

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
КОНОТОПСЬКИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра електронних  
приладів і автоматики

Кваліфікаційна робота бакалавра  
**Цифроаналогова вимірювальна система параметрів руху об'єкта**

студента гр. ЕП-61к

В.В.Литвиненко

Науковий керівник,

ст. викладач, к.т.н.

Васильєв В.І.

Нормоконтроль,

ст. викладач, к.т.н.

О.Д. Динник

Конотоп 2020

## ЗМІСТ

	<b>с.</b>
<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>РОЗДІЛ 1 КОМП'ЮТЕРНІ ІНТЕРФЕЙСИ</b> .....	5
1.1 Паралельні і послідовні RS-232, RS-48, I2c.....	5
1.2 Пристрої сполучення виконавчих механізмів з ПК або контролером	9
<b>РОЗДІЛ 2 КРОКОВІ ДВИГУНИ ТА УПРАВЛІННЯ НИМИ</b> .....	12
2.1 Основні теоретичні відомості про крокові двигуни.....	12
2.2 Управління кроковим двигуном за допомогою ПК.....	15
<b>РОЗДІЛ 3 ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ</b> .....	20
3.1 Розвиток вбудованих систем управління двигунами.....	20
3.2 Системи управління двигунами і вимоги до мікроконтролерів.....	27
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	34
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	35

## РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є крокові двигуни та управління ними за допомогою ПК .

Мета роботи полягає у дослідженні комп'ютеризованих систем управління кроковими двигунами. Які є переваги та недоліки крокових двигунів.

При виконанні роботи використовувався кроковий двигун від старого 5,25-дюймового дисководу моделі FD-55GFR фірми TEAC.

У результаті проведених досліджень встановлено, що пряме цифрове управління забезпечує пряме введення сигналів в мікроконтролер різних зворотних зв'язків, що не залежать від виду сигналу (аналоговий, імпульсний, дискретний) з черговою обробкою всередині мікроконтролера. Як висновок, така система управління орієнтується на відмову від багатьох інтерфейсних плат, створюються одноплатні контролери управління приводами.

Робота викладена на 38 сторінках, у тому числі включає 15 рисунків, 5 таблиць, список цитованої літератури із 53 джерел.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** КРОКОВИЙ ДВИГУН, АЦП, ЦАП, МІКРОКОНТРОЛЕР, ГЕНЕРАТОР ШІМ-СИГНАЛІВ.

## ВСТУП

Одним з важливих завдань сучасної науки є створення комп'ютеризованої системи управління. На сьогодні вона використовується в різних сферах діяльності людини. Числове програмне управління – це комп'ютеризована система керування, яка забезпечує якісне управління механізмами та верстатами. Саме ЧПУ відповідає за переміщення робочих органів станка, швидкість їх руху під час формоутворення, за послідовність циклу обробки, а також за різні допоміжні функції. [3]

Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) це пристрої, які приймають вхідні аналогові сигнали та створюють відповідні до них цифрові сигнали, що придатні для оброблення мікропроцесорами та іншими цифровими пристроями.

На даний час найраціональнішим вважається спосіб трансформації різних за фізичною природою величин в першу чергу в функціонально пов'язані з ними електричні, а потім уже за допомогою перетворювачів напруги – в цифрові. [6]

Крокові двигуни – це електромеханічні пристрої, які перетворюють сигнали зовнішнього управління в кутовий рух ротора електродвигуна з повною його фіксацією в певному місці знаходження без використання пристроїв, що працюють за принципом зворотного зв'язку.

Сучасні крокові двигуни (електродвигуни) по суті своїй є звичайними синхронними електричними двигунами без стартової обмотки, що найчастіше розташовується на роторі движка. Це обумовлюється асинхронним, частотним запуском крокового двигуна.

Метою даної роботи є вивчення комп'ютеризованої системи управління кроковим двигуном. Які є недоліки та переваги самих крокових двигунів. Область застосування даної системи.

Для експерименту був використаний кроковий двигун від старого 5,25-дюймового дисководу моделі FD-55GFR фірми TEAC. У цього двигуна виявилось п'ять висновків. У більшості джерел описуються крокові двигуни, що мають шість виводів. [1]

## РОЗДІЛ 1

### КОМП'ЮТЕРНІ ІНТЕРФЕЙСИ

#### 1.1 Паралельні і послідовні RS-232, RS-485, I2C

Кожного дня ми користуємось цифровими пристроями: мобільними телефонами, фото камерами, планшетами, комп'ютерами та ін. Багато хто з шкільного курсу інформатики знає будову комп'ютера, але не кожний замислюється як відбувається передача між блоками пам'ять-процесор чи навіть між периферійними пристроями. Саме тому розглянемо деякі інтерфейси передачі даних та де вони застосовуються. [15]

Для початку розглянемо два види передачі цифрових даних: паралельні та послідовні. Паралельні дані відправляються одночасно по декількох лініях (основному по 1-но байтній шині), як приклад LPT порт для принтера. Послідовні дані відправляються послідовно біт за бітом по одному каналу. Передача даних по паралельному інтерфейсу проводиться швидше ніж при послідовному, але вона обмежена максимальною швидкістю передачі, яка рівна 1 мегабайт/с при максимальній відстані 15 метрів. Також потрібно зазначити, що паралельний інтерфейс залежний від перешкод та довжини провідників. Паралельна передача даних відбувається в основному там, де потрібна велика швидкість передачі на невелику відстань. Як приклад можна привести: дисплеї планшетів, які працюють на 8-ми бітній паралельній шині, твердотільні накопичувачі, зазвичай їх чіпи пам'яті, які працюють на ONFI (open nand flash interface) та ін. Послідовні дані використовуються для передачі на великі відстані, наприклад: Ethernet, ps/2, USB 2.0/3.0.

Розглянемо основні послідовні інтерфейси передачі даних: I2C, SPI та UART. [9]

I2C (I2C) – розроблений фірмою Philips інтерфейс I2C (“inter integrated circuit”) - це двонаправлена шина з послідовним форматом даних, вона допускає адресацію та паралельне підключення до шини не більше ніж 128 пристроїв. Інтерфейс I2C являє собою дві сигнальні лінії, перша (SCL – Serial Clock)

призначена для передачі тактового сигналу, друга (SDA – Serial Data) – для передачі даних (Рис. 1.1).

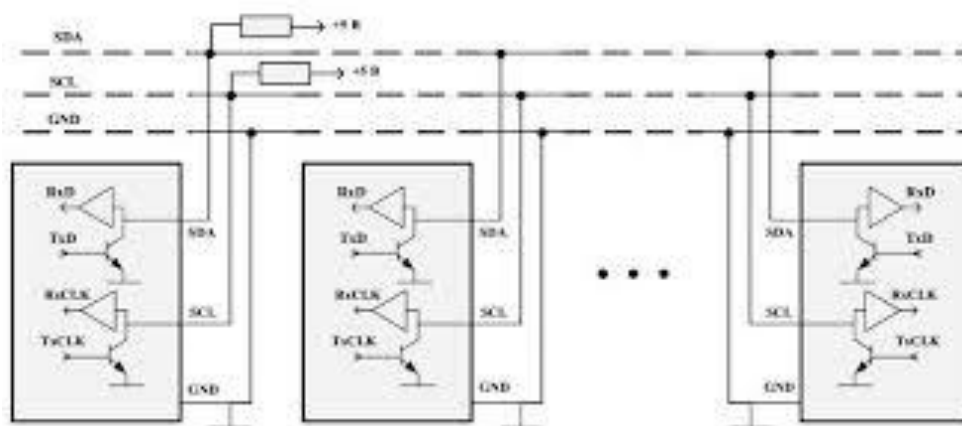


Рис.1.1 – Паралельне підключення пристроїв в шині

Довжина з'єднувальної лінії може бути до 2-х метрів, швидкість передачі до 100 кбіт/с, існує і розширений варіант з швидкістю передачі даних до 400 кбіт/с. Всі пристрої інтерфейсу поділяються на два класи: підвладні I2C-Slave та керуючі I2CMaster. Пристрій I2C-Master генерує тактовий сигнал (SCL) і, як наслідок, являється керуючим. [1]

SPI (англ. Serial Peripheral Interface) – це послідовний периферійний інтерфейс, який був розроблений для передачі даних між керуючим (SPI-Master) та підвладним (SPI-Slave) пристроєм. Пристрій керування SPI-Master формує тактові сигнали SCK (Serial Clock), по яким в один час проводиться передача на виході MOSI (англ. Master Out Slave In) та приймаються дані на вході MISO (англ. Master In Slave Out). Інтерфейс SPI застосовується не тільки для передачі даних між мікроконтролерами, а і для підключення до зовнішніх АЦП, мікросхем пам'яті SRAM, FRAM. Слід зазначити, що SD карти пам'яті, які використовуються у багатьох пристроях підтримують такий інтерфейс. [4]

Що важливо в даному інтерфейсі є можливість підключення декількох пристроїв методом активації підвладного пристрою, що зображено на рис. 1.2.

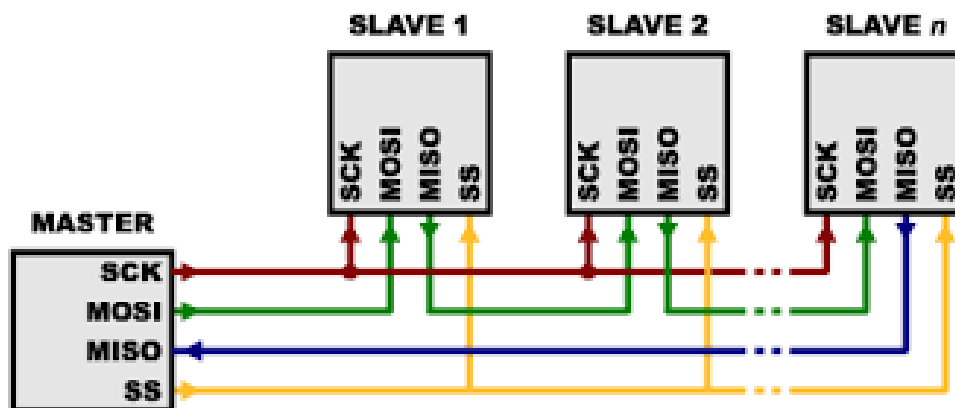


Рис.1.2 – З'єднання багатьох пристроїв в інтерфейсі SPI

Інтерфейс RS-232 (UART) був створений для того щоб підключити периферії до персонального комп'ютера. В цьому інтерфейсі дані проводяться по RxD (прийом даних) та TxD (передача даних). Інтерфейс UART широко застосовується як стандартний послідовний інтерфейс передачі даних між різними пристроями, тому що він має у собі нескладні алгоритми та можливість двосторонньої передачі даних. Наприклад, мікроконтролери сімейства AVR, ARM, PIC та багато інших мають в собі вбудовану апаратну реалізацію інтерфейсу UART, через цей протокол можуть бути підключенні деякі з пристроїв. [2]

Відомо, що цей інтерфейс, визначений стандартом Асоціації електронної промисловості (EIA), він передбачає наявність обладнання двох видів: термінального DTE и зв'язного DCE. Слід розуміти, що є суттєва різниця між цими видами обладнання. Термінальне обладнання, наприклад мікрокомп'ютер може надсилати і приймати дані по послідовному інтерфейсу. Зв'язне обладнання це пристрої, які можуть задовольнити передачу даних від термінального обладнання. Видимим прикладом зв'язного обладнання є модем. Він є сполучною ланкою у послідовному ланцюжку між комп'ютером і телефонною лінією. Різниця між термінальними і зв'язними пристроями сумнівна, тому виникають деякі труднощі в розумінні того, до якого типу обладнання відноситься той чи інший пристрій.

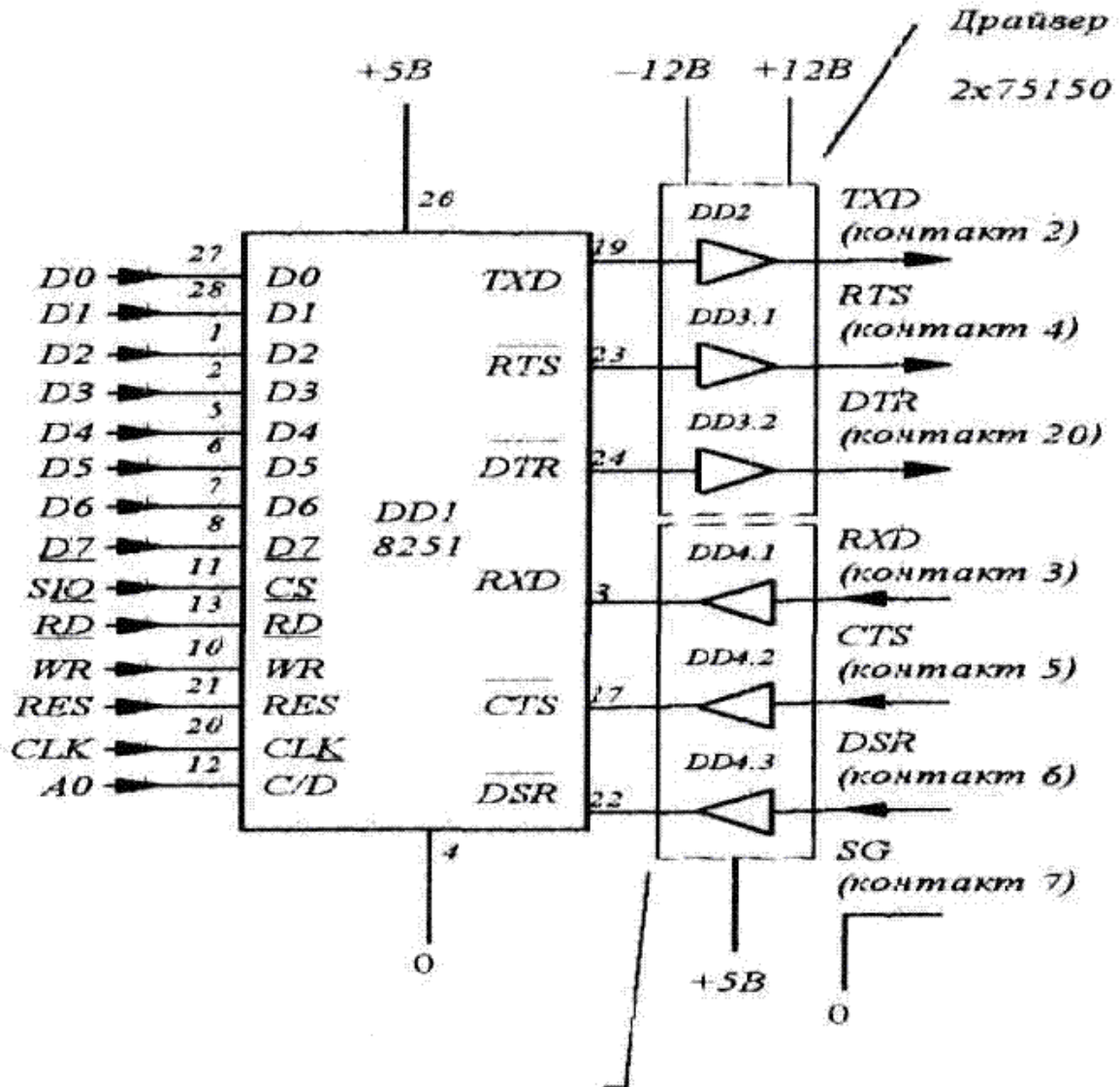


Рис. 1.3 – Типова схема інтерфейсу RS-232C

Таким чином, при розробці мікро ЕОМ необхідно враховувати переваги інтерфейсу, такі як: в паралельному інтерфейсі – висока швидкість передачі даних, послідовний інтерфейс переводить на більшу відстань та більш захищений від перешкод. Щодо послідового інтерфейсу передачі даних, то через І2С краще передавати дані, коли потрібно управляти великою кількістю підвладних пристроїв. [38]



## 1.2 Пристрої сполучення виконавчих механізмів з ПК або контролером

Для того щоб перетворити цифровий образ сигналу в напругу, що існує в комп'ютері необхідна допомога типових засобів звукової карти саундбластера або плати аналогового пристрою. Якщо цих пристроїв в комп'ютері немає, то вирішити таку задачу можна шляхом підключення ЦАП безпосередньо до від'єднання принтерного порту комп'ютера. [5]

Часто, коли відбувається налаштування і перевірка електронних пристроїв вимагаються сигнали незвичної форми, наприклад ті, що відтворюють хід яких-небудь реальних процесів. Зазвичай розробляють спеціальні імітатори, що генерують такі сигнали, але інколи просто записують справжній сигнал на диктофон і багаторазово його відтворюють. Згодом після появи доступних мікросхем ПЗУ почали розроблятися генератори сигналів складної форми на їхній основі.[1] Однак всі такі пристрої, які були один раз запрограмованими, утворюють тільки один сигнал або обмежений набір. Такого недоліку можна уникнути шляхом заміни ПЗУ комп'ютером і скористатись його майже необмеженою пам'яттю і можливостями сервісу для зберігання потрібних сигналів про цифровий вид. [12]

Цифровий код найближчого значення формованого сигналу надходить з рівнобіжного порту комп'ютера на рознімання XP1, потім запам'ятовується в регістрі DD1 і за допомогою ЦАП DD2 і операційного підсилювача DA2 трансформується в аналоговий сигнал. Ланцюг R3 C4 придушує високочастотні перехідні процеси і згладжує "сходінки" вихідної напруги. Зразкова напруга надходить на висновок 15 мікросхеми DD2 від найпростішого стабілізатора, що складає зі стабілітрона VDI і резистора R1 і R2. Підстроєним резистором R1 значення зразкової напруги можна міняти від 0 до -9 В, цим регулюється амплітуда вихідного сигналу. Мікросхеми DD1 і DD2 живлять напругою +5 В від інтегрального стабілізатора DA1.

Нижче по тексту наведений фрагмент програми показує висновок одного відліку сигналу, значення якого записують у порт даних 37Bh. Потім читають

порт керування 37Ah, і далі в кодї, який отримали в результатї встановлюють D2 - 1 і виводять у той же порт. Далї встановлюють D2 - 0 і ще раз повторюють висновок. У підсумок на висновку 16 рознімання XP1 і зв'язаному з ним входї З регістра DDI утворюється короткий імпульс, який записує в регістр код, що раніше виведений у порт даних. Описану процедуру повторюють з частотою квантування вихідного сигналу, що читають з пам'ятї комп'ютера і виводять в порт черговї звіти. [14]

*Таблиця 1.1*

### Фрагмент програми

MOV DX,37Bh	; Адреса порту даних
MOV AL,	; Вибїрка чергового значення
OUT DX, AL	; Вихїд чергового значення в порту
MOV DX, AL	; Адреса порту керування
IN AL, DX	; Читання стану
OR AL Ah	; Установка D2
OUT DX, AL	; Вихїд у порт
AND AL, OFBh	; Скидання D2
OUT DX, AL	; Вихїд у порт

Найбїльша частота квантування сигналу обмежується найчастїше швидкою дією ЦАП і рївнобїжного порту комп'ютера. ЦАП КР573ПА1А, який застосовується у пристрої, має час розміщення вихїдної напруги приблизно 5мкс і дає можливість підняти її до 200кГц. В результатї цього, верхня границя частотного спектра утворених сигналїв досягає 50-100 кГц. Щодо нижньої частоти то вона нїяк не обмежується. Можлива зовнїшня синхронїзація процесу, тодї подається сигнал до висновку 12 (ланцюг PE) рознімання XP1. Щоб визначити логїчний рївень, комп'ютер аналізує розряд D5 коду, що читається з порта 37Bh. Це тому що усерединї комп'ютера зазначений вивїд, який з'єднується через резистор за допомогою ланцюга +5В. [7]

XP1 вилка DB 25. Її поєднують дротом завдовжки до 1 м з розеткою порту LPT1 комп'ютера. Пристрїй можна підключити до вільного порту LPT2, коли

перший зайнятий. В такому випадку адреси 37ВН, 379Н і 37АН слід змінити на 27ВН, 279Н 27АН.

Цифро-аналогові перетворювачі продукують напругу або струм, функціонально пов'язані з керуючим кодом. В основному ЦАП використовуються для формування вихідних аналогових сигналів цифрових, вимірювальних і обчислювальних пристроїв. Для того щоб перетворити двійковий код в аналоговий сигнал, як правило, формуються струми, пропорційна вага розрядів коду, і потім додаються ті з струмів, які відповідають ненульовим розрядам вхідного коду. [8]

Існує два найпоширеніших методи ЦАП: підсумовування еталонних величин, вага яких різна та підсумовування одиничних еталонних величин. У першому методі використовуються еталонні величини з вагою, яка залежить від номера розряду, і в підсумовуванні беруться тільки ті еталонні величини, для яких у відповідному розряді вхідного коду стоїть одиниця. У другому методі, коли формується вихідна аналогова величина, застосовується тільки одна еталонна величина, вага якої один квант.

У випадку використання на вході довічного позиційного коду значення всіх розрядів надходить одночасно, а робота ЦАП записується виразом. [10]

*Формула 1.1*

$$X = P (a_1 * 2^{-1} + a_2 * 2^{-2} + a_3 * 2^{-3} + a_i * 2^{-b}),$$

де  $X$  - аналогова величина.

$a_i$  - коефіцієнти відповідних двійкових розрядів, які приймають дискретні значення одиниця або нуль.

$P$  - опорний сигнал

$b$  - число розрядів

У перетворювачах опорної напруги утворюються еталонні величини, які відповідають значенням розрядів вхідного коду, що додаються і формують дискретні значення вихідної аналогової величини.

## РОЗДІЛ 2 КРОКОВІ ДВИГУНИ ТА УПРАВЛІННЯ НИМИ

### 2.1 Основні теоретичні відомості про крокові двигуни

На сьогоднішній день крокові двигуни (далі КД) активно застосовуються в різних приводах і системах, що пояснюється їх низькою ціною і високою надійністю, також використання крокових двигунів дає можливість обійтися без дорогого контура швидкості і положення, в результаті не накопичується помилка положення. Найперші моделі КД володіли маленьким числом кроків і великими габаритами, що сильно обмежувало їх використання. [21]

Реактивні:

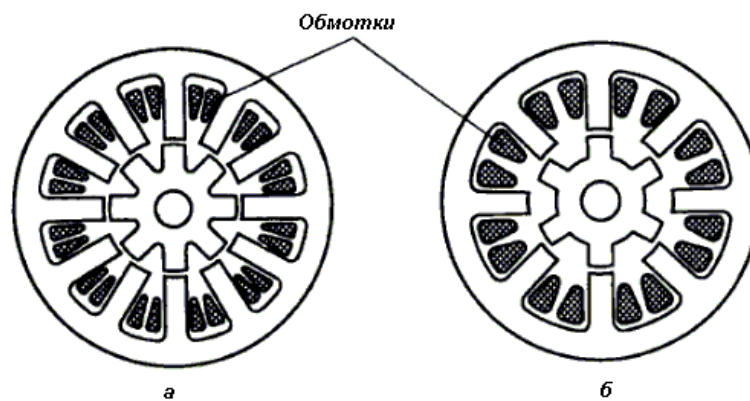


Рис. 2.1 – Поперечний переріз реактивних КД.

а) трьохфазний б) чотирьохфазний.

На постійних магнітах:

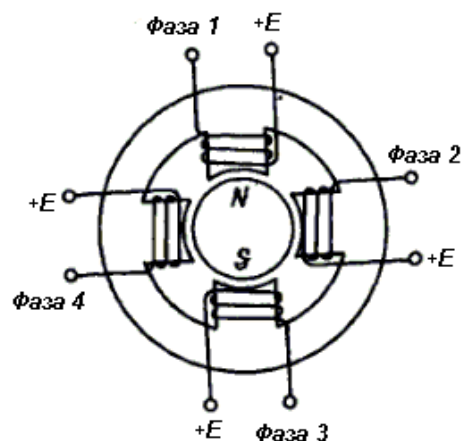


Рис 2.2 – Поперечний переріз чотирьохфазного КД на постійних магнітах

Гібридні:

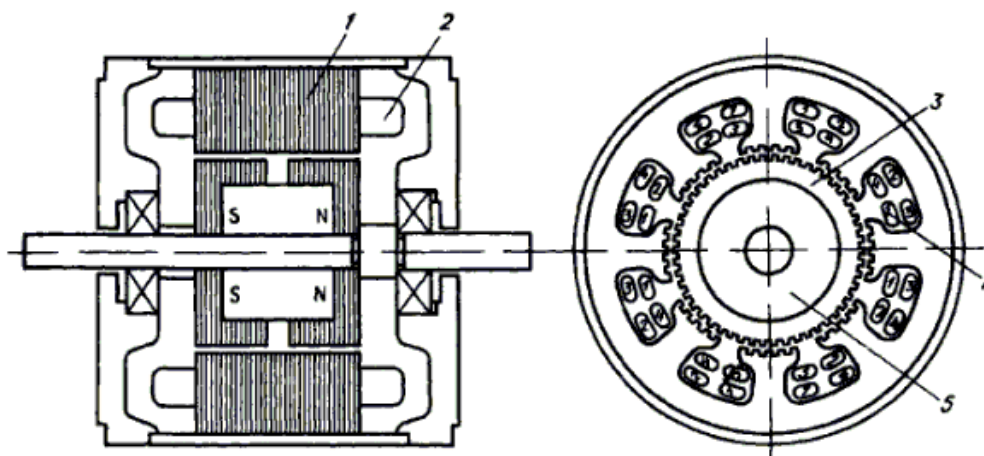


Рис 2.3 – Конструкція гібридного КД:

1 - магнітопровід статора, 2 - обмотки, 3 - магнітопровід ротора, 4 - обмотка статора, 5 - постійний магніт.

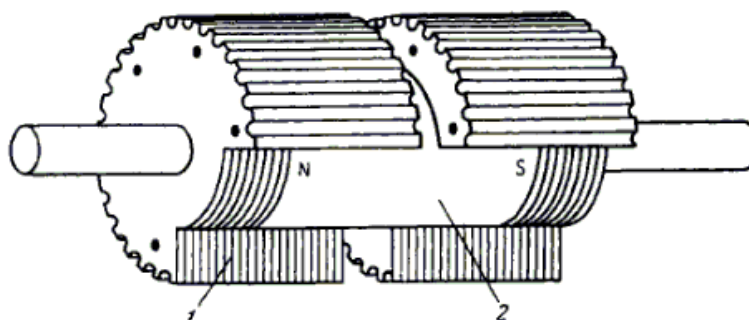


Рис 2.4 – Структура ротора гібридного КД:

1 - шихтова сталь, 2 - постійний магніт.

Розрізняють одно- і двофазне збудження. Одним з недоліків КД є коливальність ротора при установці в нове положення це обумовлено перш за все інерцією ротора. Згідно до теорії при двофазному збудженню коливання загасають швидше, ніж при однофазному, однак при цьому зростають кидки комутуючого струму. На практиці ж суттєвої різниці не було виявлено, обмотки при двофазному управлінні гріли краще батареї, коливання струму загасали довше, ніж при однофазному. У механіці можливо воно швидше, проте максимальна крокова швидкість не збільшується. [21]

Крім одно- і двофазного управління існує напівкроковий режим. У цьому режимі за цикл ротор робить половинний крок, даний режим здійснюється особливим управлінням обмотками.

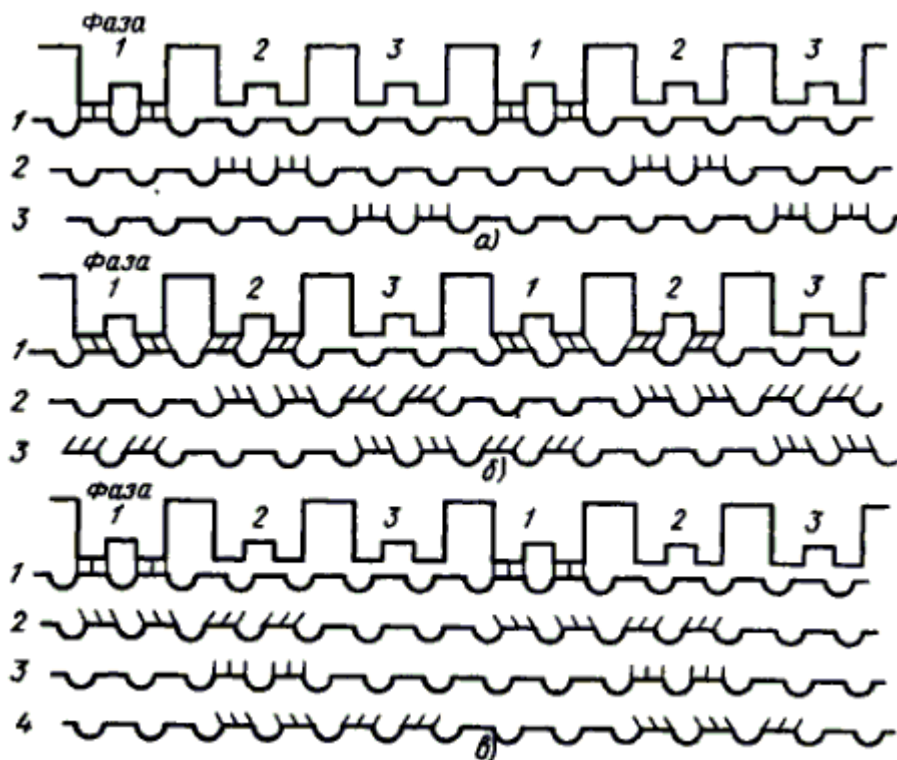


Рис 2.5 – Порівняння однофазного, двофазного і напівкрокового управління:  
 а) однофазное; б) двофазне; в) напівкрокове

Також у гібридних двигунів є режим мікрокрок, для цього на обмотки подається синусоїдальна напруга, при цьому здійснюється майже плавне переміщення ротора, однак позначається фіксує ефект обумовлений зубцями ротора і статора. При використанні датчиків положення КД працює аналогічно вентильному двигуну. [24]

## 2.2 Управління кроковим двигуном за допомогою ПК

Наведемо опис нескладної технології, що дозволяє управляти кроковим двигуном, підключеним до LPT порту IBM-сумісного комп'ютера.

Паралельний порт є чудовим інтерфейсом, що дозволяє підключати до персонального комп'ютера безліч найрізноманітніших пристроїв. Однак він може бути легко пошкоджений, тому при його використанні для під'єднання саморобних зовнішніх пристроїв потрібно дотримуватись правил безпеки. Зокрема використовувати буферні пристрої захисту TTL входів / виходів LPT порту. [11]

Нижче наводиться короткий опис паралельного порту.

Паралельний порт має кілька ліній введення / виводу, які можуть бути розділені на дві групи - лінії передачі даних і лінії сигналів управління. Лінії передачі даних - двонаправлені і саме їх ми і будемо використовувати. У табл.1 описано призначення висновків роз'єму порту LPT.

Таблиця 2.1

**Призначення висновків роз'єму порту LPT**

№ вис.	Назва	Напрямок	Опис
1+	STROBE	Введення і виведення	встановлюється PC після завершення кожної передачі даних
2/9	D0-D7	виведення	8 ліній даних
10	ACK	введення	встановлюється в "0" зовнішнім пристроєм після прийому байта
11	BUSY	введення	пристрій показує, що він зайнятий, шляхом установки цієї лінії в "1"
12	Paper out	введення	для принтерів
13	Select	введення	пристрій показує, що він готовий, шляхом установки на цій лінії "1"
14	Autofeed	Введення і виведення	
15	Error	введення	вказує на помилку
16	Initialize	Введення і виведення	
17	Select In	Введення і виведення	
18-25	Ground	GND	Загальний привід

Для експерименту був використаний кроковий двигун від старого 5,25-дюймового дисководу моделі FD-55GFR фірми TEAC. У цього двигуна виявилось п'ять висновків. У більшості джерел описуються крокові двигуни, що мають шість висновків. Існують також опису 4-висновкових крокових двигунів, у яких не підключені середні висновки і які вимагають двополярну напругу для управління. Цей кроковий двигун схожий на двигуни з шістьма висновками, але дві обмотки у нього з'єднані в одній точці, і назовні виведений один провід, приєднаний до них. [22]

Процес вилучення двигуна з дисковода нескладний - потрібно всього лише відвернути кілька гвинтів. До валу двигуна за допомогою гвинтика прикріплена тонка металева смужка, потрібно дотримуватися обережності, щоб не порізатися про неї в процесі її вилучення.

Після вилучення крокової двигуна слід переконатися, що він справний. Найпростіший спосіб це зробити - замкнути всі висновки двигуна між собою і спробувати повернути його вал. Вал повинен провертатися насилу, в порівнянні з тим, як він провертається при розімкнутих висновках. Також за допомогою тестера можна перевірити цілісність обмоток двигуна. Висновки кожної з обмоток слід позначити. Ідентифікувати висновки крокової двигуна можна в такий спосіб:

1. Підключити висновок обмотки двигуна до висновку харчування +12 В, а до іншого висновку цієї обмотки - загальний провід. Вал повинен повернутися на невеликий кут. [23]

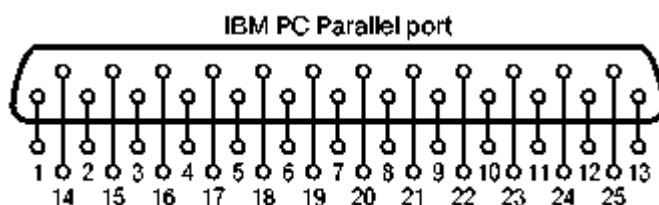


Рис. 2.6 – Паралельний порт підключення



2. Залишити ці два висновки в одному місці. Далі підключити висновки інших обмоток до джерела живлення 12 В. Важливо, що ці два висновки змушують кроковий двигун повертати вал на невеликий кут в іншу сторону.

В роботі використовувався кроковий двигун від дисковода.

Тип двигуна: ПБМГ-200-265Ф. Для визначення висновків застосовувався тестер. Виявилось, що двигун має чотири обмотки. Дві обмотки з'єднані один з одним і мають загальний провід білого кольору, другі висновки цих обмоток червоного і зеленого кольору.

Дві інші обмотки також з'єднані один з одним і мають загальний провід чорного кольору, інші висновки цих обмоток блакитного і жовтого кольору. Якщо з'єднати білий і чорний дроти, виходить практично та ж схема, що і описана в оригінальній статті. Для управління кроковим двигуном можна використовувати мікросхему драйвера ULN2003, яка містить сім потужних транзисторних ключів, зібраних за схемою Дарлінгтона. Кожен ключ здатний управляти навантаженням з струмом споживання до 500 мА. Мікросхема має резистори в ланцюзі бази, що дозволяє безпосередньо підключити її входи до звичайних цифрових мікросхем. Все емітери пов'язані один з одним і виведені на окремий висновок. На виходах транзисторних ключів є захисні діоди, що дозволяє управляти за допомогою цієї мікросхеми індуктивними навантаженнями при мінімумі зовнішніх компонентів. У нашій конструкції використано лише чотири транзисторних ключа. Електрична схема підключення крокового двигуна показана на рис. 2.7. [50]

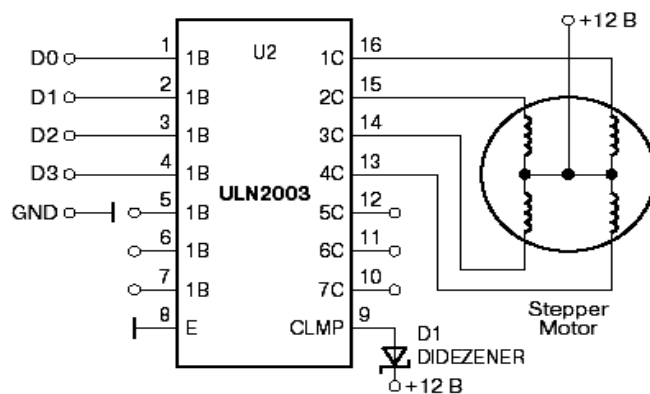


Рис. 2.7 – Електрична схема підключення крокового двигуна

Перший вихід крокового двигуна, ідентифікований за допомогою описаної раніше процедури, приєднаний до лінії D0 паралельного порту (зрозуміло, через мікросхему ULN2003). Кожен наступний висновок приєднаний до відповідного висновку паралельного порту. Якщо порядок підключення виходів крокової двигуна невірний, вал мотора буде не обертатися, а лише повертатися на невеликий кут з одного боку в іншу і навпаки. Загальний провід схеми підключений до мережі живлення не безпосередньо, а через стабілітрон. Це зроблено з метою захисту схеми від напруги ЕРС самоіндукції, що виникає в котушках при різкому виключенні напруги живлення схеми. [51]

Програма, розроблена для описуваного пристрою, досить проста. Вона управляє висновками порту і формує на них спеціальну послідовність імпульсів. Ця послідовність показана в табл. 2.2 і 2.3.

Різниця між алгоритмами (повним і половинним кутом повороту вала на один крок) полягає в тому, що в другому випадку швидкість обертання виявляється в два рази нижче, при цьому в два рази зменшується кут повороту вала двигуна на кожному кроці. Збільшується роздільна здатність системи. Також у другому випадку приблизно в два рази збільшується споживана потужність, і крім того, двигун здатний розвивати в два рази більший крутний момент.

Для зміни напрямку обертання вала двигуна необхідно формувати зазначені послідовності в зворотному порядку. [53]

*Таблиця 2.2*

**Послідовність імпульсів**

№ кроку	D0	D1	D2	D3
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

**Послідовність імпульсів**

№ кроку	D0	D1	D2	D3
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

Нижче наведено короткий приклад програми для Turbo C, що працює в операційній системі MS-DOS. Ця програма змушує кроковий двигун обертатися в прямому напрямку, в режимі повного кута на один крок. [26]

```
#include <conio.h>
void main ()
{
  unsigned char v=0x11; while (!kbhit ())
  delay (10);
  outportb (0x378, v);
  asm {
  mov al, v
  rol al, 1
  mov v, al
  }
}
```

## РОЗДІЛ 3 ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

### 3.1 Розвиток вбудованих систем управління двигунами

Сучасний електропривід поєднує в собі електромеханічний перетворювач енергії (двигуна), силовий перетворювач і пристрій управління. Завдяки йому електрична енергія перетворюється в механічну. Постійно розширюється використання електричного приводу у різних сферах (побут, транспорт, промисловість). На сьогодні більш ніж 60% електричної енергії використовується електричними двигунами. Таким чином, ефективність енергозберігаючих технологій вирізняється ефективністю електричного приводу. Головним напрямом удосконалення сучасної техніки є розроблення економічних систем приводу з високою продуктивністю. [13]

В останні десятиліття відбулися значні успіхи в силовій електроніці— було вивчене промислове виробництво силових модулів (стійки і цілі інвертори), силових інтелектуальних модулів (ІРМ) із вбудованими засобами захисту ключів та інтерфейсами, що забезпечують підключення до мікропроцесорних систем управління, біполярних транзисторів з ізольованим затвором (IGBT). В результаті росту об'єднання в мікропроцесорній техніці та переходу від мікропроцесорів до мікроконтролерів із вбудованим набором спеціалізованих периферійних пристроїв, все частіше стали замінювати аналогові системи управління приводами на системи прямого цифрового управління.

Пряме цифрове управління забезпечує пряме введення сигналів в мікроконтролер різних зворотних зв'язків, що не залежать від виду сигналу (аналоговий, імпульсний, дискретний) з черговою обробкою всередині мікроконтролера. Як висновок, така система управління орієнтується на відмову від багатьох інтерфейсних плат, створюються одноплатні контроллери управління приводами.[42]

Основні тенденції розвитку.

При проведенні аналізу відомих світових виробників систем приводу, наукових досліджень можна відмити такі тенденції розвитку електричного приводу:

– Високими темпами відбувається збільшення частини систем приводу з двигунами змінного струму та зниження частини систем приводу з двигуном постійного струму. Це пояснюється тим, що вартість колекторних двигунів постійного струму вища ніж у двигунів змінного струму, а також низькою надійністю механічних колекторів. На початку наступного століття прогнозується скорочення частини приводів постійного струму до 10%. [39]

– На сьогодні більш популярними у використанні є приводи у які короткозамкнені асинхронні двигуни, приблизно 80% з них – нерегульовані.

– Колекторні приводи постійного струму можна замінити на приводи з вентилями, електронно-комутованими двигунами. Для того щоб замінити безколекторні двигуни постійного струму (БДПТ) здебільшого використовують синхронні двигуни, у яких збудження відбувається за рахунок постійних магнітів або двигуни з електромагнітним збудженням. Такий вид приводу найперспективніший у робототехніці та верстатобудуванні, але, є найдорожчим. Якщо застосовувати синхронні реактивні двигуни, то можна знизити вартість. [5]

– За прогнозами фахівців в майбутньому лідером стане привід на основі вентильно-індукторного двигуна (ВІД). Такі двигуни вирізняються дешевизною, технологічністю та простотою у виготовленні. У таких моделях не активний феромагнітний ротор та відсутні обмотки чи магніти. Щодо високих споживчих властивостей приводу, то вони можуть бути забезпечені лише, коли використовується потужна мікропроцесорна система управління разом з теперішньою силовою електронікою. [33]

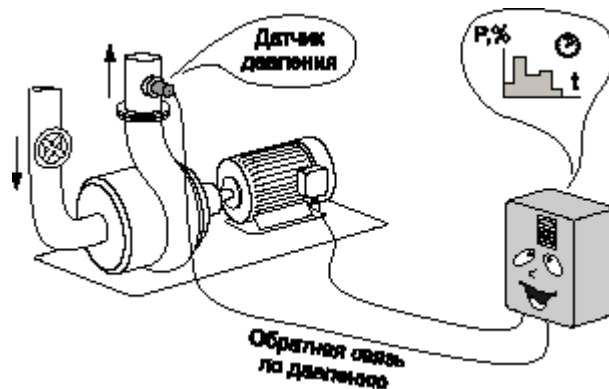


Рис.3.1 – Інтеграція управління двигуном і технологічним процесом

– Для використання масових приводів (насосів, вентиляторів, конвеєрів, компресорів і т.д.) необхідний діапазон регулювання швидкості ( 1:10, 1:20) і відносно низьку швидкість. В такому випадку ефективно використання класичних структур скалярного управління. Щоб перейти до широкодіапазонного (до 1:10000), швидкодіючого приводу верстата, роботів і транспортних засобів, необхідно застосовувати складніші структури векторного управління. Частина таких моделей становить приблизно 5% і весь час росте. Мета дослідження обґрунтувати переваги цифрових засобів керування електроприводом, як найбільш економічних та надійних. Основні матеріали дослідження.

– На теперішній час розроблені приводи з прямим цифровим управлінням моментом на основі системи векторного управління. Особливою характеристикою можна відмітити гранично високу швидкість контурів струму, що реалізуються, зазвичай, на основі цифрових релейних регуляторів чи таких, що працюють на принципі нечіткої логіки. Системи прямого цифрового управління моментом зосереджені в основному на транспорті, використовується в кранах, ліфтах, робототехніці. [17]

– Різне збільшення продуктивності центрального процесора та перехід до спеціалізованих процесорів з об'єктно-орієнтованою системою команд, що адаптована до вирішення завдань цифрового регулювання було спровоковане ускладненням структур управління приводами. Ряд фірм (Intel, Texas Instruments, Analog Devices та ін.) випустили на ринок нові мікроконтролери для управління двигунами (з серії Motor Control) на базі процесорів для обробки сигналів –

DSP мікроконтролери. Вони не лише забезпечують необхідну продуктивність центрального процесора (більше 20 млн.оп./с), але і містять ряд вбудованих периферійних пристроїв, призначених для оптимального сполучення контролера з інверторами і датчиками зворотних зв'язків. Серед вбудованої периферії особливе місце займають універсальні генератори періодичних сигналів, що забезпечують найсучасніші алгоритми управління інверторами, зокрема, алгоритми векторної широко-імпульсної модуляції. [44]

– Зростають обчислювальні можливості вбудованих систем управління приводами, що провокують розширення їхніх функцій. Вдосконалюються пряме цифрове управління силовим перетворювачем та втілюються в життя допоміжні функції підтримки інтерфейсу з користувачем, а також управління технологічним процесом (рис 3.1).

– Ефективні системи управління електроприводами розробляються з орієнтацією на комплексну автоматизацію технологічних процесів і погоджену роботу декількох приводів у складі промислової мережі. Управління мережею бере на себе промконтролер або керуюча ЕОМ. Найбільш перспективні типи інтерфейсів: RS - 485 і CAN. CAN-інтерфейс поступово стає стандартом для розподілених систем управління на електричному транспорті, в автомобільній техніці і робототехніці. [25]

– Наслідком граничного здешевлення приводу, зокрема для масового використання в побутовій техніці (пилосос, пральна машина, холодильник, кондиціонер і т.д.) стала відмова від датчиків механічних змінних і перехід до систем управління без датчиків, де для оцінювання механічних координат приводу (положення, швидкість, прискорення) застосовуються спеціальні цифрові спостерігачі. Це може бути тільки тоді, коли висока продуктивність центрального процесора, система диференціальних рівнянь, яка описує поведінку приводу, може бути вирішена в реальному часі. [29]

В основному витрати на розробку систем управління приводами приходяться на розроблення алгоритмічного і програмного забезпечення, а не на створення апаратної частини контролера.

На рис. 3.2 показана структура приводу змінного струму з векторним керуванням. В якості виконавчого двигуна може застосовуватися або синхронний двигун з активним магнітоелектричним ротором, або синхронний реактивний двигун. Можливе використання цієї структури і для керування трифазними вентильно-індукторного двигунами з різнополярним живленням, а також кроковими двигунами в режимі безколекторних двигунів постійного струму. [47]

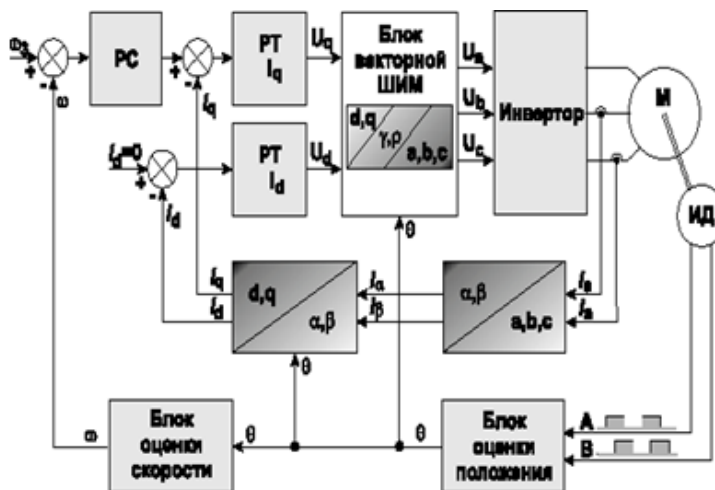


Рис. 3.2 – Структурна схема приводу змінного струму з векторним керуванням

В якості силового перетворювача використовується інвертор на IGBT-ключах або інтелектуальних силових модулях. Драйвери ключів інвертора підключені безпосередньо до виходів ШІМ-генератора мікроконтролера (А, А /, В, В /, С, С /), що працює в режимі широтно-імпульсної модуляції базових векторів (векторної ШІМ-модуляції), що забезпечує максимально високу ступінь використання напруги ланки постійного струму і мінімізацію динамічних втрат в інвертор (нижче більш докладно). [36]

Будова на рисунку 3.2 показує застосування положення датчиків імпульсних роторів в середині двигуна. Вводяться значення з датчика саме в контроллер і проходять обробку у блоці оцінювання положення, саме тому він має бути побудований на базі спеціально підготовленим периферійним обладнанням таймеру із "квадратурним" режимами виконання робочих параметрів. Коди



механічного стану розташування ротора програмою буде перетворюватись в коди електричних станів ротора в середині полюсного ділення механізму  $q$ . Щоб було виконання оцінювання блоків швидкості також можна використовувати чи периферійні спеціалізовані облаштування мікроконтролера, механізм принцип дії якого ґрунтований на вимірі тимчасового проміжку відрізку маршруту (естиматори, швидкість), чи периферійні облаштування загального значення, і також такі як процесорні системи подій чи менеджер подій. [52]

Тому останній випадок таймеру, працюючий в "квадратурному" стані є стандартним для одного з каналів де вони порівнюються.

Одразу після того коли двигун проходить задану частину маршруту, виникає переривання по порівнянню .

Процедура виконання данного розривання, головний логічний пристрій буде розраховувати на часовому інтервалі через настання попередніх переривань і зробить розрахунки діючої швидкості  $\omega$ .

Бажано, щоб таймер, працюючий в "квадратурному" режимі допускав початкову ініціалізацію відповідно до числа міток на оборот імпульсного датчика положення, а також мав режим автоматичної корекції свого стану по реперному датчику. Естиматор швидкості має працювати із регульованим дозволом як по числу імпульсів на періоді виміру швидкості (від 1 до 255), так і з регульованим дозволом за часом (максимальний дозвіл 50 – 100 нс при діапазоні регулювання дозволу 1:128).

Якщо перелічені вище вимоги до периферійних облаштувань мікроконтролера будуть виконані, то виявиться можливим вимір швидкості в діапазоні, як мінімум, 1: 20000 з точністю, не гірше 0,1%. [37]

Щоб виміряти електричні змінні мікроконтролера потрібно мати вбудований АЦП з дозволом не менше 10-12 двійкових розрядів і часом перетворення не довше 5-10 мкс. Як зазвичай, вісім каналів АЦП досить для отримання не лише сигналів зворотних зв'язків по струмах фаз (рисунок 3), а і

сигналу зворотних зв'язків по напрузі і струму в ланцюзі постійного струму, а також зовнішніх задаючих сигналів.[28]

Різні додаткові аналогові сигнали використовуються для реалізації захисту інвертора і двигуна. Робота АЦП зможе бути продуктивнішою, якщо мікроконтролер надаватиме режим автоматичного сканування і запуску процесу перетворення. Загалом це робиться або за допомогою додаткового периферійного облаштування процесора периферійних транзакцій, або з допомогою режимів автозапуску АЦП від процесора подій або генератора ШІМ-сигналів. Потрібно, щоб вибірка як найменше з двох аналогових сигналів була одночасною.

Тому, на базі отриманої інформації про струми фаз  $i_a$  і  $i_b$  відновлюється значення струму у фазі 3 ( $i_c$ ) і робляться перетворення струмів до сталої системи координат, пов'язаної із статором ( $a, b, c \rightarrow a, b$ ). Перехід від сталої системи координат до рухливої, пов'язаної з поточним положенням ротора ( $a, b \rightarrow d, q$ ), дає можливість розрахувати, компоненти результуючого вектору струму статора по осях  $d$  і  $q$  відповідно. [20]

Відомо, що момент синхронного двигуна зі збудженням від постійних магнітів відповідає прямо пропорційній складовій вектору струму статора по поперечній осі  $q$ . Щоб мінімізувати загальне споживання двигуном струму треба підтримувати струм по подовжній осі  $d$  рівним нулю. Саме так, вихід регулятора швидкості приводу (РС) треба ввімкнути на вхід регулятора струму по поперечній осі ( $P_T i_q$ ) а на вхід регулятора струму за подовжньою віссю ( $P_T i_d$ ) встановити нульове завдання (рисунок 3). Частіше всього регулятор швидкості і струму є пропорційно інтегральним.

В системі вхідні сигнали регуляторів струму пропорційні елементам результуючого вектору напруги статора по осях  $d$  і  $q$ .

В структурі блоків векторної ШІМ-модуляції буде зроблено спочатку перетворення полярної системи координат ( $g, r$ ) зв'язаної з подовжньою віссю ротора, а після, з розрахунку поточного положення ротора, і буде знайдено робочий сектор, внутрішньо секторний кут і одразу розраховуються складові базових

векторів в абсолютній системі координат, угодженої зі статором. Формується напруга, що прикладається до обмоткам двигуна  $U_a$ ,  $U_b$ ,  $U_c$ . [19]

Усі перелічені вище перетворення координат (прямі і зворотні перетворення Парку і Кларка) повинні виконуватися в реальному часі. Бажано, щоб використовуваний для реалізації системи векторного управління мікроконтролер мав вбудовану бібліотеку функцій, адаптованих для ефективного управління двигунами, у тому числі функцій перетворення координат. Час реалізації кожної з цих функцій не повинен перевищувати декількох мікросекунд. [45]

Відмітною особливістю системи векторного управління асинхронними двигунами є необхідність використання додаткового обчислювального блоку, в якому робиться оцінка поточного кутового положення вектору потягосцеплення ротора. Це робиться на основі рішення в реальному часі системи диференціальних рівнянь, складених відповідно до математичної моделі двигуна. Природно, що подібна операція вимагає додаткових обчислювальних ресурсів центрального процесора.

### **3.2 Системи управління двигунами і вимоги до мікроконтролерів**

Розглянута вище структура системи управління забезпечує автоматичне формування у фазах двигуна синусоїдальних струмів і напруги при роботі виконавчого двигуна в режимі безколекторного двигуна постійного струму з оптимальним кутом комутації і мінімізацією пульсацій електромагнітного моменту. У ряді застосувань, наприклад, для приводів з вентиляно-індукторними і безколекторними двигунами постійного струму, цілком достатньо на інтервалі комутації підтримувати в обмотці двигуна заданий фіксований рівень струму. Структура системи управління при цьому помітно спрощується.

Способи реалізації широко-імпульсної модуляції базових векторів

Більшість перетворювачів частоти, що випускаються сьогодні, для регулювання швидкості обертання трьохфазних двигунів забезпечують управління інвертором напруги в режимі синусоїдальної центрованої (симетричної) широко-імпульсної модуляції. [41]

Суть методу полягає в одночасному управлінні на заданій частоті (зазвичай 10-20 кГц), що несе, відразу усіма шістьма ключами інвертора таким чином, що в середніх точках кожної стойки інвертора формуються хвилі синусоїдальної вихідної напруги  $U_1, U_2, U_3$ , зрушені один відносно одного на 120 електричних градусів. При цьому верхній і нижній ключі завжди комутуються в протифазі і максимальна амплітуда вихідного сигналу дорівнює половині напруги на ланці постійного струму  $U_{dc}/2$ . Якщо для формування напруги  $U_{dc}$  використати стандартний некерований випрямляч, то двигун виявиться недовикористаним по напрузі приблизно на 15%. [34]

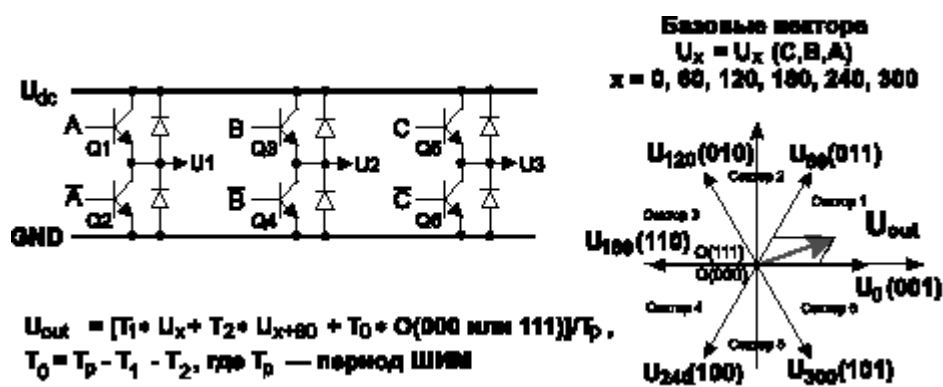


Рис. 3.3 – ШІМ-модуляція базових векторів

Для того, щоб забезпечити номінальні параметри виконавчого двигуна, розробники були вимушені йти на спотворення форми вихідної напруги в зоні частот, близьких до номінальної, тобто переходити від синусоїдальної форми вихідної напруги до трапецеїдальної (у межі до прямокутної). Очевидно, що таке рішення влаштовувало далеко не усіх споживачів, і роботи по пошуку досконаліших методів управління тривали. Теорія цього питання активно розвивалася зарубіжними і вітчизняними ученими упродовж більш ніж 10 років. Сьогодні ми можемо констатувати, що усі теоретичні питання вирішені і, більше того, апаратно підтримані в конструкціях вбудованих ШІМ-генераторів ряду спеціалізованих мікроконтролерів серії Motor Control. [50]

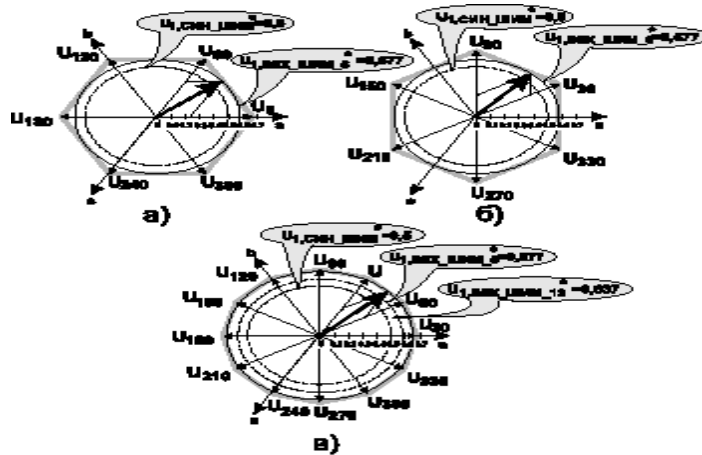


Рис.3.4 – Порівняльний аналіз різних методів ШІМ-модуляції базових векторів

Суть методу, що дістав назву широко-імпульсної модуляції базових векторів (векторній ШІМ-модуляції), полягає у відмові від одночасної комутації усіх ключів інвертора і в переході до комутації між декількома, заздалегідь вибраними станами інвертора, кожне з яких відповідає певному просторовому положенню вектору результуючої напруги, прикладеної до двигуна. У таблиці показані схеми включення силових ключів і векторні діаграми для найчастіше використовуваного набору базових векторів, що відповідає стандартній 6-тактной комутації 1; 0,5; 0,5 (верхній ключ, два нижніх або два верхніх, нижній).

Маючи вісім базових векторів, два з яких "нульові", а інші зрушені в просторі на 60 електричних градусів (рис 3.4), можна відтворити будь-який необхідний вектор вихідної напруги шляхом перемикавання на періоді ШІМ між двома базовими векторами поточного сектора  $U_x$  і  $U_{x+60}$  і нульовими векторами  $O(000)$  і  $O(111)$ .

Амплітуда і фаза результуючого вектору напруги залежать виключно від шпаруватості включення базових векторів. Як показано на мал. ба, в граничному випадку, коли нульові вектору не використовуються, годограф вектору результуючої напруги є шестикутником, описаним навколо базових векторів. З урахуванням того, що амплітуда базового вектору складає  $2/3 U_{dc}$ , можливе формування кругового годографа вектору результуючої напруги с амплітудою

0,577  $U_{dc}$ , що на 15% більше амплітуди вихідної напруги для випадку класичною синусоїдальною центрованою ШІМ. [49]

Таблиця 3.1

**Схеми включення і векторні діаграми для інвертора в режимі ШІМ-модуляції базових векторів**

Базовий вектор		Схема включення і векторна діаграма			Фазні напруги ( $U_{\phi} / U_{dc}$ )		
Назва	Код				$U_c$	$U_b$	$U_a$
	C	B	A				
O(000)	0	0	0		0	0	0
$U_0(001)$	0	0	1		-1/3	-1/3	+ (2/3)
$U_{60}(011)$	0	1	1		-2/3	+1/3	+1/3
$U_{120}(010)$	0	1	0		-1/3	+2/3	-1/3
$U_{180}(110)$	1	1	0		+1/3	+1/3	-2/3
$U_{240}(100)$	1	0	0		+2/3	-1/3	-1/3
$U_{300}(101)$	1	0	1		+1/3	-2/3	+1/3
O(111)	1	1	1		0	0	0

Існують і інші варіанти вибору базових векторів. Так, використання векторів, фаз двигуна, що відповідають парній реверсивній комутації, забезпечує ту ж саму максимальну амплітуду вектору результуючої напруги, а перехід до базових векторів, що відповідають 12-тактної комутації, дозволяє збільшити вихідну напругу інвертора вже на 27%.

Ідея реалізації векторної ШІМ-модуляції на базі стандартної центрованою ШІМ показана на рис 3.5. Використовується двопрхідна комутація з перемиканням базових векторів на періоді ШІМ в послідовності: О (000), m, m 1, О (111), m 1, m, О (111). Метод може бути реалізований у більшості вбудованих ШІМ-генераторів сучасних мікроконтролерів серії Motor Control, проте має істотний недолік необхідність програмної корекції впливу "мертвого" часу в зоні вихідної напруги, близької до максимального. Крім того, розрахунок компонент результуючого вектору в усіх звичайних мікроконтролерах, окрім DSP-мікроконтролерів, вимагає значних ресурсів центрального процесора. Це може привести до неможливості реалізації векторної ШІМ-модуляції на високих частотах тієї, що несе (10-20 кГц). [16]

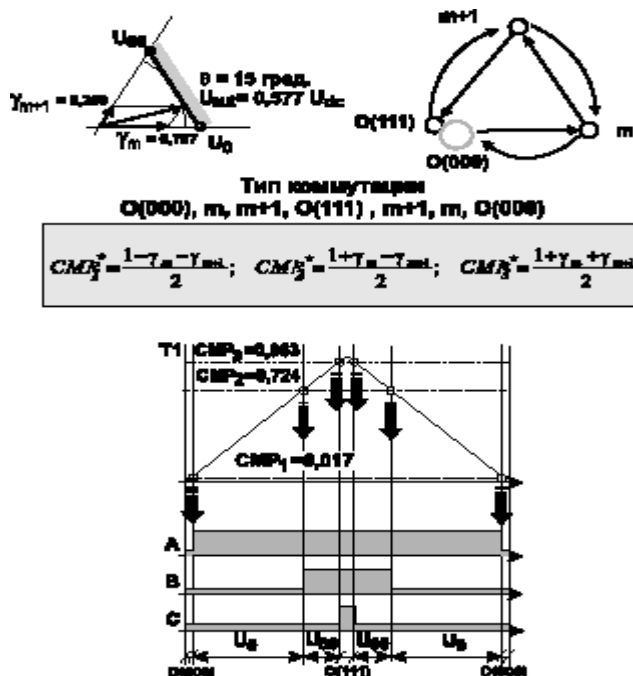


Рис. 3.5 – Реалізація векторної ШІМ-модуляції на базі стандартної центрованої ШІМ

Другий спосіб реалізації векторної ШІМ полягає у використанні двох каналів повного порівняння і послідовного автомата, що управляє, оброблювального події по порівнянню. Автомат працює по двох різних алгоритмах, залежно від вибраного користувачем початкового напрямку перемикавання базових векторів :  $(m, m-1)$  або  $(m-1, m)$ . Один з алгоритмів наступний:

- встановити на початку періоду ШІМ стан інвертора  $U_m$ ;
- при першому порівнянні перевести інвертор в стан  $U_{m-1}$ ;
- при другому порівнянні перевести інвертор в одно з нульових станів Про (000) або О (111), код якого відрізняється від коду попереднього стану інвертора лише одним розрядом;
- при третьому порівнянні відновити попередній стан  $U_{m-1}$ ;
- при четвертому порівнянні відновити початковий стан інвертора  $U_m$ .

Другий алгоритм відрізняється тільки порядком перебору базових векторів. Головна відмінність між алгоритмами полягає в тому, до верхньої або нижньої шини ланки постійного струму забезпечується "глухе" підключення однієї з фаз на періоді ШІМ (що краще, залежить від типу використовуваних при побудові інвертора драйверів). Для виключення додаткових перемикань на стиках секторів порядок перемикавання базових векторів необхідно міняти при кожній зміні сектора.

Однією з найважливіших переваг методу є зменшення числа перемикань на періоді ШІМ з 6-и до 4-х і скорочення на 30% динамічних втрат в ключових елементах інвертора.

Розглянутий метод реалізації векторної ШІМ використовує фірма Texas Instruments в нових мікроконтролерах для управління двигунами серії TMS320x24x. Додатковий послідовний автомат, що управляє, включений при цьому до складу ШІМ-генератора. [18]

Деякі фірми, наприклад, Analog Devices, йдуть по іншому шляху, суть якого полягає в межах просування стандартних вихідних сигналів центрованої ШІМ



Це дозволяє реалізувати усе різноманіття варіантів управління. Крім того, з'являється додаткова можливість підтримки складніших методів векторної ШІМ, ґрунтованих на використанні шести додаткових базових векторів. При цьому особливе значення придбаває вбудований до складу генератора періодичних сигналів блок управління виходами, дозволяючий індивідуально управляти виходами, аж до відключення будь-якого ключа або цілої стойки. [30]

На закінчення відмітимо, що, незважаючи на серйозну апаратну підтримку методів векторної ШІМ, що з'явилася в новітніх мікроконтролерах, роботи у програмістів не зменшилося. Вони як і раніше повинні забезпечити в реальному часі : розрахунок номера базового сектора і внутрішньосекторного кута; визначення складових базових векторів і перепрограмування ШІМ-генератора; корекцію впливу "мертвого" часу і втрат напруги на силових ключах; корекцію зміни напруги на ланці постійного струму. Перераховані завдання є вирішуваними, що дає упевненість в можливості швидкої розробки нового покоління перспективних цифрових систем управління приводами. [31]

Дуже важливо не упускати економічну складову розробки нових цифрових систем, адже здешевлення масового виробництва і дасть ключ до успіху на світових ринках. Широко впроваджуючи системи автоматизації нового покоління, людство зможе вивести економіку світу на новий рівень, що в свою чергу покращить рівень життя людей і дасть поштовх до нових відкриттів у різних сферах життя і пізнання всесвіту.

Але в сучасних рамках глобалізації один суб'єкт господарства не зможе розроблювати передові технологічні рішення не будучи в кооперації з іншими, саме тому потрібно вчитися працювати разом і поважати суверенітет та права кожного.

## ВИСНОВКИ

1. Метою даної роботи було вивчення роботи комп'ютеризованої системи управління кроковим двигуном. Які є недоліки та переваги самих крокових двигунів. Область застосування даної системи. Крокові двигуни завдяки простоті й невисокої вартості поширені у верстатах ЧПУ, координатних столах, робототехніці, при автоматизації технологічних процесів - в пристроях подачі, дозування, зварювальних автоматах. Крокові двигуни поширені у верстатах з ЧПК і координатних столах.

2. Основний принцип роботи крокового двигуна полягає в наступному – двополюсний ротор електродвигуна, зроблений зі спеціальної магнітомяккої сталі розташовується в чотириполіусним статорі. Перша полюсна пара зроблена з магнітів (постійних), на другій парі – є обмотка управління кроковим електродвигуном. У той час, коли струм в обмотках управління відсутня, ротор двигуна розташовується уздовж магнітів і стабільно утримується з деяким зусиллям (залежне від сили магнітного потоку).

3. Ефективність енергозберігаючих технологій значною мірою визначається ефективністю електроприводу. Розробка високопродуктивних, компактних і економічних систем приводу є пріоритетним напрямом розвитку сучасної техніки.

4. Перспективні системи управління електроприводами розробляються з орієнтацією на комплексну автоматизацію технологічних процесів і погоджену роботу декількох приводів у складі промислової мережі. Управління мережею бере на себе промконтролер або керуюча ЕОМ. Найбільш перспективні типи інтерфейсів: RS - 485 і CAN.

5. Основні витрати при розробці систем управління приводами доводяться не на створення апаратної частини контролера, а на розробку алгоритмічного і програмного забезпечення. Тому роль фахівців в області теорії електроприводу істотно зростає.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андреев В.П., Сабінін Ю.А. Основи електроприводу. - М .; Л .: Госенергоіздат, 1963.
2. Андрющенко В.А., Ломов В.С. Електронні і напівпровідникові пристрої слідкуючого приводу / Под ред. В.С. Ломова. М .: Машинобудування, 1967.
3. Анхімюк В.Л., Опейко О.Ф. Проектування систем автоматичного управління електроприводами. Мінськ: Вишешая школа, 1986.
4. Арменській Є.В., Фалк Г.Б. Електричні мікромашини. - М .: Вища. шк., 1985. Баляндрасників В.А. та ін. Беконтактные двигуни постійного струму з постійними магнітами / В.А. Баляндрасників, В.М. Грідін, В.К. Лозенко. - М .: Енергія, 1975..
5. Башарин А.В., Голубев Ф.Н., Кепперман В.Г. Приклади розрахунків автоматизованого електроприводу. М .; Л .: Енергія, 1964.
6. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовський Г.Г. Управління електроприводами. Л .: Енергоіздат, 1982.
7. Башарин А.В., Постніков Ю.В. Моделювання та розрахунок систем керування електроприводами на ЦВМ. Л .: ЛЕТІ, 1984.
8. Борців Ю.А., Соколовський Г.Г. Тиристорні системи електроприводу з пружними зв'язками. Л .: Енергія 1979.
9. Буль Б.К. та ін. Основи теорії електричних апаратів. - М .: Вища. шк., 1970.
10. Васін В.М. Електричний привід. - М .: Вища школа, 1984.
11. Виноградов Н.В., Горяїнов Ф.А., Сергеев П.С. Проектування електричних машин. М., 1969.
12. Волков Н.І., Миловзоров В.Н. Електромашинні пристрої автоматики. - М .: Вища. шк., 1986.
13. Оченята Т.А. Напівпровідникові перетворювачі в електроприводах постійного струму. Л .: Енергія, 1973.

14. Грязнов Н.М. Трансформатори та дроселі в імпульсних пристроях. - М.: Радио и связь, 1986.
15. Зімін Е.Н., Кацевич В.Л., Козирєв С.К. Електроприводи постійного струму з вентильними перетворювачами. М.: Енергоіздат, 1981.
16. Зімін Е.Н., Яковлєв В.І. Автоматичне управління електроприводами. М.: Вища школа, 1979.
17. Івоботенко Б.А., Луценко В.Є., Голіашвілі Е.С. Двокоординатні електродвигуни поступального переміщення (ДПШД) // Тр. МЕІ. - 1976. - Вип. 285. - С. 69-73.
18. Іжеля Г.І., Ребров С.А., Шаповаленко А.Г. Лінійні асинхронні двигуни. - К.: Техніка, 1975.
19. Випробування електричних мікромашин / Астахов Н.В., Крайз Б.Л., Лопухіна Е.М. та ін. - М., 1973.
20. Каасик П.Ю., Несговорова Е.Д. Керовані асинхронні двигуни. Л., 1965.
21. Карпенко Б.К., Ларченко В.І., Прокоф'єв Ю.А. Крокові електродвигуни. - К.: Техніка, 1972.
22. Кацман М.М. Керівництво до лабораторних робіт по електричним машинам і електроприводу. - М.: Вища школа, 1983.
23. Кацман М.М. Електричні машини і трансформатори. - М., ч. I, 1976; ч. II, 1976.
24. Кацман М.М. Електричні машини і електропривод автоматичних пристроїв: Учеб. для електротехн. спец. технікумів - М.: Вища. шк., 1987.
25. Кеніо Т. Крокові двигуни та мікропроцесорні системи управління. - М.: Мир, 1987.
26. Козаченко В.Ф. Микроконтроллеры: Руководство по применению 16-разрядных микроконтроллеров Intel MCS-196/296 во встроенных системах управления. М.:Эком. 1997. 688 с.
27. Козаченко В.Ф., Грибачев С.А. Новые микроконтроллеры фирмы Texas Instrumenst TMS32x24x для высокопроизводительных встроенных систем управления электроприводами// CHIP NEWS. 1998. № 11-12. С. 2-6.

28. В.Козаченко, А.Соловьев. Новые DSP-микроконтроллеры фирмы Analog Devices ADMC300/330 для высокопроизводительных систем векторного управления электроприводами переменного тока// CHIP NEWS. 1998. № 5. С. 16-21.
29. Костенко М.П., Піотровський Л.М. Електричні машини: Підручник для вузів. - 3-е изд. Л.: Енергія, 1973.
30. Межлумян Л. Цифровий генератор аналогових сигналів. – Радіо. 1994, № 10, з-34
31. Мелкозеров П.С. Приводи в системах автоматичного управління. М.; Л.: Енергія, 1966.
32. Москаленко В.В. Сучасні системи автоматизованого електроприводу. - М.: Вища школа, 1980.
33. Осін І.Л., Колесніков В.П., Юферов Ф.М. Синхронні мікродвигуни з постійними магнітами. М., 1976.
34. Петров Г.М. Електричні машини. М., 1974 год. I; 1963 ч. II; 1968 год. III.
35. Підлісний Н.І., Рубанов В.Г. Елементи систем автоматичного управління і контролю. - К.: Вища. шк., 1992.
36. Псурцев В., Федоров М. Цифровий синтез аналогового сигналу. – Радіо, 1994. № 2, с. 37.
37. Подліпенській В.С., Петренко В.М. Електромагнітні і електромашинні пристрої автоматики. - К.: Вища. шк., 1987.
38. Подліпенській В.С., Сабінін Ю.А., Юрчук Л.Ю. Елементи і пристрої автоматики. - Санкт-Пет-г.: Політехніка, 1995.
39. Постніков І.М. Проектування електричних машин. Київ, 1960.
40. Потапов Л.А., Юферов Ф.М. Вимірювання обертових моментів і швидкостей обертання мікроелектродвигунів. М., 1974.
41. Рудаков В.В. Динаміка електроприводів з зворотними зв'язками. Л.: ЛГМ, 1980.

42. Рудаков В.В. Електромашинні підсилювачі в системах автоматики. М .; Л .: Госенергоіздат, 1961.
43. Сабінін Ю.А. Електромашинні пристрої автоматики. - Л .: Вища школа, 1988.
44. Сабінін Ю.А., Вантажів В.Л. Частотно-регульовані асинхронні електроприводи. Л .: Вища школа, 1985.
45. Сабінін Ю.А., Кулешов В.І., Шмирьова М.М. Автономні дискретні електроприводи з силовими кроковими двигунами. Л .: Енергія, 1980.
46. Сандлер А.С., сарбат Р.С. Автоматичне частотне управління асинхронними двигунами. М .: Енергія, 1974.
47. Збірник завдань і вправ з теоретичних питань електротехніки / Под ред. П.А. Іонкін. - М .: Енергоіздат, 1982.
48. Свечарнік Д.В. Лінійний електропривод. - М .: Енергія, 1976. - 153 с.
49. Системи управління промисловими роботами і маніпуляторами / Відп. ред. проф. Є.І. Юревич. - Л .: Видавництво Ленінградського Державного Університету, 1980.
50. Слежановській О.В. Реверсивний електропривод постійного струму. М .: Металургія, 1967.
51. Спеціальні електричні машини / А.І. Бертін, Д.А. Брут, С.Р. Мізюрін і ін .; Під ред. А.І. Бертінова. - М .: Енергоіздат, 1982.
52. Довідник з автоматизованого електроприводу / Под ред. В.А. Єлісеєва і А.В. Шінянського. М .: Вища школа, 1983.
53. Теоретичні основи електротехніки. Т.2. Нелінійні ланцюги і основи теорії електромагнітного поля / Под ред. П.А. Іонкін. - М .: Вища. шк., 1976.