

ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

6.1. Датчики положення

Всі датчики, в тому числі і датчики положення, перетворюють контрольовану величину у вихідний електричний сигнал для подальшого вимірювання та перетворення. Перетворення, як правило, включає у себе: нормування вихідного сигналу, усунення перешкод, компенсацію коливань нульової точки.

По виду вихідної величини розрізняють параметричні й генераторні датчики.

У параметричних датчиках контрольована величина перетворюється в зміни таких параметрів як активний опір, індуктивність або ємність. Параметричні датчики потребують джерело живлення для виявлення зміни контрольованої величини.

У генераторних датчиках зміни контрольованої величини перетворюються у зміну ЕРС на виході датчика, а це не вимагає окремого джерела живлення.

Одним з найбільш поширених методів вимірювання переміщення і кута повороту, який використовується у різних системах автоматики, є *потенціометричний* метод.

Зміна опору досягається зміною рухомої щітки. Деякі варіанти схем потенціометричних датчиків наведені на рис. 6.1.

Регульований резистор R_p виконується з дроту, шару напівпровідника, металевої плівки.

Характеристики датчиків залежно від того як вони включені реостатом або потенціометром виражаються залежностями $R(x)$ або $U(x)$, де R - вихідний опір, U - вихідна напруга, x - зміна щітки.

Потенціометри у залежності від типу руху можуть бути лінійними або кутовими.

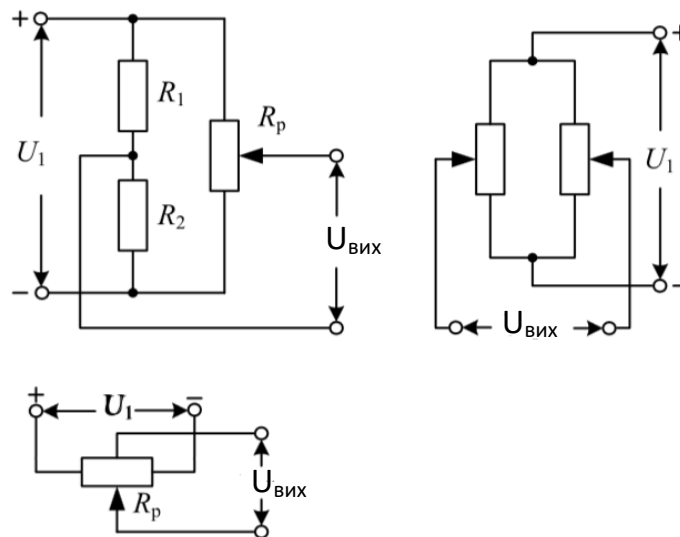


Рис. 6.1. Схеми потенціометричних датчиків

При *індуктивному* методі вимірювання переміщення використовується явище зміни магнітного поля індуктивності L у результаті руху феромагнітного сердечника.

Найчастіше індуктивні датчики включаються у мостові диференціальні схеми, які забезпечують велику відносну зміну вихідного сигналу і розширення лінійної зони характеристики, ніж інші схеми включення. Схеми включення індуктивних датчиків наводяться на рис. 6.2.

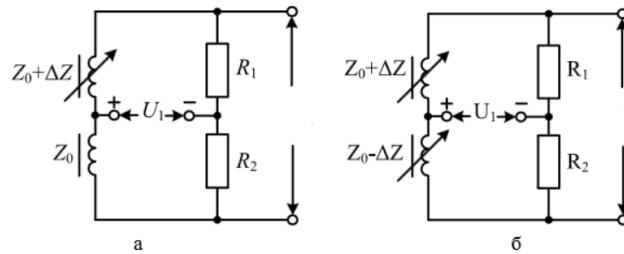


Рис. 6.2. Мостова схема з одним регульованим плечем (а), диференціальна схема (б)

У цих схемах Z_0 - повний опір обмотки датчика в рівноважному стані мосту, ΔZ - зміна опору обмотки датчика в результаті переміщення X , U_1 - напруга джерела живлення.

Вихідна напруга $U_{вих}$ в залежності від переміщення визначається характеристикою, показаною на рис. 6.3.

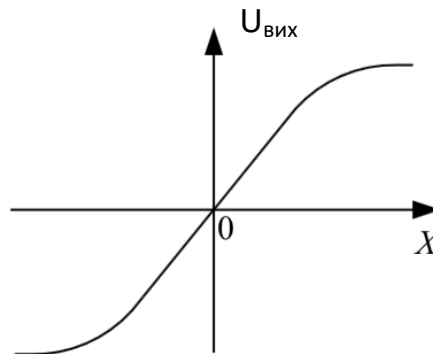


Рис. 6.3. Вихідна характеристика

Індуктивні датчики можуть бути використані для вимірювання кутових і лінійних (до 2 м) переміщень. Похибка цих датчиків обумовлена в основному температурою і зазвичай становить 1-1,5%.

Зазначені датчики вельми різноманітні за конструкцією і широко використовуються у приводах металорізальних верстатів, а також у приводах регулюючих органів ядерних реакторів.

У *ємнісних* датчиках зміна переміщення перетворюється у зміну ємності конденсатора. При цьому може змінитися площа пластин, відстань між ними, може відбуватися заміна одного діелектрика іншим, як показано на рис. 6.4.

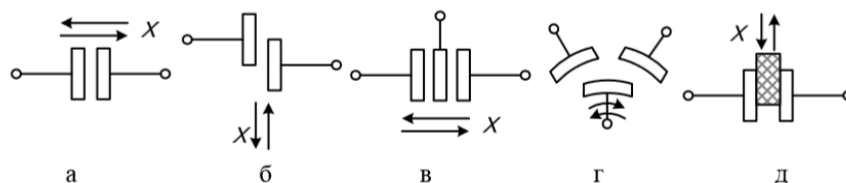


Рис. 6.4. Ємнісні датчики

Для випрямлення характеристики $C(x)$ застосовуються диференціальні датчики (рис. 6.4 в, г).

У різних системах автоматизації сигнал зворотного зв'язку по куту або керуючий сигнал у задаючих пристроях формується за допомогою *сельсина* або *обертового трансформатора*.

Сельсин являє собою мікромашину змінного струму, яка має дві обмотки: однофазну (обмотку збудження) і трифазну (обмотку синхронізації). Схема включення сельсина показана на рис. 6.5.

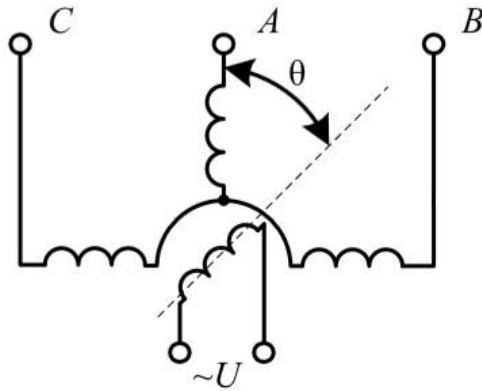


Рис. 6.5. Схема включення сільсина

Кут повороту ротора θ перетвориться в амплітуду або фазу вихідного переміщення. Залежно від використання тієї чи іншої координати розрізняють амплітудний режим, коли $\varphi = const$, а $U_{вих} = f(\theta)$, і режим фазообертача, коли $U_{вих} = const$, $\varphi = f(\theta)$.

В амплітудному режимі обмотки збудження отримують живлення від мережі змінного струму і магнітний потік, що діє по осьовій лінії обмотки збудження, наводить відповідні ЕРС у фазах обмотки сільсина.

Характеристика керування сільсина в амплітудному режимі набуває синусоїдальної залежності як показано на рис. 6.6.

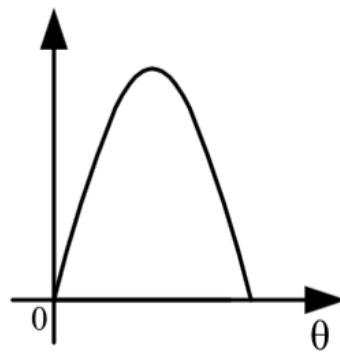


Рис. 6.6. Характеристика керування сільсина

Додатні значення ЕРС відповідають $\varphi = 0$, а від'ємні $\varphi = \pi$. В режимі фазообертача обмотки статора отримують живлення від джерела трифазної напруги з незмінною амплітудою. В обмотці ротора, вісь якої зрушена на кут θ щодо початку відліку, наводиться ЕРС, що має зсув по фазі, який дорівнює φ .

У системах, в яких потрібно більш точне вимірювання кутової координати, замість сільсинів застосовуються синусно-косинусні *обертові трансформатори (резольвери)*. За своєю будовою синусно-косинусні обертові трансформатори (СКОТ) - двофазна мікромашина змінного струму. Неявнополюсний статор і ротор мають по дві взаємно перпендикулярні обмотки. СКОТ, як і сільсин, може працювати у двох режимах: амплітудному і фазообертальному.

Для вимірювання кутів у великих діапазонах і з високою точністю використовується дискретний датчик, вихідний сигнал якого може бути представлений у вигляді двійкового коду (енкодера). До таких датчиків відноситься *фотоелектричний датчик*. Його схема показана на рис. 6.7.

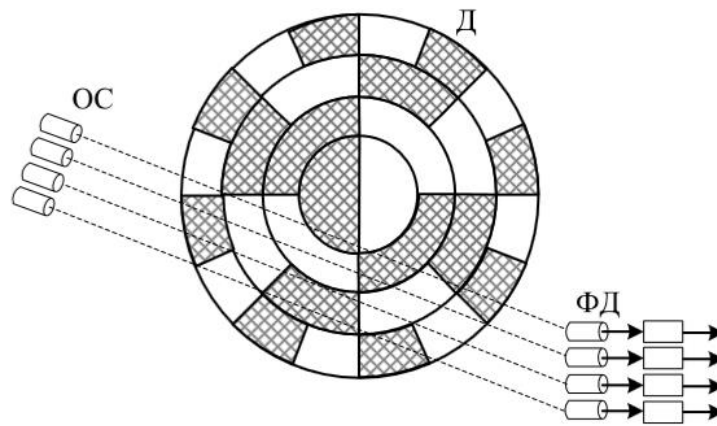


Рис. 6.7. Енкодер

Д - диск; ОС - освітлювачі; ФД - фотодіоди;
РЕ - релейний елемент

Основним елементом фотоелектричного датчика є диск, вал якого з'єднаний з валом механічного пристрою. Диск розділений на кілька полів, кількість яких відповідає кількості двійкових розрядів числа і визначає точність датчика. На рисунку число розрядів дорівнює 4. На практиці використовують 10 розрядів і більше. У свою чергу кожне кільце розділене на ряд прозорих і непрозорих частин. Внутрішнє кільце відповідає старшому розряду і розділене на дві частини. Зовнішнє кільце розділене на вісім частин і відповідає молодшому розряду.

Освітлювачі, які можуть бути будь-якого типу, в тому числі і світлодіоди, дають вузькі паралельні пучки світла, спрямовані на фотодіоди. Напруга з фотодіодів надходить на релейні елементи і на їх виході формується напруга логічної 1 або 0. Таким чином, кожному куту повороту диска відповідає свій код.

6.2. Датчики швидкості

Для вимірювання швидкості можна використовувати методи і датчики, що дозволяють визначати кутове або лінійне переміщення описані в п. 6.1. При цьому для підвищення перешкодозахищеності в ряді випадків здійснюється чисельне диференціювання сигналу пройденого шляху, засноване на вимірюванні збільшення шляху на деякому часовому інтервалі.

У той же час, використання закону електромагнітної індукції дозволяє за допомогою тахогенераторів вимірювати кутову швидкість безпосередньо, без додаткових перетворень. *Тахогенератор* - це електрична машина малої потужності, що виробляє електричний сигнал пропорційний кутовій швидкості ротора.

До всіх типів тахогенераторів ставляться такі вимоги:

- лінійність залежності ЕРС тахогенератора від швидкості;
- мінімальність пульсацій вихідної напруги;
- малий момент інерції і момент тертя.

Тахогенератори постійного струму можуть бути з незалежним збудженням або зі збудженням від постійних магнітів (рис. 6.8).

Тахогенератори постійного струму розрізняють не тільки величину, але напрямком швидкості, і тому знаходять застосування у реверсивних і неревверсивних системах.

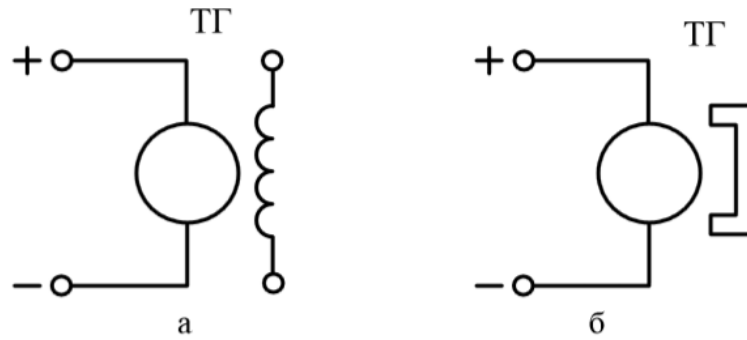


Рис. 6.8. Схеми включення тахогенератора

а - з незалежним збудженням; б - з постійними магнітами

Тахогенератори змінного струму виконані на базі асинхронної двофазної машини. На статорі машини є дві взаємно перпендикулярні обмотки: обмотка збудження, розташована по осі α (фаза α) і вихідна обмотка, розташована по осі β (фаза β), включена на опір навантаження Z_H , як показано на рис. 6.9.

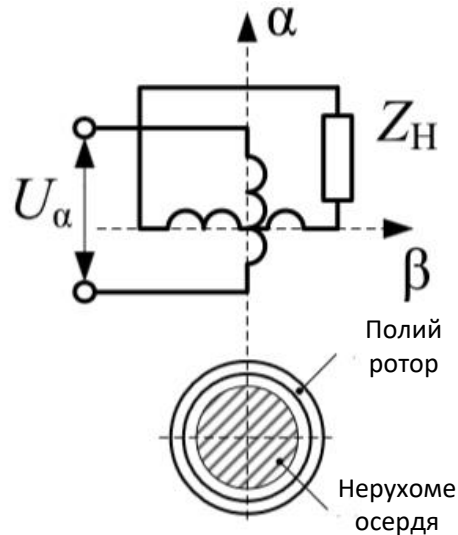


Рис. 6.9. Тахогенератор змінного струму

Для зменшення моменту інерції ротор виконують тонкостінним у вигляді порожнього стакана з немагнітного матеріалу (зазвичай алюмінієвого сплаву). Всередині ротора розміщується нерухомий сталевий шихтоване осердя, по якому замикається магнітний потік.

Амплітудна характеристика асинхронного тахогенератора приведена на рис. 6.10.

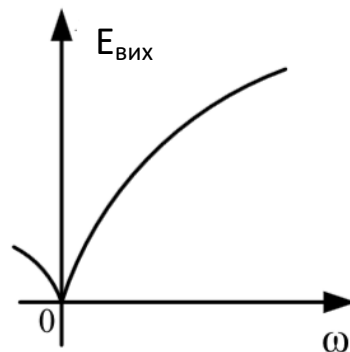


Рис. 6.10. Амплітудна характеристика

Спотворення даної характеристики обумовлено опором навантаження. Тому на

практиці використовують режим близький до холостого ходу. Для реалізації такого режиму тахогенератор з'єднують з навантаженням через емітерний повторювач, що характеризується високим вхідним опором.

Смуга пропускання асинхронного тахогенератора обмежена частотою напруги мережі живлення. Тому для швидкодіючих систем застосовують підвищену частоту (400 Гц і вище).

У сучасних системах з великим діапазоном регулювання швидкості і високими вимогами стабілізації і точності, використовують цифрові датчики швидкості (ЦДШ).

Функціонально ЦДШ містить датчик імпульсів, який перетворює кутову швидкість в імпульси з частотою пропорційною швидкості і лічильник імпульсів, який формує на інтервалі вимірювання цифровий код, який є вихідною величиною.

Датчик імпульсів може бути виконаний на основі індукції тосина або фотоелектричного кодового диска. У будь-якому випадку датчик імпульсів виробляє дві серії імпульсів, зрушених по фазі на $\pi/2$, які використовуються для визначення, як величини швидкості, так і її знака. Частота проходження імпульсів f знаходиться як:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} N,$$

де ω - кутова швидкість, N - число імпульсів (роздільна здатність датчика).

Формування цифрового коду на виході датчика швидкості за допомогою лічильника може виконуватися двояко. У першому випадку на заданому періоді вимірювання лічильник рахує число імпульсів, які характеризують середнє значення швидкості. У другому випадку формування індуктивного коду полягає у визначенні інтервалу часу між двома імпульсами, шляхом підрахунку числа високочастотних опорних імпульсів, що вміщується на вимірюваному інтервалі.

Розглянуті варіанти забезпечують високу точність вимірювання швидкості, і тим більшу, ніж триваліший період вимірювання.

6.3. Датчики технологічних параметрів

Датчики технологічних параметрів дозволяють отримати інформацію про змінні мехатронної системи, яка бере участь в тому чи іншому технологічному процесі. До цих датчиків можна віднести датчик сили, моменту, температури, маси та інші.

Вимірювання сили полягає у врівноваженні її протидіючою силою таким чином, що тіло, до якого воно прикладено, залишається у спокої, і тоді результуюча сила дорівнює нулю.

Датчик сили містить чутливий елемент, що піддається дії невідомої сили. У цьому елементі виникає деформація, яка породжує протидіючу силу. У зоні пружності деформація, відповідно до закону Гука, пропорційна силі.

У робототехніці, біомеханіці за допомогою датчиків сили вимірюється вага тіла. Ці вимірювання дають можливість визначити масу тіла (об'єкта), що має найважливіше значення, оскільки у ряді випадків дозволяє виключити датчики витрати матеріалу.

Деформація, а, отже, сила може бути виміряна опосередковано, якщо будь-яка з електричних властивостей матеріалу залежить від деформації (наприклад, п'єзоефект).

Явище п'єзоефекту полягає у виникненні (або у зміні) електричної поляризації у деяких діелектриках таких як: кварц, турмалін, сульфат літію, спеціально оброблена кераміка і т.п.

Якщо розташувати пару обкладинок на протилежних сторонах п'єзоелектричної пластини і прикласти до неї силу, то на обкладинках з'являться заряди протилежних знаків, тобто різниця потенціалів, яка буде пропорційна прикладеній силі.

Такий конденсаторний пристрій дозволяє виміряти силу, тиск, прискорення.

За винятком кварцу, відомого своєю стабільністю і твердістю, в датчиках зазвичай використовується кераміка як дешевша, більш зручна в обробці, що володіє досить високою

чутливістю.

Схема формування сигналу з електричним зарядом на вході від п'єзодатчика і пропорційною йому напругою на виході показана на рис. 6.11.

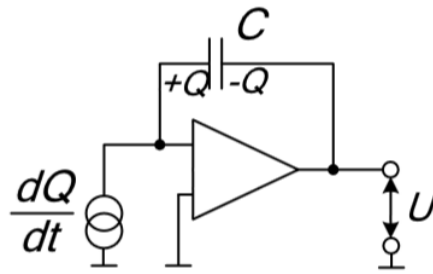


Рис. 6.11. Схема формування сигналу з електричним зарядом на вході від п'єзодатчика

Наявність конденсатора забезпечує повний розряд п'єзодатчика при будь-якому вхідному опорі підсилювача.

Часто на практиці для вимірювання деформації використовуються досить прості *тензодатчики*. Робота тензодатчика заснована на ефекті, при якому електричний провідник з високим питомим опором і малим температурним коефіцієнтом при зміні довжини змінює свій електричний опір.

Тензодатчики наклеюються на поверхню, що деформується так, щоб прямолінійні ділянки провідника розтягувалися або звужувалися відповідно до деформації деталі. Конструкція поширеного тензодатчика спірального типу показана на рис. 6.12. Такі датчики спільно з тензопідсилювачами дозволяють вимірювати малі механічні деформації, що складають кілька мікрон.

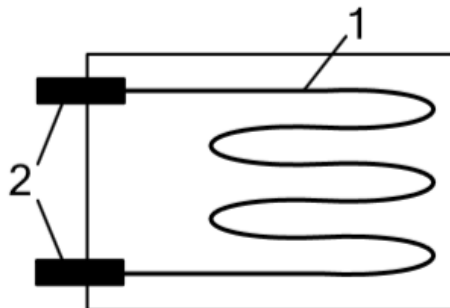


Рис. 6.12. Конструкція тензодатчика
1 - дрова спіраль, 2 - контакти підведення

При вимірюванні моменту, що виникає внаслідок застосування сили до важеля, існує проблема передачі інформації з рухомого датчика в стаціонарний вимірювальний ланцюг. Цей зв'язок може здійснюватися контактним або безконтактним шляхом. При контактному зв'язку застосовуються ковзаючі контакти, або занурені у ртуть обертові контакти. Очевидно, що робочий ресурс таких датчиків обмежений ресурсом контактів. Тому в сучасних системах набув поширення безконтактний зв'язок. В цьому випадку для передачі електричного сигналу використовується ємнісний (обертовий конденсатор) або індуктивний (обертовий трансформатор) зв'язок. Такий датчик складається з передавальної і приймаючої частин. У передавальній частині, для вимірювання моменту, може бути використаний *магнітотрикуційний* вимірювач. Його робота заснована на явищі зміни магнітної проникності μ феромагнітного матеріалу в разі застосування до нього зусилля. Так, наприклад, μ зростає в області розтягування матеріалу і зменшується в області стиснення. Якщо на феромагнітний циліндричний стержень діє момент, вісь якого збігається з віссю стержня, то виникаючі напруги визначають на його поверхні два взаємно перпендикулярних напрямки до осі циліндра, уздовж яких зміна магнітних проникностей μ_1 і μ_2 максимальна і протилежна по знаку. Для виявлення цих змін можна використовувати осердя

хрестоподібної форми, показаний на рис. 6.13.

На осерді розташована первинна обмотка і дві пари з'єднаних послідовно вторинних обмоток, включених диференційно, як показано на рис. 6.14.

Якщо момент відсутній, то $\mu_1 = \mu_2$, $U_2 = 0$. При появі моменту ці умови не виконуються, тобто $\mu_1 \neq \mu_2$, $U_2 \neq 0$.

Більш високу точність вимірювання моменту має датчик, який використовує п'єзоефект або датчики індуктивного типу з вимірюванням кута кручення.

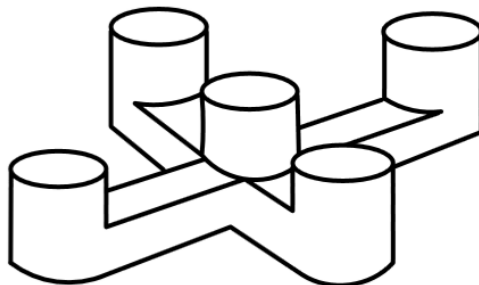


Рис. 6.13. Хрестоподібне осердя

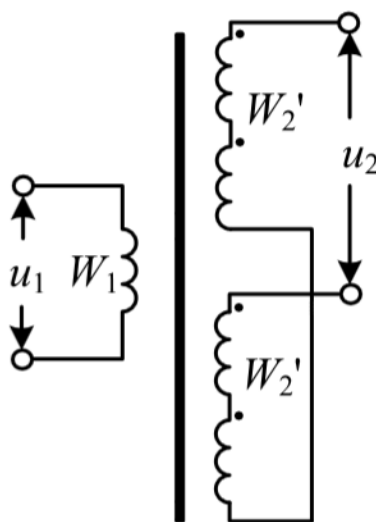


Рис. 6.14. Схема обмоток

Впровадження мікропроцесорної техніки дозволяє перейти від процедури вимірювання до процедури обчислення моменту. Якщо рушійний момент створюється двигуном постійного струму, у якого магнітний потік - величина постійна, то в цьому випадку момент пропорційний струму, який легко визначити за допомогою датчика струму (у найпростішому випадку шунта).

Вимірювання потоку двигуна можливо за допомогою датчиків Холла, які виготовляють з германію, сурм'янистого індію та інших напівпровідникових матеріалів.

Крім того, необхідно відзначити, що момент асинхронного двигуна пропорційний квадрату статорної напруги, тому використовуються датчики напруги (у найпростішому випадку дільник напруги).

Розвиток робототехніки викликав появу тактильних датчиків, що відтворюють чуттєві властивості людської шкіри. Тактильні датчики матричного типу дають цілісне уявлення про форму предмета, оскільки кожна клітинка матриці, є не що інше, як мікроелектронний датчик сили або деформації, що виробляє електричний сигнал, що дозволяє розпізнавати образ. Тактильні датчики на інтегральних схемах із застосуванням кремнію, кварцу і полікристалічної кераміки можуть забезпечити достатньо високий діапазон вимірювань при відносно невеликій вартості.

Найбільш часто вимірюваною фізичною величиною різних технологічних процесів є температура. Температура є найважливішою характеристикою стану речовини. Працездатність будь-якої системи обмежена деяким діапазоном температур.

Для вимірювання температури використовують термодатчики. Їх робота заснована на здатності провідників і напівпровідників змінювати питомий опір під дією температури.

У термодатчиках використовують терморезистори, що представляють собою резистори з явно вираженою залежністю $R(T)$. Зазвичай терморезистори виконуються у вигляді циліндрів, таблеток, намистин, на кінцях яких закріплюються електроди. Як правило напівпровідниками використовують оксиди, сульфіді і нітриди металів.

Температурна характеристика $R(T)$ терморезистора має вигляд, показаний на рис. 6.15.

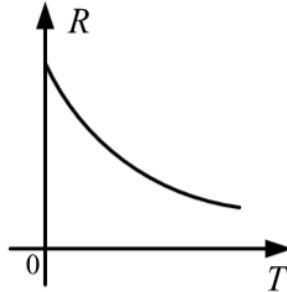


Рис. 6.15. Температурна характеристика $R(T)$ терморезистора

Терморезистори можуть використовуватися у якості датчиків вакууму, швидкості і напрямку потоку рідини або газу, оскільки у залежності від цих параметрів змінюється коефіцієнт тепловіддачі.

6.4. Контрольні питання до розділу 6

1. У чому полягає різниця між параметричними і генераторними типами датчиків?
2. Назвіть особливості амплітудного і фазо обертового режимів роботи сельсина.
3. Що таке резольвер?
4. Що таке розподільча здібність цифрового датчика швидкості або кута повороту?
5. Назвіть основні типи датчиків технологічних параметрів.

РОЗДІЛ 7. ВИКОНАВЧІ ПРИСТРОЇ СМК

7.1. Електродвигуни СМК

Використання в мехатронних системах електродвигунів постійного струму обумовлено такими їх перевагами як: лінійність характеристик, широкий діапазон регулювання швидкості, достатня перевантажувальна здатність, рівномірне обертання на низьких швидкостях.

У свою чергу двигуни постійного струму з постійними магнітами, які за принципом дії не відрізняються від двигунів з електромагнітним збудженням, дозволяють отримати більш високий ККД, менші масогабаритні показники (в області малих потужностей), мають полегшені умови охолодження. Постійний магніт виготовляють з магнітотвердих матеріалів, які мають широку петлю гістерезису. Для отримання постійних магнітів використовують різні сплави на основі заліза, алюмінію, цинку, кобальту і деяких рідкоземельних металів. Найкращими властивостями володіє сплав самарію з кобальтом і празеодимом. Регулювання швидкості двигуна здійснюється шляхом зміни якірної напруги. Сімейство механічних характеристик для різних значень якірної напруги представлено на рис. 7.1.

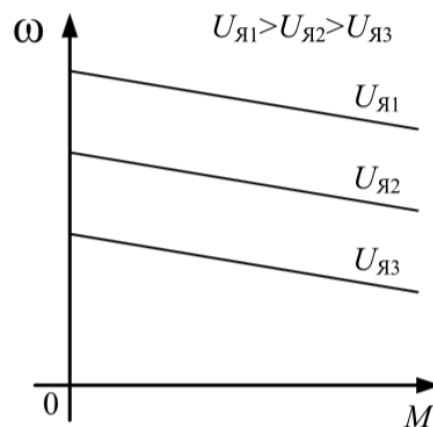


Рис. 7.1. Механічні характеристики

Наявність у двигунах постійного струму колекторно-щіткового вузла, понижуючого надійність систем і збільшуючого витрати на обслуговування, привели до розробки вентильних двигунів.

Вентильний двигун (ВД) містить електронний комутатор (К), який за своїми функціями замінює колектор і щітки двигуна. На статорі вентильного двигуна розташовується трифазна обмотка змінного струму, що живиться через комутатор. Ротор забезпечує збудження двигуна за допомогою постійного магніту (потужності до 30 кВт).

Комутатор за принципом дії є керованим інвертором (КІ), який може живитися безпосередньо від джерела постійного струму (акумуляторна батарея, мережа постійного струму) або від керованого випрямляча (КВ), якщо двигун підключений до мережі змінного струму. У другому випадку комутатор представляє собою перетворювач частоти з ланкою постійного струму.

Керування комутатором виконується за допомогою датчика положення ротора (ДП), що встановлюється на валу двигуна. ДП формує сигнали, що надходять на систему керування (СК). В результаті чого за допомогою статорних обмоток створюється обертове магнітне поле, яке взаємодіє з полем ротора і в результаті виникає синхронізуючий момент. Функціональна схема включення ВД показана на рис. 7.2.

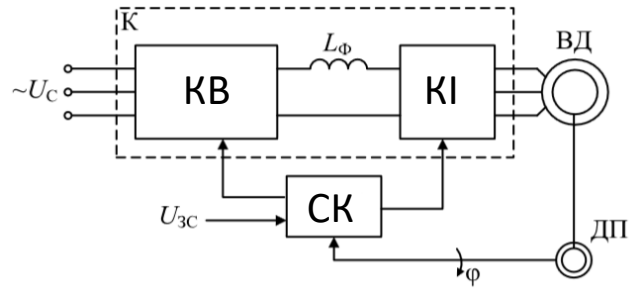


Рис. 7.2. Функціональна схема вентильного двигуна

Регулювання швидкості вентильного двигуна проводиться шляхом зміни задаючого сигналу U_{zc} , внаслідок чого змінюється вихідна напруга УВП і частота струму УІ.

Вентильні двигуни в порівнянні з колекторними мають ряд переваг: більш висока надійність і термін служби; поліпшення теплової характеристики через відсутність теплоелементів у роторі; більш висока швидкість за рахунок меншого моменту інерції ротора, велика перевантажувальна здатність. Така електрична машина з n -фазною обмоткою на статорі і ротором у вигляді постійного магніту є по суті синхронним двигуном.

Відомо, що різновидом синхронного двигуна є кроковий двигун, у якого живлення статорних обмоток здійснюється шляхом подачі імпульсів напруги від джерела постійного струму за допомогою електронного комутатора. При цьому ротор, виконаний у вигляді постійного магніту, під впливом кожного імпульсу здійснює певне кутове переміщення, зване кроком.

Крокові двигуни застосовується у тому випадку, якщо керуючий сигнал заданий у вигляді послідовності імпульсів. Це має місце у приводах роботів, маніпуляторів, верстатів ЧПУ.

Найпростіша двухфазна модель, яка пояснює принцип роботи крокового двигуна показана на рис. 7.3.

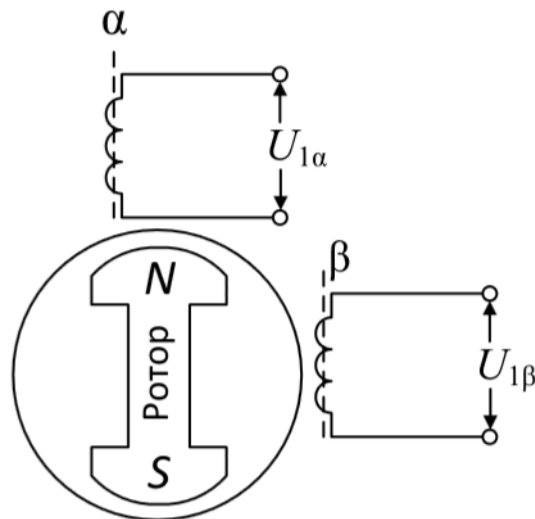


Рис. 7.3. Двофазна модель крокового двигуна

Якщо обмотка статора по осі a підключена до джерела з напругою U_{1a} і в ній протікає постійний струм, а обмотка по осі β відключена, то створюване обмоткою a поле статора буде взаємодіяти з полем ротора, внаслідок чого виникає синхронізуючий момент. Ротор двигуна фіксується у положенні, визначеному вектором поля статора з точністю, яка залежить від навантаження і жорсткості електромагнітної кутової характеристики.

Перемикання обмоток викликає поворот ротора на один крок, якому відповідав би кут $\Delta\varphi_{ш}$. Середня кутова швидкість ротора визначається як:

$$\omega_{cp} = \frac{\Delta\varphi_{ш}}{\Delta t_{ш}} = f\Delta\varphi_{ш},$$

де f - частота проходження імпульсів напруги, що надходять на статорні обмотки.

У мехатронних модулях лінійного руху, які застосовуються у багатоцільових верстатах, комплексах лазерного різання, деяких видах транспорту, використовується лінійний двигун. Основними перевагами лінійного двигуна у порівнянні з традиційним двигуном і передачею типу зубчастої рейки або гвинтової передачі, є у кілька разів більша швидкість руху і прискорення, висока точність руху, жорсткість характеристик. Лінійні двигуни можуть бути асинхронними, синхронними і постійного струму. Найбільшого поширення набули асинхронні двигуни.

Уявлення про роботу лінійного асинхронного двигуна (ЛАД) можна отримати, якщо подумки розрізати вздовж по твірній статор і ротор асинхронного двигуна обертового руху і розгорнути їх у площині, як показано на рис. 7.4.

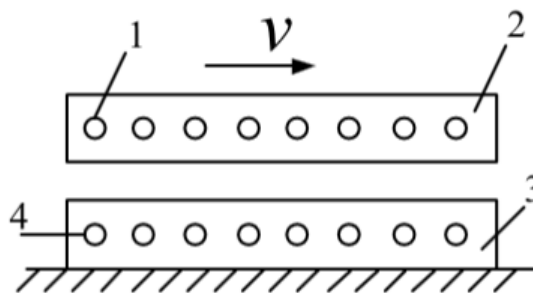


Рис. 7.4. До принципу дії ЛАД

Принцип дії ЛАД аналогічний обертаючому асинхронному двигуну. При підключенні обмотки 4 статора 3 до мережі змінного струму вона створює рухоме магнітне поле з лінійною швидкістю:

$$v = 2\tau f_1,$$

де f_1 - частота напруги живлення, τ - довжина полюсного поділу статора.

Лінійно рухоме магнітне поле наводить в обмотці 1 ротора 2 ЕРС, під дією якої в ній протікає струм.

Взаємодія цього струму з магнітним полем створює на роторі (його називають вторинним елементом) тягове зусилля, під дією якого і буде відбуватися рух.

ЛАД можуть працювати і в оберненому режимі, коли вторинний елемент нерухомий, а переміщається статор. Такі ЛАД зазвичай застосовуються на транспортних засобах, коли в якості вторинного елемента використовується рейка або спеціальна смуга, статор розташований на рухомому засобі.

Для ЛАД, як і звичайного обертового асинхронного двигуна, регулювання швидкості здійснюється шляхом зміни частоти живлячої напруги, а гальмування - динамічне або противключене.

7.2. Силкові перетворювачі СМК

Силкові перетворювачі застосовуються у різних мехатронних модулях руху, в яких перетворення електричної енергії у корисну механічну роботу здійснюють електродвигуни. Двигун спільно з перетворювачем забезпечує регулювання тієї чи іншої координати.

Розглянемо силкові перетворювачі, до яких підключаються електродвигуни. Властивості та основні характеристики цих двигунів викладені в розд. 7.1.

Для електроприводу постійного струму застосовують два типи перетворювачів: перетворювачі напруги змінного струму в постійний (керований випрямляч) і широтно-

імпульсні перетворювачі постійної напруги постійного струму в регульовану напругу постійного струму.

Зазначені перетворювачі мають ряд переваг: високий ККД, незначна інерційність, достатня плавність і достатній діапазон регулювання вихідної напруги, висока надійність.

Схема вентильного перетворювача, який найчастіше зустрічається в різних системах регулювання двигуна постійного струму - трифазна мостова (схема Ларіонова) з керованим випрямлячем показана на рис. 7.5.

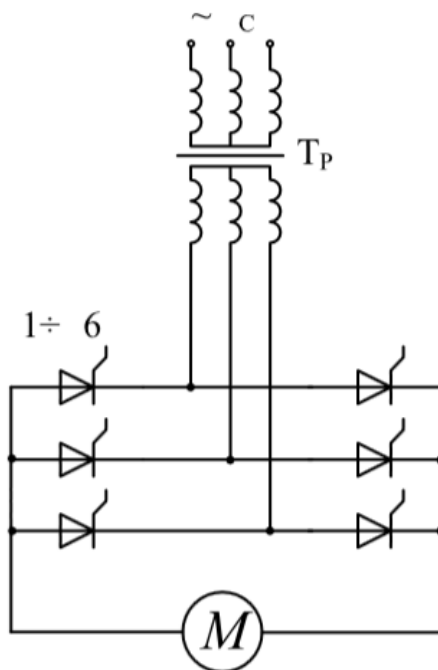


Рис. 7.5. Вентильний перетворювач

Плавне регулювання напруги на якорі двигуна здійснюється шляхом зміни тривалості роботи тиристора в провідну частину періоду. Момент відмикання тиристора щодо точки природної комутації здійснюється з затримкою на кут α (кут керування тиристорів). Зміна α від 0° до 180° за допомогою системи імпульсно-фазового керування дозволить отримати регульовальні механічні характеристики в першому і четвертому квадратах.

Для того щоб отримати характеристики у всіх чотирьох квадрантах (реверсивні системи), схема доповнюється ще однією вентильною групою. При цьому використовують спільне або роздільне керування групами вентилів.

Імпульсні перетворювачі постійної напруги, а до них відносяться широтно-імпульсні перетворювачі, що дозволяють отримати на якорі двигуна плавно регульовану напругу при живленні від мережі постійного струму з постійною напругою. В цьому випадку між мережею і навантаженням (якір двигуна) вводять ключ, який підключає і відключає навантаження від мережі.

Роль ключа може виконати транзистор VT1, як показано на рис. 7.6. Транзистор VT2, комутований в протифазі з транзистором VT1, дозволяє змінити напрямок струму в якорі і здійснити гальмівний режим двигуна. Вентиль V забезпечує протікання струму в ланцюзі якоря при розімкнутому ключі. Плавна зміна тривалості включеного стану транзистора VT1 за допомогою системи керування забезпечує регулювання середнього значення якірної напруги:

$$U_{\text{ясп}} = \frac{t_1}{t_1 + t_2} U_{\text{п}},$$

де t_1 - тривалість включеного стану ключа; t_2 - тривалість вимкненого стану ключа; $T = t_1 + t_2$ - період проходження імпульсів якірної напруги; $f = 1 / T$ - частота імпульсів якірної напруги.

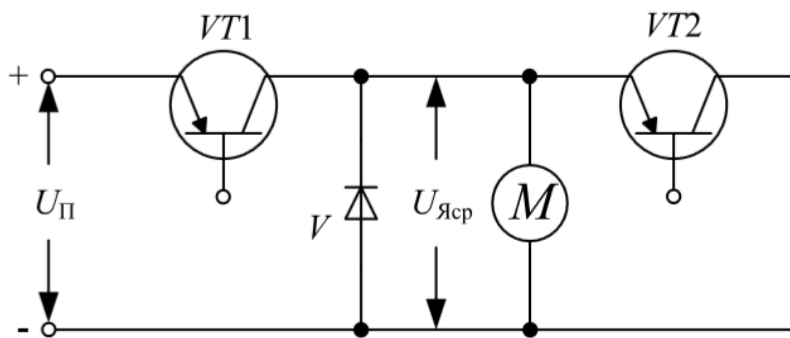


Рис. 7.6. Схема ШП

У широтно-імпульсному перетворювачі частота дослідження імпульсів постійна, а тривалість імпульсів плавно змінюється, що забезпечує регулювання.

Для двигунів змінного струму, до яких можна віднести вентильні, крокові і лінійні двигуни, для регулювання швидкості використовують перетворювачі частоти (ПЧ). Вони забезпечують перетворення енергії змінного струму постійної частоти в енергію змінного струму з регульованою частотою.

ПЧ будуються за схемою з ланкою постійного струму і з безпосереднім зв'язком з мережею живлення. ПЧ з ланкою постійного струму дозволяють регулювати частоту вниз і вгору від номінальної, а, отже, і забезпечує більший діапазон регулювання. Функціональна схема ПЧ з ланкою постійного струму зображена на рис. 7.7.

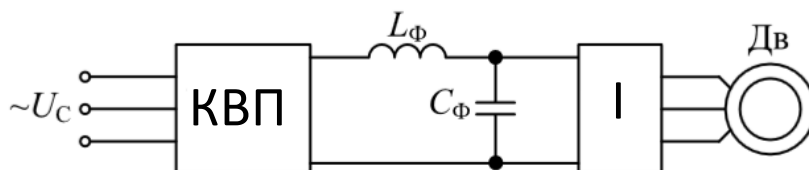


Рис. 7.7. Функціональна схема ПЧ

КВП - керований вентильний перетворювач, І - інвертор, Дв - двигун змінного струму, L_{ϕ} , C_{ϕ} - індуктивно-ємнісний фільтр

Роботу інвертора пояснює схема з ідеальними механічними ключами і тимчасові діаграми (рис. 7.8).

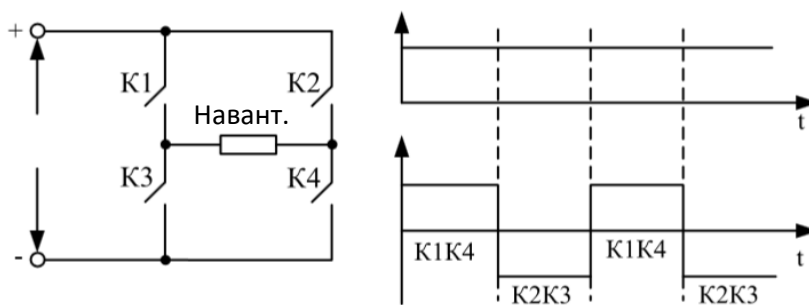


Рис. 7.8. Схема інвертора і тимчасові діаграми

Інвертор перетворює енергію постійного струму, яка надходить з КВП, в енергію змінного. Так як навантаження (обмотка двигуна) носить активно-індуктивний характер, то форма струму в ній значною мірою наближається до синусоїдальної.

У ряді випадків при зміні частоти змінюється і вихідна напруга КВП по закону: $U/f = const$. Даний закон регулювання забезпечує незмінну перевантажувальну здатність двигуна

у всьому діапазоні зміни частот.

Схема ПЧ з безпосереднім зв'язком з мережею живлення складається з трьох однакових комплектів тиристорів, забезпечуючи живлення обмоток статора Z_A , Z_B , Z_C . У свою чергу, кожен комплект містить шість тиристорів, три з яких приєднані анодами, а три інших катодами до вторинних обмоток трансформатора (рис. 7.9.). Кожна фаза схеми працює незалежно, тому для пояснення принципу отримання заданої частоти вихідної напруги розглянемо тільки роботу вентилів V1-V6 в фазі А. Припустимо, від системи керування надходить керуючий імпульс на тиристор V1 в момент часу t_1 , на V2 в момент часу t_2 , на V3 в момент часу t_3 .

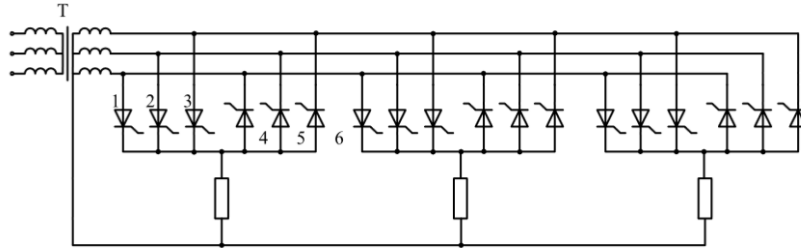


Рис. 7.9. Схема ПЧ з безпосереднім зв'язком з мережею живлення

Зазначені тиристори відкриваються, і до фази А статора буде прикладена напруга, що представляє собою ділянки трьох синусоїд вторинних напруг (рис. 7.10).

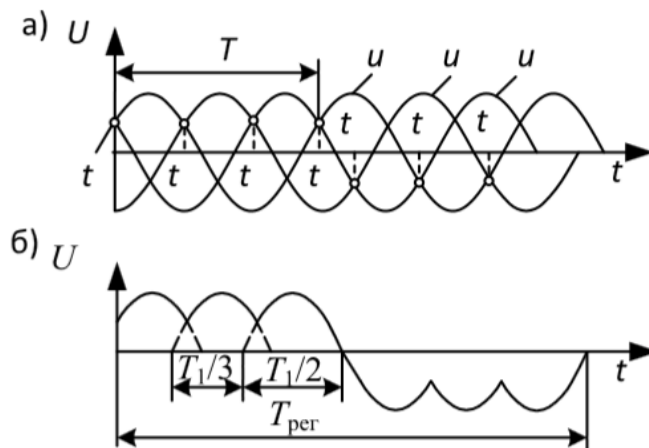


Рис. 7.10. Графіки напруг мережі (а) і на виході НПЧ (б)

Якщо зняти керуючі імпульси з V1, V2, V3 і подати імпульси на V6, V4, V5 в моменти t_5 , t_6 , t_7 , то на навантаженні утворюються напруги у вигляді ділянок синусоїд, на вузлі протилежної полярності.

Таким чином, до фази статора підводиться напруга змінного струму з періодом T_{per} . Цей період більше, ніж період мережевої напруги T_1 , або, іншими словами, частота напруги на статорі менше, ніж частота напруги мережі. Співвідношення між цими величинами для трифазної схеми:

$$T_{per} = T_1 \frac{[3 + 2(h - 1)]}{3},$$

де $h = 2, 3 \dots$ - число відкритих тиристорів в групі.

З наведеного співвідношення випливає, що ПЧ з безпосереднім зв'язком забезпечує регулювання частоти в сторону зменшення у порівнянні з частотою напруги мережі.

В даному перетворювачі можна одночасно з частотою регулювати і напругу. Досягається це тим, що керуючі імпульси подаються не в зазначені моменти часу t_1 , t_2 , t_3 і

т.д., а з затримкою на кут керування тиристорами α . Зміна за допомогою системи керування α від 0° до 90° викликає зміну напруги від номінального до нульового значення.

Повертаючись до схеми, наведеної на рис. 7.10, необхідно відзначити, що отримання на статорі стандартної системи трифазної напруги із зсувом фазних напруг на третину періоду можливою завдяки тому, що керуючі імпульси на комплекти тиристорів подаються із зсувом на третину періоду вихідної регульованої частоти. До переваг ПЧ з безпосереднім зв'язком можна віднести одноразове перетворення енергії і, отже, високий ККД (близько 0,97-0,98), можливість незалежного регулювання напруги від частоти; можливість реалізації режимів рекуперативного гальмування.