

### Тема 3. Контрольно-вимірювальні засоби АТК

#### 1. Загальна інформація про датчики

#### 2. Датчики електромагнітних змінних електроприводу

- 2.1. Датчики струму
- 2.2. Датчики потоку
- 2.3. Датчики напруги
- 2.4. Датчики ЕРС двигуна постійного струму

#### 3. Датчики механічних змінних електроприводу

- 3.1. Датчики швидкості
- 3.2. Датчики лінійних і кутових переміщень

#### 4. Датчики технологічних параметрів

- 4.1. Датчики сили (натягу), тиску, маси
- 4.2. Датчики лінійних розмірів
- 4.3. Датчики витрати
- 4.4. Датчики рівня
- 4.5. Датчики температури

#### 5. Комутаційна і захисна апаратура

- 5.1. Електромагнітні контактори
- 5.2. Електромагнітні пускачі
- 5.3. Реле
- 5.4. Автоматичні вимикачі
- 5.5. Вимикачі (рубильники) і перемикачі для силових ланцюгів
- 5.6. Кнопки і перемикачі управління
- 5.7. Запобіжники

#### 1. Загальна інформація про датчики

У технологічних агрегатах і комплексах використовуються різноманітні технічні пристрої, призначені для отримання інформації. Інформація використовується для ведення технологічного процесу і діагностування стану обладнання комплексу. Пристрої перетворення, зберігання і видачі інформації входять до складу модулів програмованих контролерів.

Тенденції розвитку пристроїв отримання інформації:

- застосування датчиків для вимірювання все більшого числа електромагнітних, механічних і технологічних змінних і параметрів якості продукції;
- використання методів прямого вимірювання контрольованих змінних і установка датчиків в безпосередній близькості від виконавчих органів робочої машини;
- застосування датчиків для контролю стану електротехнічного, механічного та технологічного обладнання, використання отриманої інформації для діагностування та оповіщення оператора про стан обладнання.

У сучасному обладнанні контролю піддаються:

- температура в комутаційних апаратах, вузлах електродвигунів, керованих перетворювачів, опорах механізмів;

- ступінь вібрації у всіх функціонально значущих механічних вузлах агрегатів;
- зусилля і пружні моменти в механізмах;
- знос технологічного обладнання та ін.

В якості основних контрольно-вимірювальних засобів застосовуються датчики, що безпосередньо сприймають зміни контрольованих параметрів і перетворюють ці зміни в електричні сигнали.

Датчики являють собою єдиний виріб, що складається з власне датчика (первинного перетворювача) і перетворювача сигналів і має на виході електричні уніфіковані сигнали: релейні (наприклад, 0В / 24В), безперервні і цифрові (двійковий код).

Безперервні уніфіковані сигнали:

- постійного струму 0 ... 5м А, 0 ... 20 мА;
- напруги постійного струму 0 ... 10 мВ, 0 ... 50 мВ, 0 ... 1 В, 0 ... 10 В, 0 ... 12 В, 0 ... 24 В;
- напруги змінного струму частотою 50 Гц 0 ... 1 В, 0 ... 10 В;
- частотні 1500 ... 2500 Гц, 4000 ... 8000 Гц.

Для цілей комплексної автоматизації технологічних процесів розроблено велику кількість датчиків, що перетворюють неелектричні параметри в електричні сигнали [2]. Номенклатура датчиків, що застосовуються в системах електроприводу, вельми обмежена. Сюди відносяться лише ті датчики, які вимірюють поточні координати самого електропривода (напруга, струм, потік, швидкість, положення). Як уже зазначалося, регулювання моменту є однією з основних задач електроприводу. Однак, датчика моменту, що забезпечує пряме вимірювання моменту двигуна і придатного для застосування в приводах виробничих механізмів, не розроблено і до цього часу. У ряді випадків доводиться контролювати деякі координати електроприводу, наприклад, потік двигуна, не за допомогою вимірювання відповідним датчиком, а застосовуючи непрямі методи, так як такі датчики конструктивно відсутні.

## **2. Датчики електромагнітних змінних електроприводу:**

- датчики струму;
- датчики напруги;
- датчики ЕРС двигуна постійного струму;
- датчики потоку.

### **2.1. Датчики струму**

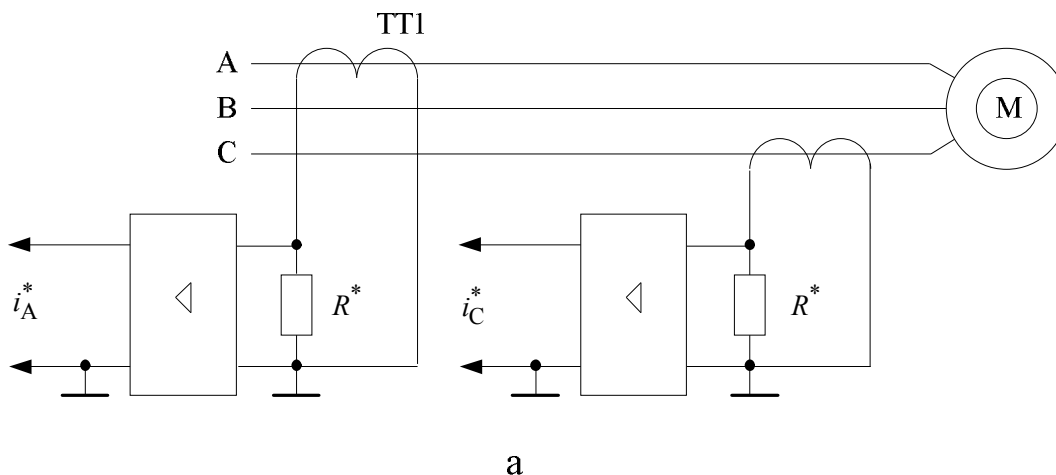
В якості первинних перетворювачів використовуються:

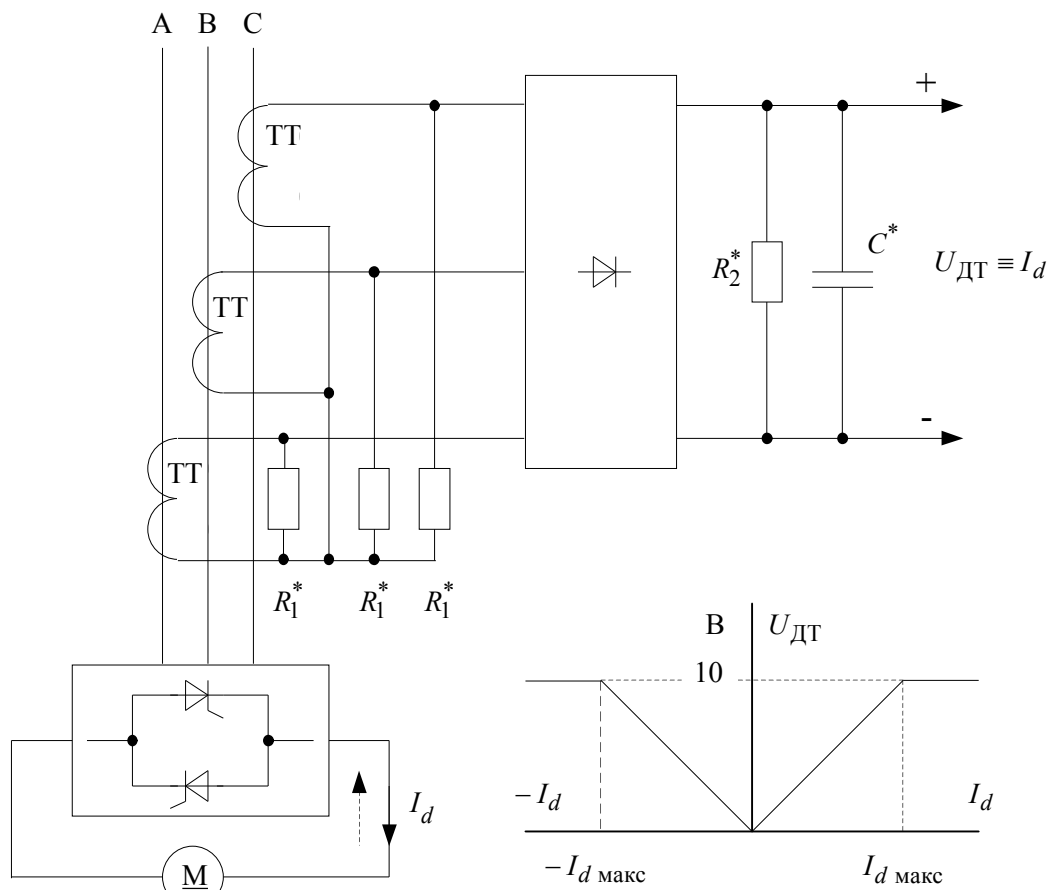
- при вимірюванні струму - трансформатори струму, шунти і перетворювачі, побудовані на ефекті Холла (датчик Холла);
- при вимірюванні напруги - подільники напруги;
- при вимірі потоку - датчики Холла.

Трансформатор струму - вимірювальний трансформатор, первинна обмотка якого має мало витків (наприклад, один виток), а вторинна - багато. Номінальний режим такого трансформатора - режим короткого замикання. Робота трансформатора струму з розімкненим ланцюгом вторинної обмотки неприпустима. Шунт - резистор з каліброваним опором, що забезпечує при номінальному струмі шунта нормоване значення падіння напруги, наприклад 75 мВ.

При використанні шунтів і подільників напруги датчики повинні мати гальванічне розділення силових ланцюгів і ланцюгів управління, а з шунтами і датчиками Холла потрібне посилення сигналів.

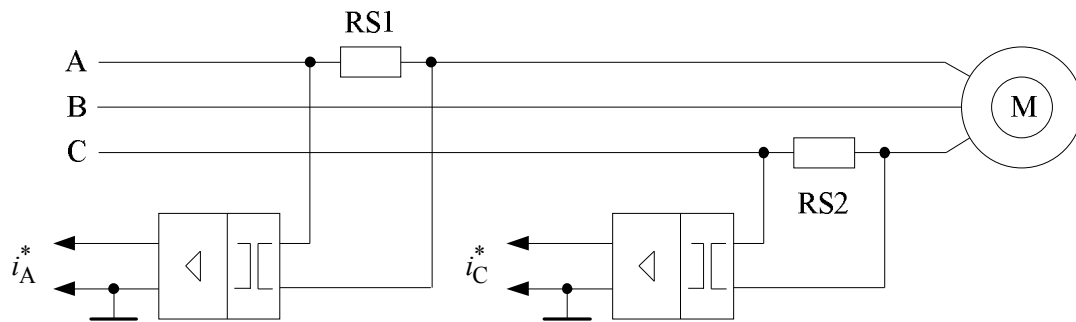
На рис. 2.6 і 2.7 приведені електричні схеми датчиків струму для систем електроприводу. Для вимірювання миттєвих значень змінного струму застосовуються датчики струму з трансформаторами струму (рис. 2.6, а), шунтами (рис. 2.7, а) і датчиками Холла (рис. 2.8). Для вимірювання постійного струму застосовуються датчики струму з трансформаторами струму, включеними з боку змінного струму тиристорних перетворювачів (рис. 2.6, б), шунтами (рис. 2.7, б) і датчиками Холла (рис. 2.8).



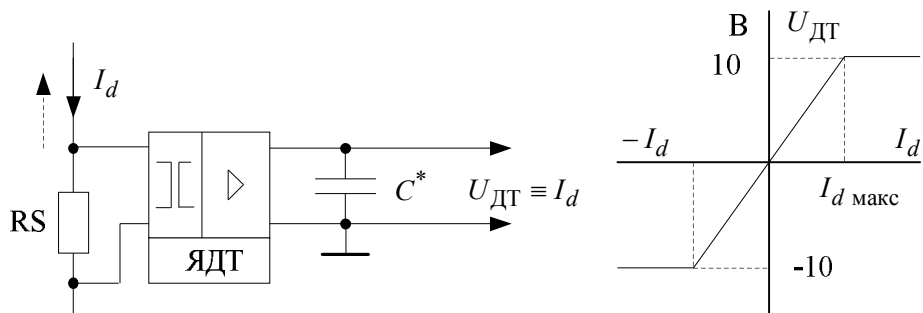


б

Мал. 2.6. Датчики струму з трансформатором струму в якості первинного перетворювача: а - змінного струму; б - випрямленого постійного струму



а



б

Мал. 2.7. Датчики струму з шунтом в якості первинного перетворювача: а - змінного струму; б - постійного струму

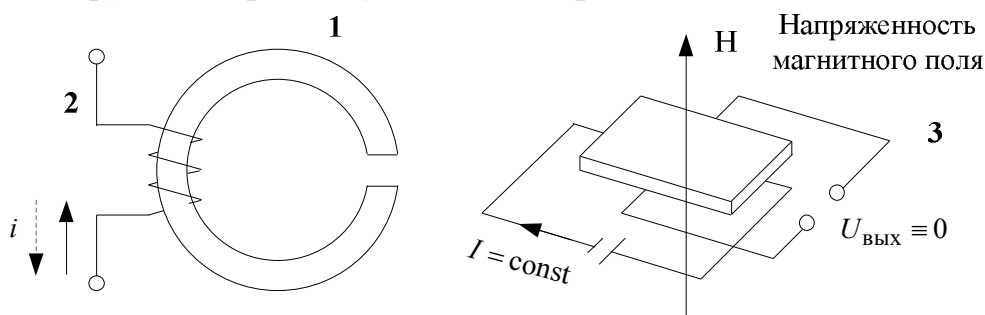
Осередки датчиків струму і напруги можуть бути типовими і в загальному випадку містять електричну розв'язку і підсилювач сигналів. Підсилювачі постійного струму характеризуються істотним недоліком у вигляді дрейфу нуля підсилювача - одного разу встановлене нульове значення вихідного сигналу при нульовому значенні вхідного не залишається постійним, а залежить, в першу чергу, від температури та інших факторів. Тому в аналогових системах управління комплектних електроприводів постійного струму осередки датчиків виконувалися за схемою: модулятор вхідного сигналу - трансформатор - підсилювач змінного струму - демодулятор з фільтром.

Датчики струму, що використовують перетворювачі, засновані на ефекті Холла, є магнітопровід з зазором і обмоткою - по обмотці протікає вимірюваний струм, а в зазорі встановлюється датчик Холла. Принцип роботи перетворювача, заснованого на ефекті Холла, і датчика струму з його використанням пояснює рис. 2.8.

**Ефект Холла** — явище, при якому виникає поперечна різниця потенціалів під час розміщення провідника з постійним струмом у магнітному полі.

## 2.2. Датчики потоку

При вимірюванні магнітного потоку електричних машин датчики Холла конструктивно розміщуються в зазорі машини.



Мал. 2.8. Датчик струму з датчиком Холла в якості первинного перетворювача: 1 - сердечник (магнітопровід) з зазором; 2 - обмотка; 3 - перетворювач на основі ефекту Холла

## 2.3. Датчики напруги

Схеми датчика напруги і датчика ЕРС двигуна постійного струму наведені, відповідно, на рис. 2.9 і 2.10.

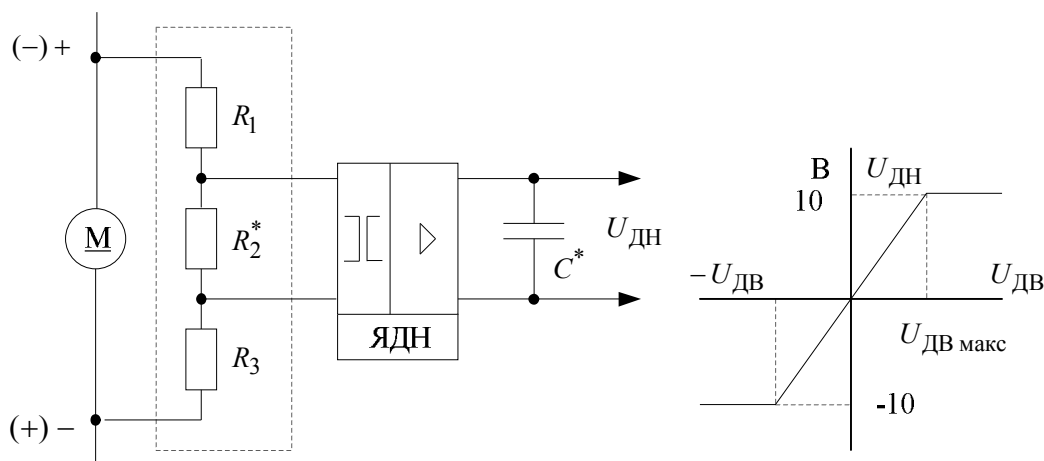
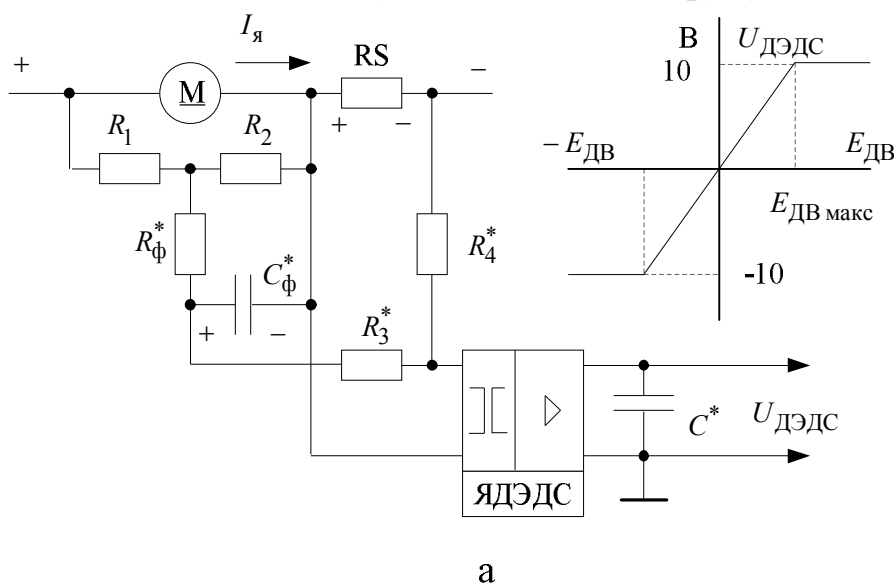


Рис. 2.9. Датчик напруги

У загальному випадку датчики повинні забезпечувати гальванічну розв'язку між ланцюгами вимірювання і вихідний при напрузі до одного і більше кіловольт, мати лінійну характеристику і малу похибку близько 1%, широку смугу пропускання, незалежність технічних характеристик від зміни умов експлуатації. Особливо жорсткі вимоги пред'являються до датчиків струму електроприводів щодо смуги пропускання (швидкодії). Це пояснюється тим, що вони використовуються у внутрішньому самому швидкодіючому контурі регулювання багатоконтурною системи управління електроприводу і однозначно визначають його швидкодію в цілому. Шунт як вимірювальний перетворювач є безінерційним ланкою. Датчик Холла забезпечує смугу пропускання до 1 кГц, що може виявитися недостатнім для реалізації швидкодіючих електроприводів, наприклад з вентильними двигунами. Недоліками шунта і датчика Холла як первинних перетворювачів є велика залежність, відповідно, опору і постійної Холла від температури.

#### 2.4. Датчики ЕРС двигуна постійного струму



а

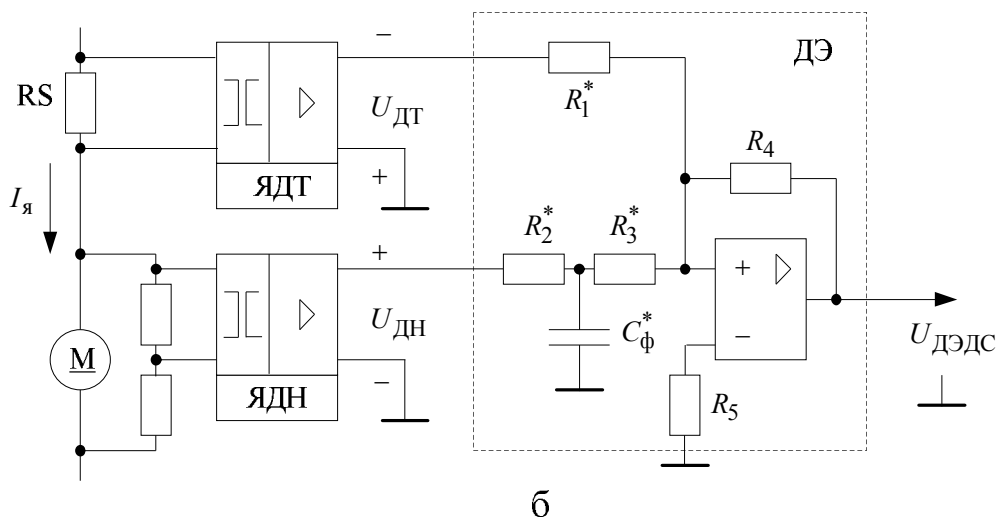


Рис. 2.10. Датчик ЕРС двигуна постійного струму: а - при безпосередньому вимірі; б - при наявності датчиків напруги і струму

Осередки датчиків універсальної блокової системи регуляторів (УБСР) для комплектних електроприводів постійного струму мали уніфікований вихідний сигнал 10 В, забезпечували похибку 1% і смугу пропускання в залежності від елементної бази від 30 до 1000 Гц.

Значні пульсації струму двигуна, мають місце в сучасних системах електроприводу як постійного, так і змінного струму, обумовлюють необхідність застосування згладжуючих фільтрів на виході датчиків струму. Такі фільтри, з одного боку, зменшують смугу пропускання датчика, а, з іншого боку, вносять додатково запізнювання сигналу зворотного зв'язку в контурі струму.

### 3. Датчики механічних змінних електроприводу:

- швидкості;
- лінійних і кутових переміщень.

В якості первинних перетворювачів використовуються:

- при вимірюванні швидкості - електромашинні датчики швидкості (тахогенератори постійного і змінного струму);
- при вимірюванні переміщень - аналогові (сельсини, обертові трансформатори, резольвери) і цифрові (імпульсні, наприклад, фотоелектричні) кутові і лінійні датчики переміщень.

При наявності датчика переміщень значення швидкості може бути знайдено розрахунковим шляхом як збільшення шляху за постійний інтервал вимірювання.

#### 3.1. Датчики швидкості

Датчики швидкості є одними з найбільш важливих пристроїв в системах регульованого електроприводу. Підвищення точності і швидкодії таких приводів висуває жорсткі вимоги до якості датчиків швидкості. Найбільш поширеним датчиком швидкості є *тахогенератор постійного струму* [3, 4]

(рис. 2.11). Тахогенератори змінного струму (асинхронні та синхронні) не знаходять широкого застосування в приводах виробничих механізмів.

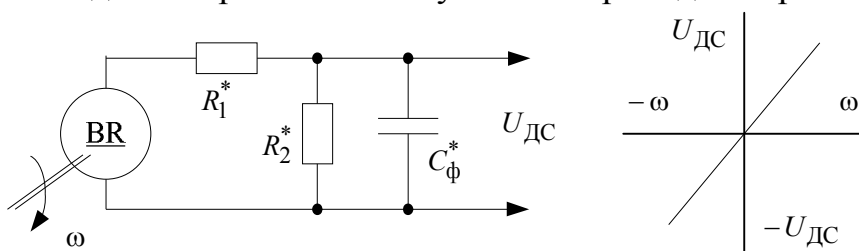


Рис. 2.11. Датчик швидкості з тахогенератором постійного струму в якості первинного перетворювача

Якість датчиків швидкості на базі тахогенератора постійного струму пов'язана з двома основними факторами: способом і якістю його з'єднання з приводним двигуном і властивостями самого тахогенератора. Вал тахогенератора, як правило, жорстко з'єднується з валом двигуна, але при наявності неспівосності валів виникають оборотні пульсації. У тахогенератора постійного струму мають місце власні полюсні, зубцеві і колекторні пульсації. Частота пульсацій ЕРС тахогенератора залежить від швидкості обертання. Тому постійну часу фільтра, що згладжує датчика швидкості доводиться вибирати з розрахунку на найбільш низьку робочу швидкість приводу. При цьому інерція, яка вноситься фільтром в систему регулювання, може виявитися надмірно великою.

У сучасних цифрових системах управління електроприводів вихідні сигнали аналогових датчиків координат приводу перетворюються в цифровий сигнал (в двійковому коді) за допомогою АЦП. Наприклад, для реверсивного датчика струму

$$N_{\text{ацп}} = U_{\text{вх}} \cdot \frac{U_{\text{вх.макс}}}{0.5 \cdot 2^{n_{\text{ацп}}}},$$

де  $U_{\text{вх}}$  – вхідна напруга, В,  $N_{\text{ацп}}$  – вихідний код перетворювача,  $U_{\text{вх.макс}}$  – максимальне значення напруги перетворення АЦП, В.

### 3.2. Датчики лінійних і кутових переміщень

В слідкуючих системах електроприводу, що відстежують механічні переміщення, як датчики кутових і лінійних переміщень використовуються:

- електромеханічні індукційні вимірювальні перетворювачі (мікромашини) - сельсини, обертові трансформатори (резольвери), редуктосіни - багатополюсні обертові трансформатори і резольвери.

- індукційні вимірювальні перетворювачі - індуктосіни лінійні і кутові (кругові);

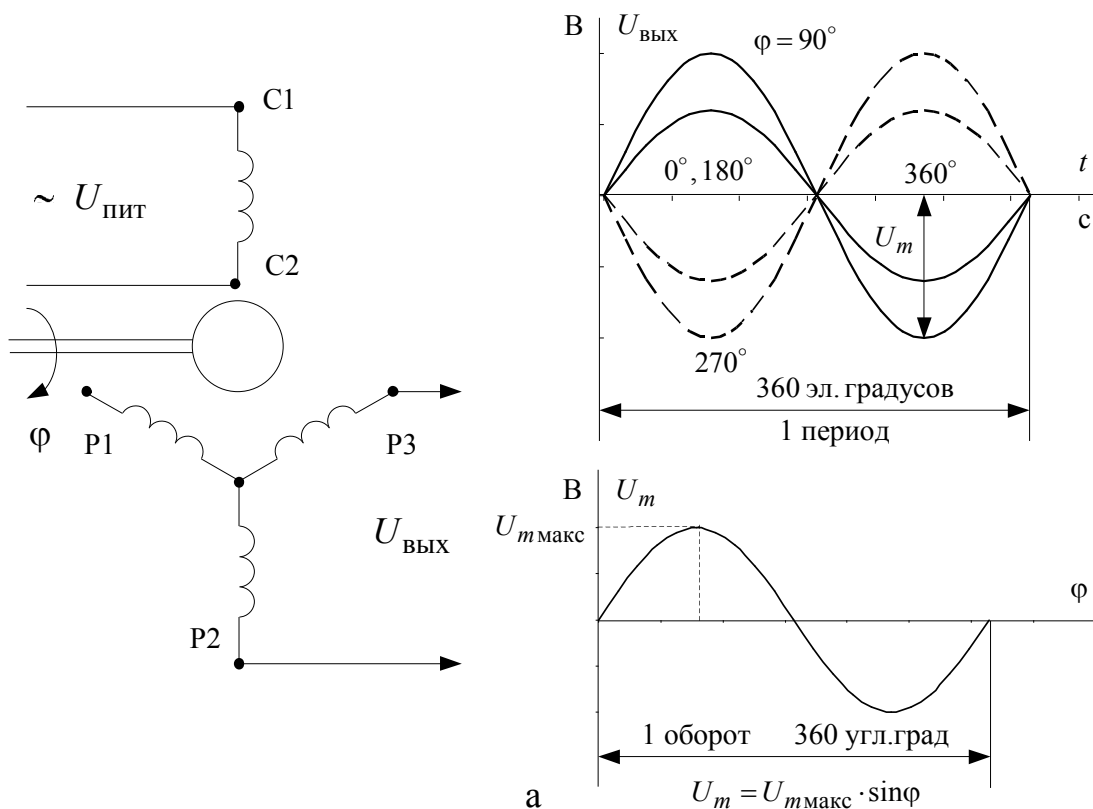
- імпульсні датчики, наприклад, фотоелектричні кутові і лінійні.

**Сельсини [3].** Сельсини широко застосовувалися в аналогових системах стеження електроприводу в якості вимірників неузгодженості систем заданого і фактичного кута положення. Сельсин-датчики і сельсин-приймачі можуть бути використані і в якості датчиків кута повороту, оскільки



дозволяють при постійній напрузі на вхідних обмотках отримувати на вихідних обмотках напруги, амплітуда або фаза яких визначаються кутовим положенням ротора.

Сельсини є індукційними машинами (див. Рис. 2.12). Можливо одно- і трифазне виконання обмоток, розташованих як на статорі, так і на роторі. За характером струмоз'єму можуть бути контактними і безконтактними з магнітним ротором без обмотки. В електроприводах широке застосування отримали безконтактні сельсини серії БД, які можуть працювати в режимах як сельсин-датчика, так і сельсин-приймача. Робоча частота напруги збудження 50 Гц і 400 Гц, максимальна частота обертання ротора 500 об / хв.



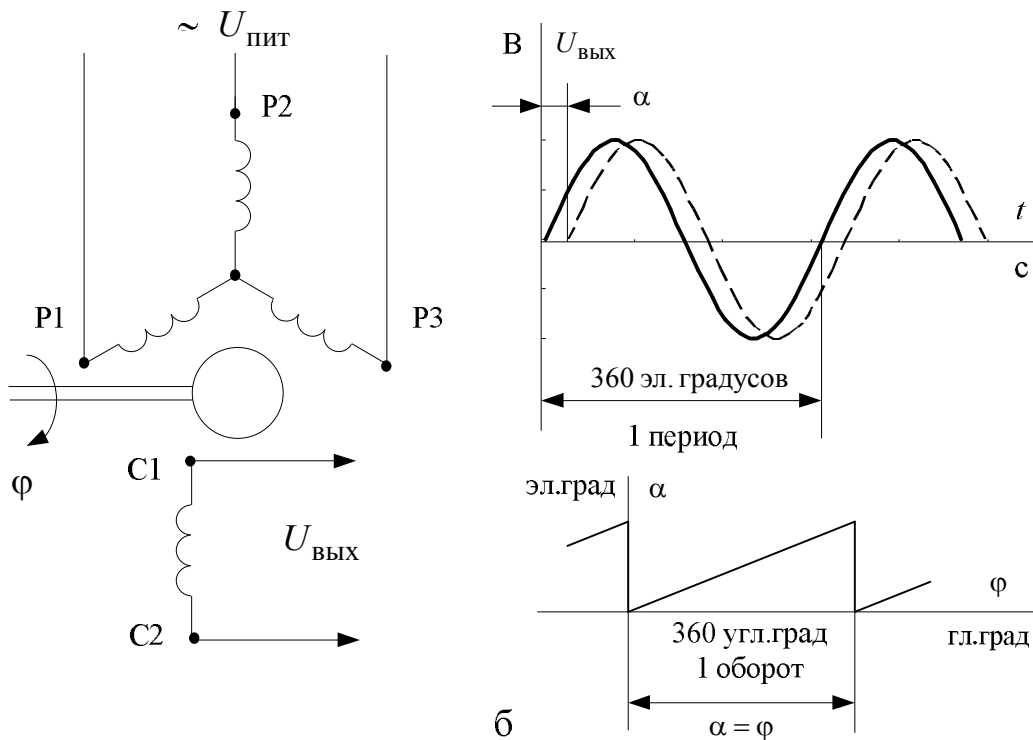


Рис. 2.12. Принцип роботи індукційного перетворювача в якості датчика кута повороту: а - в режимі фазоврацателя (phase shifter); б - в режимі трансформатора

Якщо за допомогою трифазної входної обмотки сформувати обертове магнітне поле, то у вихідній обмотці буде наводитися синусоїдальна за формою ЕРС постійної амплітуди, фаза якої залежить від положення ротора сельсина, тобто від кута повороту його вала (рис. 2.12, а). Такий режим індукційного перетворювача отримав назву - **режим фазообертача (фазоврацателя, phase shifter)**.

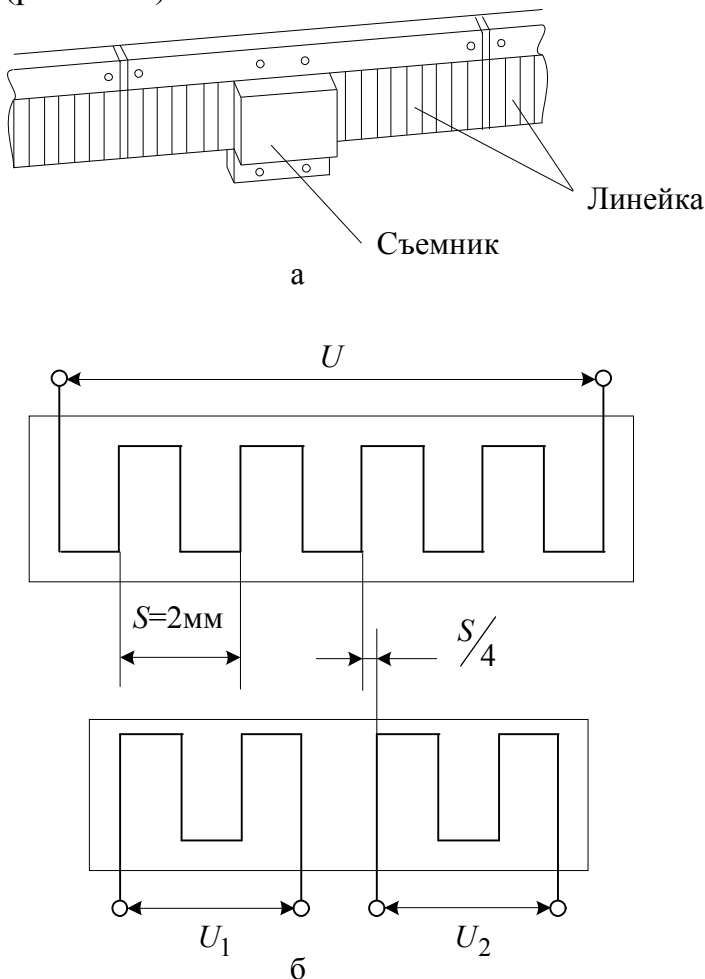
Якщо однофазну входну обмотку підключити до джерела змінної напруги, то магнітне поле буде пульсуючим і в вихідній обмотці буде наводитися змінна ЕРС, амплітуда якої буде залежати від положення ротора сельсина, тобто від кута повороту його вала (рис. 2.12, б). Такий режим індукційного перетворювача отримав назву - режим трансформатора.

**Обертові трансформатори** [2, 3]. Обертові трансформатори (ВТ) представляють собою індукційні електричні машини, у яких вихідна напруга є функцією входної напруги і кута повороту ротора. Залежність вихідної напруги від входного - лінійна, а від кута повороту ротора в залежності від схеми включення може бути як лінійної, так і синусної (косинусної). Обертові трансформатори мають по дві однакові взаємно перпендикулярні первинні обмотки (збудження), і вторинні (синусно і косинусному). Дві входні обмотки, живити напругою синусоїдальної і косинусоїдальної форми, створюють обертове поле ОТ. Дві вихідні обмотки в цьому випадку забезпечують отримання двох вихідних напруг зсунутих по фазі щодо напруг живлення на кут, рівний куту повороту ротора, і на  $1/4$  періоду відносно один одного (рис. 2.12, а). При харчуванні одними входними обмотками змінною напругою або двох обмоток двома напругами, співпадаючими по фазі, в

роторі утворюється пульсуюче магнітне поле. Пульсуюче магнітне поле індукує в вихідних обмотках ЕРС змінної амплітуди, величина якої визначається кутом повороту ротора (рис. 2.12, б). Діапазон робочих частот напруги збудження 400 - 4000 Гц. За характером токос'єма ВТ можуть бути контактними і безконтактними. Безконтактні ВТ розраховані на експлуатацію при частотах обертання до 500 - 1000 об / хв.

Принцип роботи *редуктосінів* аналогічний роботі двополюсних обертових трансформаторів, відмінність полягає в тому, що одному обороту валу відповідає кілька періодів зміни вихідного сигналу. [2].

*Індуктосини* можуть бути лінійними і круговими. Лінійний індуктосин являє собою нерухому лінійку, зібрану з декількох секцій довжиною 250 мм (рис. 2.13).



Мал. 2.13. Лінійний індуктосин: а - конструктивне виконання; б - взаємне розташування обмоток

На одній стороні лінійки нанесена плоска обмотка, що має вигляд «меандра» з постійним лінійним кроком 2 мм. Рухома головка (знімач) перетворювача на стороні, зверненій до лінійки, має дві аналогічні плоскі друковані обмотки, зсунуті відносно одна одної на 1/4 кроку. Таким чином, індуктосин являє собою розгорнуту аналогію ОТ. Лінійні індуктосини виконуються з металу (як правило зі сталі). Круговий індуктосин складається з двох дисків (ротора і статора) один з яких обертається на валу, а інший - нерухомий. На

торцевих поверхнях дисків, звернених один до одного, нанесені обмотки з постійним кутовим кроком, аналогічно лінійному індуктосину. Диски можуть бути виготовлені з ізоляційних матеріалів або з металу.

Індуктосин може бути використаний в фазовому і трансформаторному режимі. У фазовому режимі обмотки, розташовані на рухомій частині індуктосина, живляться від джерела двома струмами, зсунутими на 90 електричних градусів, і утворюють біжуче магнітне поле. У нерухомій обмотці наводиться ЕРС, фаза якої пропорційна зсуву головки щодо лінійки в межах кроку 2 мм (рис. 2.12, б).

У трансформаторному режимі обмотки рухомої частини живляться напругою, співпадаючою по фазі. Вони утворюють пульсуюче магнітне поле і в нерухомій обмотці наводиться ЕРС, амплітуда якої пропорційна зсуву головки щодо лінійки в межах кроку 2 мм (рис. 2.12, а).

Магнітна система індуктосина позбавлена феромагнітного сердечника, тому для збільшення вихідного сигналу частота живлення повинна складати кілька кілогерц, а на виході вимірювальної обмотки необхідний попередній підсилювач.

Перевагою індуктосинів є простота технології виготовлення і висока точність (погрішність лінійних досягає одиниць мкм, а кутових - одиниць кутових секунд).

При застосуванні ВТ і індуктосинів в цифрових системах стеження електроприводу зміна амплітуди або фази вихідного аналогового сигналу перетворюється в цифровий код.

Широке поширення в сучасних електроприводах з цифровими системами управління знайшли імпульсні фотоелектричні датчики переміщень [2, 5, 6].

У регульованих електроприводах - як датчики швидкості, а в системах стеження - як датчики швидкості і положення. Диск фотоелектричного датчика має радіальні мітки, які модулюють світловий потік на два фотоприймача, зміщені на 1/4 кроку. Наявність двох каналів датчика дозволяє визначити напрямок обертання і, крім того, при роботі по передньому і задньому фронту збільшити число імпульсів в 4 рази. Третій фотоприймач формує сигнал початку відліку (нульова мітка). На тих же принципах, що і фотоелектричні перетворювачі кутових переміщень, реалізуються фотоелектричні перетворювачі лінійних переміщень.

Розглянуті датчики кутових і лінійних переміщень дозволяють проводити вимірювання абсолютного значення положення в межах одного оберту або кроку. І для побудови на їх базі датчиків положення потрібно подальша обробка сигналів в спеціалізованих блоках систем управління електроприводів.

#### **4. Датчики технологічних параметрів [2]:**

- сили (натягу), тиску, маси;
- товщини (діаметра);
- витрати;
- рівня;

- температури і т.д.

Конструктивно вбудовані в двигун і перетворювач датчики температури (терморезистори) є елементами обов'язкового захисту від перегріву в сучасних комплектних електроприводах.

#### 4.1. Датчики тиску, сили (натягу), маси

Атмосферний (барометричний) тиск - тиск, створюваний масою повітряного стовпа земної атмосфери.

Абсолютний тиск - тиск, відлічений від абсолютного нуля. За початок відліку абсолютного тиску приймають тиск усередині судини, з якого повністю відкачане повітря.

Надлишковий тиск - різниця між абсолютним і барометричним тиском.

Вакуум (розрідження) - різниця між барометричним і абсолютним тиском.

Для вимірювання тиску застосовують манометри. Одиницею вимірювань в системі SI є паскаль (Па).

За видом вимірюваного тиску манометри поділяють на манометри абсолютного тиску (вимірюють тиск від абсолютного нуля), надлишкового тиску (вимірюють різницю між абсолютним тиском і тиском навколишнього середовища), вакуумметри (вимірюють тиск розрідженого газу), напороміри (манометри надлишкового тиску до 40 кПа), тягоміри (вакуумметри до 40 кПа), тягонапороміри (до 20 кПа), мановакуумметри (для вимірювання надлишкового тиску і вакууму), дифманометри (для вимірювання різниці двох тисків), барометри.

За принципом дії манометри поділяють на:

рідинні – вимірюваний тиск або різниця тиску врівноважуються стовпом рідини. Бувають U-подібні, дзвонові, кільцеві;

деформаційні – вимірюваний тиск спричиняє деформацію чутливих елементів, внаслідок чого він перетворюється в пропорційне переміщення або зусилля. Бувають мембранні, сильфонні, трубчасто – пружинні;

електричні – використовують залежність між тиском і електричними параметрами первинних вимірювальних перетворювачів. Бувають п'єзоелектричні, опору, ємнісні, іонізаційні;

вантажопоршневі – вимірюваний тиск, який підводиться до циліндра, заповненого маслом, врівноважується масою поршня і накладених на нього вантажів;

теплові – при тисках від 10 до 100 Па теплопровідність газу обумовлюється його тиском.

За призначенням манометри діляться на три групи: технічні (робочі), лабораторні (контрольні), зразкові (для повірки робочих манометрів).

Для вимірювання маси тіл і матеріалів застосовують ваги.

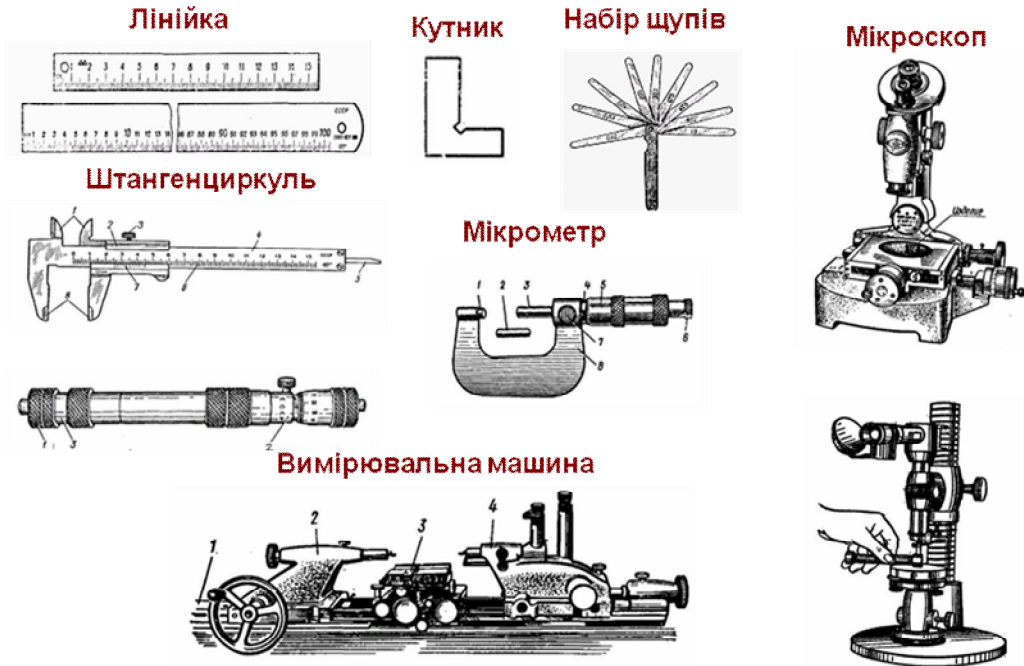
За принципом дії ваги поділяють на:

важільні – сила тяжіння тіла, що зважується, врівноважується шляхом важеля;

пружинні - сила тяжіння тіла, що зважується, врівноважується за допомогою силосиміювача у вигляді спеціальної пружини;

електромеханічні - сила тяжіння тіла, що зважується, перетворюється первинним вимірювальним перетворювачем (тензорезистором) у електричний сигнал.

#### 4.2. Датчики лінійних розмірів



#### 4.3. Датчики витрати

Витрата речовини – це маса або об'єм речовини, яка проходить через даний переріз засобу вимірювань витрати за одиницю часу. Розрізняють об'ємну та масову витрату. Об'ємну витрату вимірюють в  $\text{м}^3/\text{с}$  ( $\text{м}^3/\text{год}$  тощо), а масову –  $\text{кг}/\text{с}$  ( $\text{кг}/\text{год}$ ,  $\text{т}/\text{год}$  тощо).

Витрату речовини вимірюють витратомірами. За принципом дії витратоміри поділяють на:

витратоміри змінного перепаду тиску – в звужувальному пристрої виникає перепад тиску, пропорційний витраті, який вимірюється дифманометром;

витратоміри обтікання – переміщення тіла, яке знаходиться в потоці і сприймає динамічний тиск обтікаючого потоку, визначається витратою речовини. Бувають постійного перепаду тиску (ротаметри) – поплавков переміщується в конічній трубі до тих пір, поки не врівноважується перепад тиску з обох боків поплавка, поплавкові та поршневі;

тахометричні витратоміри – швидкість руху чутливих елементів, розміщених у потоці, визначається витратою речовини. Бувають турбінні, кулькові, камерні (овально-шестеренчасті, барабанні, ротаційні тощо);

електромагнітні – при протіканні рідини через магнітне поле виникає е.р.с., яка знімається з електродів, закріплених на немагнітній ділянці труби;

витратоміри змінного рівня – рівень рідини в посудині визначається витратою при вільному витіканні рідини через калібрувальний отвір (щілину) у дні або боковій стінці;

теплові – ефект теплової дії на потік речовини залежить від її витрати;

вихрові – частота коливань тиску середовища, яка виникає в процесі вихроутворення в первинному перетворювачі, пропорційна витраті речовини;

акустичні – акустичний ефект залежить від витрати речовини.

#### **4.4. Датчики рівня**

Для вимірювання рівня застосовуються рівнеміри, які за призначенням поділяють на рідинні та сипних матеріалів, а за принципом дії на:

механічні – використовується механічний силовий вплив рівня вимірюваного матеріалу на чутливий елемент. Застосовують поплавкові (найбільш поширені), мембранні, контактні – механічні (щуп опускається до поверхні матеріалу, який гальмує його рух), вібраційні (параметри коливальної системи залежать від рівня води в рівнемірній трубці, до якої підводяться механічні коливання);

гідростатичні – вимірюється тиск стовпа рідини або виштовхувальна сила, яка діє на тіло, вміщене в рідину. Застосовуються буйкові, п'єзометричні рівнеміри, а також рівнеміри – манометри та дифманометри;

електричні – кондуктометричні (вимірюється опір між електродами, введених у вимірювальне середовище), ємнісні (вимірюється ємність між електродами, введених у вимірювальне середовище);

хвильові – використовується залежність від рівня інтегральних характеристик електромагнітних систем із розподіленими параметрами;

акустичні - акустичні хвилі відбиваються від межі розподілення середовищ з різним акустичним опором, при цьому вимірюється час поширення хвилі.

#### **4.5. Датчики температури**

Для вимірювання температури при контролі вологісно-теплових процесів сільськогосподарського виробництва застосовують термометри різних типів, які градууються в градусах (°C).

Для вимірювання температури застосовують два основних методи вимірювань: контактний і безконтактний. При вимірюваннях контактним методом чутливий елемент термометра знаходиться у безпосередньому контакті з вимірюваним середовищем. Безконтактними методами температура визначається за тепловим електромагнітним випромінюванням.

Для вимірювання температури контактним методом застосовують термометри:

розширення, які вимірюють температуру за тепловим розширенням рідин (рідинні) або твердих тіл (дилатометричні, біметалеві);

манометричні, які використовують залежність між температурою і тиском газу (газові) чи насичених парів рідини (конденсаційні), а також між

температурою і об'ємом рідини (рідинні) в замкненому просторі термосистеми;

термоелектричні, дія яких заснована на вимірюванні термоелектрорушійної сили (термо-е.р.с.), яка розвивається термопарою (спаєм) із двох різнорідних провідників (використовуються хромель – копелеві, хромель – алюмелеві, мідь-константанові та інші термопари);

опору, які використовують залежність електричного опору від температури (терморезистори - платинові та мідні термометри опору, напівпровідникові термістори).

Як вторинні прилади для роботи з термоелектричними термометрами найбільшого поширення набули мілівольтметри, потенціометри, цифрові вольтметри, з термометрами опору – логометри, електронні автоматичні мости, цифрові омметри.

Для вимірювання температури безконтактним методом використовують пірометри:

яскравісні, які вимірюють температуру за яскравістю розжареного тіла в заданому вузькому діапазоні довжин хвиль;

радіаційні, які вимірюють температуру за тепловою дією сумарного випромінення нагрітого тіла ( у всьому діапазоні довжин хвиль);

кольорові, принцип дії яких полягає на вимірюванні відношення енергій, які випромінюються випромінюючим тілом у різних спектральних діапазонах.

За характером отримання інформації розрізняють пірометри для локального вимірювання температури в даній точці об'єкта та для аналізу температурних полів.

## **5. Комутаційна і захисна апаратура**

Комутаційні й розподільні електричні апарати призначені для комутації електричного кола і проведення струму. Апарати повинні допускати роботу:

- при напрузі;
- на висновках головною і допоміжного кіл до;
- ланцюги управління в межах;
- в одному, декількох або у всіх наступних режимах роботи:
- тривалому (досить тривала для досягнення сталої температури);
- уривчасто-тривалому;
- повторно-короткочасному (ПВ = 15; 25; 40 і 60%);
- короткочасному (тривалість роботи 5; 10; 15 і 30 секунд; 10; 30; 60 і 90 хв).

### **5.1. Електромагнітні контактори**

Контактори використовуються в системах управління електроприводів для оперативного включення і відключення приймачів електроенергії.

Параметри головного ланцюга (силових контактів):

- рід струму комутованої ланцюга: постійний, змінний, постійний і змінний;
- число головних полюсів: від одного до п'яти;



- номінальний струм - 4 ... 2500 А;
  - номінальна напруга: постійне - 220, 440 і 600 В; змінне - 380, 500 і 660 В.
- Контактори мають допоміжні контакти для комутації ланцюгів управління.  
Номінальна напруга котушок:
- постійного струму - 24, 48, 60, 110 і 220 В;
  - змінного струму 50 Гц - 24, 36, 110, 127, 220, 230, 240, 380, 400, 415, 500, і 660 В;
  - змінного струму 60 Гц - 110, 220, 380, 440 В.
- Допустиме включення в годину від 30 до 3600 в залежності від класу по частоті включення.

### **5.2. Електромагнітні пускачі**

Пускачі призначені для дистанційного пуску і зупинки трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором. Пускачі розрізняються:

- за призначенням: нереверсивні (з одним контактором), реверсивні (з двома контакторами);
- наявності теплових реле: без теплових реле; з тепловими реле;
- виду блокування в реверсивних пускателях: з електричним блокуванням. з електричної і механічної блокуваннями;
- наявності вбудованих кнопок управління: без кнопок управління, з кнопками управління;
- напрузі головного ланцюга: 380 В і 660 В;
- ступеня захисту: IP00, IP30 і IP54.

Допустиме включення в годину при номінальному струмі до 2400-3600.

### **5.3. Реле**

Реле використовуються в схемах керування електроприводами і виконують функції управління - реле управління (проміжні реле і реле часу) і захисту - вимірювальні реле (електротеплові, реле струму і напруги).

Реле розрізняються:

- у зв'язку зі струму включає котушки або іншого сприймає органу: - постійного струму, змінного струму;
- за номінальним струмом ланцюга управління: від 1.6 до 1250 А;
- по напрузі ланцюга управління: - постійного 12, 24, 48, 60, 110 і 220 В;
- змінного 12, 24, 36, 110, 220, 380 і 660 В;
- по числу контактів: від 1 до 12;
- за родом контактів: з замикаючими, розмикаючими, переключаючими контактами.

Проміжні реле призначені для передачі за допомогою контактів команд з одного електричного кола в інше і використовуються для розмноження числа і потужності контактів.

Реле струму поділяються на реле контролю (контролюється наявність струму, або знаходження його в заданих межах, наприклад струму обмотки збудження) і реле захисту (реле максимального струму).

Реле напруги використовується в ланцюгах захисту від зникнення, неприпустимого зниження або підвищення напруги.

#### **5.4. Автоматичні вимикачі**

Автоматичні вимикачі призначені для під'єднання і від'єднання приймачів електроенергії до мережі і захисту приймачів. Автоматичні вимикачі можуть використовуватися для рідкісних комутацій навантаження зі струмом. Основними параметрами вимикачів є: номінальна напруга, номінальний струм, яка відключає здатність (максимальний відключається струм) і час відключення.

Відключення автоматичних вимикачів відбувається під дією расцепителей:

- електромагнітних максимальних (захист від струмів к.з. і великих перевантажень -> 10-кратного номінального струму);
- електромагнітних мінімальних (захист від зниження напруги - регулюється в межах 30 ... 70% від номінальної напруги);
- теплових (захист від длітєлних невеликих перевантажень - регулюється в межах від 0,1 до 1,1-номінального струму);
- незалежних (дистанційне відключення).

#### **5.5. Вимикачі (рубильники) і перемикачі (для силових ланцюгів)**

Рубильники і перемикачі застосовуються в якості комутаційних апаратів з ручним приводом для ланцюгів постійного і змінного струму напругою 220 В на струми до 444 А і ланцюгів змінного струму напругою 380 В на струми до 250 А.

Рубильники і перемикачі без дугогасильних камер можуть працювати тільки в якості роз'єднувачів, тобто розмикати знеструмлені електричні ланцюги, а з дугогасильними камерами - можуть комутувати електричні ланцюги під навантаженням.

#### **5.6. Кнопки і перемикачі управління**

Кнопки і перемикачі управління призначені для комутації ланцюгів управління змінної напруги до 500 В і постійної напруги до 220 В при струмі 6 А, а також можуть використовуватися в ланцюгах змінного і постійного напруги 24 В при струмі не менше 0, 05 А.

#### **5.7. Запобіжники**

Запобіжники призначені для захисту ланцюгів від струмів коротких замикань, великих неприпустимих і малих тривалих перевантажень.

Основними елементами запобіжника є плавка вставка і дугогасительное пристрій.

Основною умовою при виборі запобіжника є розташування времятоковой характеристики запобіжника нижче времятоковой характеристики об'єкта, що захищається.