

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

з навчальної дисципліни  
**«Основи електропривода»**  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми першого(бакалаврського) рівня вищої освіти

***173 Авіоніка  
(Авіоніка)***

**за темою № 7 – Електротехнічні пристрої керування і захисту**

**Кременчук 2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 № 7

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного коледжу  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 28.08.2023 № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023 № 1.

**Розробник:** викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Волканін Є.Є.

**Рецензенти:**

1. Інженер з технічного обслуговування, ремонту та діагностики авіаційної техніки ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Калінін О.В.
2. Професор циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії Гаврилюк Ю.М.

### **План лекції:**

1. Класифікація електричних апаратів.
2. Апарати неавтоматичного керування.
3. Пускорегулюючі і струмообмежуючі апарати неавтоматичного керування.
4. Апарати керування та захисту.
5. Командні апарати і датчики.
6. Конструкції трансформаторів та їх призначення.
7. Безконтактні апарати та пристрої кіл автоматики.

### **Рекомендована література:**

#### **Основна література:**

1. Павленко Т. П. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. Конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка) / Т.П. Павленко, О. В. Донець, О. М. Петренко; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 132 с.
2. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
3. Теорія електроприводу Методичні вказівки до курсового проекту "Розрахунок параметрів і характеристик електроприводу" для студентів всіх форм навчання за напрямом 6.050702 / А.В. Гнатов, О.А. Дзюбенко, І.С. Трунова – Х.: ХНАДУ, 2012. – 37 с.

#### **Допоміжна література:**

1. Частотне керування асинхронним приводом: Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни „Основи електропривода” для студентів напряму підготовки 6.100101 – „Енергетика та електротехнічні системи в АПК” / Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О. – Ніжин.: 2011. – 98 с.
2. Основи електроприводу. Методичні рекомендації до практичних занять для бакалаврів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / А.А. Колб, Г.Г. Дяченко; Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка». – Д.: НТУ «ДП», 2021. – 83 с.
3. Основи електроприводу. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт для бакалаврів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / А.А. Колб, Г.Г. Дяченко; Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка». – Д.: НТУ «ДП», 2021. – 50 с.

#### **Інформаційні ресурси в Інтернеті:**

1. <https://elprivod.nmu.org.ua/ua/books/automaticED.php>
2. <https://auekiee.kpi.ua/wp-content/uploads/2021/06/ПО-5.pdf>
3. <http://ep3.nuwm.edu.ua/14317/1/04-03-104%20%281%29.pdf>

## Текст лекції

### 1. Класифікація електричних апаратів

Електричні апарати здійснюють функції керування рухом, захистом при ненормальних і аварійних режимах роботи автоматизованої системи.

З електричних апаратів, що застосовуються в схемах керування електроприводами, номенклатура яких досить широка, найбільш поширеними є апарати керування і захисту, до яких відносяться:

- апарати неавтоматичного керування (вимикачі, перемикачі, контролери);
- апарати автоматизованого керування недистанційної і дистанційної дії (контактори, реле, командні апарати – шляхові вимикачі, кнопки керування і інші);
- датчики, які контролюють технологічні параметри та режими роботи схеми;
- апарати захисту електричних кіл (реле, автоматичні вимикачі, запобіжники);
- комплектні пристрої (магнітні пускачі, магнітні станції, панелі керування);
- безконтактні електричні апарати для ланцюгів автоматики.

Загальними вимогами до всіх апаратів є: надійність роботи, протистояння механічних навантажень і електромагнітним зусиллям; простота їх влаштування та обслуговування; економічність (найменшу вагу, витрата дорогих матеріалів). Коротко розглянемо особливості конструкцій і роботи деяких електричних апаратів.

### 2. Апарати неавтоматичного керування

Рубильник – найпростіший електричний комутаційний апарат з ручним приводом і металевими ножовими контактами, що входять в нерухомі пружні контакти (гнізда), що використовується в електротехнічних колах для включення/відключення навантаження з великою силою струму.

Поширена конструкція рубильника, який розташований в силовому ящику і використовується в якості пускових апаратів для електродвигунів, показана на рисунку 1, а.



а



б



в

Рисунок 1 – Конструкції рубильників

Відкриті рубильники, перемикачі з центральною рукояткою застосовують для замикання і розмикання ланцюгів без навантаження (рис. 1, б), з боковою рукояткою – під навантаженням (рис. 1, в). Рубильники з центральним або бічним важільним приводом застосовують у силових розподільних пунктах і центральних розподільних щитах для включення і відключення електричних ланцюгів під навантаженням.

Рубильники встановлюються у вертикальному положенні з відключенням в напрямку зверху вниз, що полегшує гасіння електричної дуги.

Рубильники випускаються на номінальні струми 25–1000 А.

Пакетний вимикач – це електротехнічний пристрій призначений для відключення і включення двох-і трипровідних електричних кіл, для їх неавтоматичного замикання і розмикання при постійному і змінному струмі від  $10 \div 400$  А і напрузі 220 і 380 В. Такі пакетні вимикачі можуть виконувати функції і перемикачів.

В даний час промисловістю випускається велика різноманітність пакетних вимикачів (рис. 2) різних видів, марок, різних за виконанням конструкцій, пристрою.



Рисунок 2 – Конструкції пакетних вимикачів

Пакетний вимикач складається з декількох комутаційних пакетів із загальною вертикальною віссю, на якій закріплена рукоятка. Нерухомі та рухомі ковзні контакти поміщені в пакети і забезпечені фіброві шайбами для гасіння дуги. Пружини в пакетних вимикачах налаштовані таким чином, що комутація відбувається з однією і тією ж швидкістю, незалежно від швидкості повороту рукоятки (ручки).

Пакетний вимикач застосовуються для установки в ланцюгах малопотужних електродвигунів, освітлення та сигналізації в умовах рідких включень (15-20 вкл/год).

### **3. Пускорегулюючі і струмообмежуючі апарати неавтоматичного керування**

Опір (резистор) – це електричний апарат (рис.3) або його частина, за допомогою якого здійснюється обмеження величини струму в електричному ланцюзі

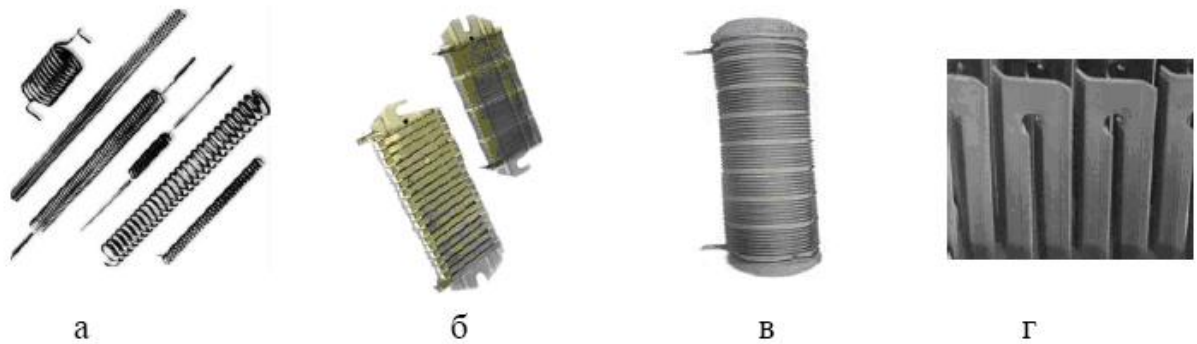


Рисунок 3 – Конструкції опорів (резисторів)

Призначення опорів дуже різноманітно. Найчастіше вони застосовуються для обмеження струмів і регулювання швидкості обертання в головних колах електродвигунів; для зниження напруги на затискачах робочих кіл різних апаратів і приладів в схемах керування і інших.

Опори складаються з окремих елементів, конструкція яких визначається їх призначенням та умовами роботи.

При тривалому режимі роботи стаціонарних установок застосовуються безкаркасні спіралі з круглого дроту або стрічки (рис. 3, а). Такі спіралі закріплюються на каркасі або рамі в натягнутому стані щоб уникнути замикання окремих витків.

Для тривалого режиму також використовуються рамкові опори (рис. 3, б), в яких спіраль зі стрічки або дроту щільно натягується на сталеву пластину, яка стикається з фарфоровими напівциліндрами, мають жолобки.

Такі опори використовуються для електродвигунів малої потужності.

При короткочасному режимі роботи електроустановок застосовуються опори на теплоемком каркасі з керамічного матеріалу – фарфору (рис. 3, в).

Пускові опори на значні струми, призначені для потужних електродвигунів та виконуються з литих чавунних пластин зигзагоподібної форми, що має наскрізні отвори (рис. 3, г). Такі опори можуть використовуватися і при повторно-короткочасному режимі роботи електроустановок.

Пускорегулювальні резистори (блоки резисторів) включаються в ланцюг ротора електродвигуна. Вони призначені для плавного пуску, регулювання швидкості і гальмування електродвигунів постійного і змінного струму, що працюють в електроприводах вантажопідіймальних кранів. В електроприводах, де застосовуються двигуни з короткозамкнутим ротором, пускорегулювальні резистори можуть включатися в коло статора, для обмеження пускового струму та забезпечення плавності ходу механізму.

Опори (резистори) застосовуються не тільки у вигляді самостійних апаратів, але і вбудованими в корпус реостатів.

Реостат – апарат, що складається з регульованого активного опору і перемикаючого пристрою (рис. 4). За призначенням реостати поділяються на пускові, баластні, регулювальні, навантажувальні, які включаються в ланцюг збудження електричних машин і називаються регуляторами збудження.

Реостат зазвичай включаються в момент пуску електродвигуна і потім по мірі його прискорення поступово виводиться.



Рисунок 4 – Конструкції реостатів

Пускорегулюючі реостати призначені для тривалого режиму роботи установки. Регулювання швидкості обертання електродвигуна досягається введенням більшого або меншого опору в ланцюг якоря або ротора електродвигуна.

Контролер – електричний апарат, що виконує функції перемикаючого пристрою і має ряд комутаційних положень, в результаті яких виробляються різні зміни схеми з'єднання керованого ланцюга.

Перемикання елементів схеми виробляється поворотом рукоятки, пов'язаної з валом апарату. За родом струму контролери класифікуються: по струму – постійного і змінного струму. За призначенням – силові, контакти яких включаються в головний ланцюг електродвигунів, командно-програмовані, що використовуються у приводних системах автоматизації і обчислювальної техніки.

В даний час в приводних механізмах використовуються силові контролери кулачкового типу (рис. 5), які широко поширені порівняно з барабанними.

Розрізняють кулачкові контролери з реостатним керуванням (рис. 5, а) і силові контролери з ручним приводом (рис. 5, б).

Кулачкові контролери забезпечені фіксуючим механізмом для зупинки вала в положенні, відповідному повному замиканні або повному розмиканню контактів. Поворот кулачкового валу здійснюється за допомогою штурвала або рукоятки. Контролер закривається знімним кожухом.



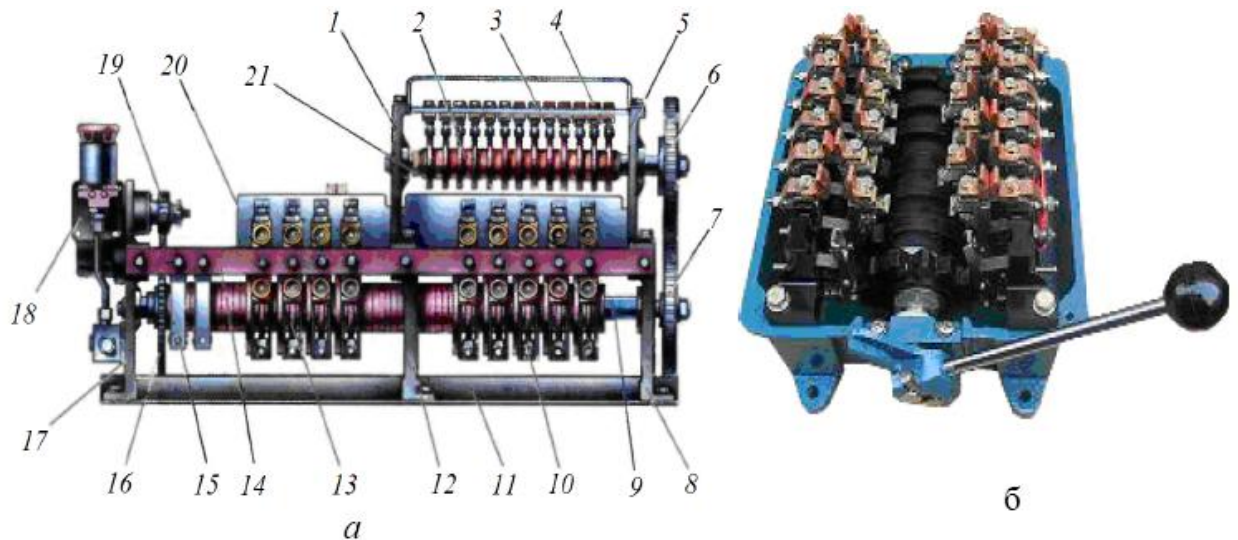


Рисунок 5 – Реостатний контролер (а) і силовий контролер з ручним приводом (б) : 1, 5 – рами пристрої блокування низьковольтних кіл; 2 – блокувальний кулачковий вал; 3 – рейка; 4 – блокувальний контакт; 6, 7 – шестерні приводу блокувального кулачкового вала; 8, 12, 17 – рами контролера; 9 – головний кулачковий вал; 10 – силовий кулачковий контакт; 11 – косинець; 13 – кулачкова шайба головного вала; 14 – ізоляційна рейка; 15 – фіксатори головного вала; 16, 19 – шестерні приводу головного кулачкового вала; 18 – електропневматичний привід; 20 – перегородка; 21 – кулачкова шайба блокувального валу

Номінальна потужність цих контролерів (навантаження двигуна, для якого призначений контролер) дана за умови не більше 600 включень в годину і ПВ, що дорівнює 40 %.

Силові кулачкові контролери відносяться до категорії апаратів безпосереднього ручного керування. Вони призначаються для керування крановими електродвигунами постійного і змінного струму механізмів режимних груп, а саме здійснюють пуск, реверсування та регулювання швидкості обертання електродвигунів шляхом зміни схеми і величини включених у електричне коло опорів.

Силові контролери є комплектними пристроями, які служать для забезпечення включення ланцюгів обмоток електродвигунів за заздалегідь заданою програмою, закладеної в конструкції кулачкового контролера.

Простота конструкції, надійність в роботі і малі габаритні розміри створили силовим контролерам широку популярність.

Завдяки цьому контролери є найбільш надійними і зручними в експлуатації комплектними пристроями керування крановими електроприводами, оскільки в цих пристроях повністю виключені порушення заданої програми, а включення і відключення, залежні від наміру оператора і забезпечують 100 %-ву готовність приводу до роботи.



#### 4. Апарати керування та захисту

Електричні апарати автоматичного керування приводяться в дію без участі обслуговуючого персоналу за допомогою пристроїв, керованих електрично при зміні параметрів або кінематичних зв'язків електроприводу і механізму.

Такі електричні апарати призначені для:

- пуску в хід електродвигунів, регулювання їх швидкості і напрямку обертання, гальмування, реверсу і відключення;
- захисту електродвигунів, механізмів електричних мереж від підвищених навантажень, коротких замикань, мимовільних включень-відключень і пошкоджень;
- блокування окремих елементів механізмів, що забезпечують задану послідовність дій або запобігають неправильну дію електричних апаратів.

Застосування автоматизованого процесу керування має велику перевагу, що дозволяє забезпечувати керування на відстані і з різних пунктів. Розглянемо деякі електричні апарати керування і захисту електричних автоматизованих систем.

Контактор – електромагнітний електричний апарат, призначений для частих комутацій електричних кіл. Контактор є апаратом дистанційної дії з кнопковим або автоматичним керуванням. Він також забезпечує захист електродвигунів від мимовільних повторних включень при появі напруги в мережі після його зняття або зниження. Замикання або розмикання контактів контактора здійснюється найчастіше за допомогою електромагнітного приводу.

Електромагнітні контактори отримали широке поширення, вони є основними комутуючими апаратами схем автоматизованого електроприводу.

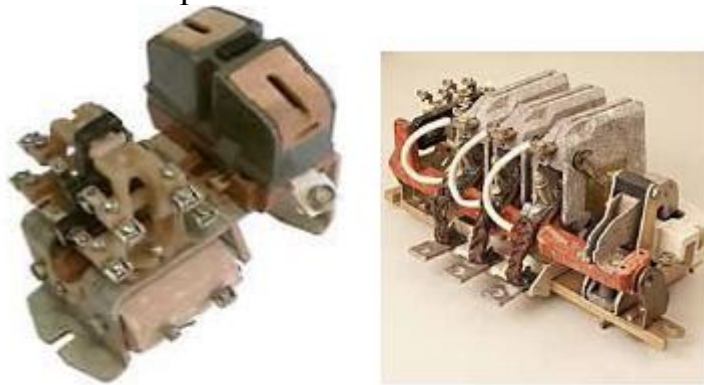


Рисунок 6 – Конструкції контакторів постійного і змінного струму

Контактори (рис. 6) розрізняються за родом струму: постійного, змінного (частотою 50 і 60 Гц), а також змінного струму підвищеної частоти (до 10 кГц). Вони можуть виконуватися з керуванням на постійному, або на змінному струмі частотою 50 і 60 Гц незалежно від роду струму головного ланцюга.

Контактори вибираються за основними технічними параметрами:

- 1) по призначенню й області застосування;
- 2) з категорії застосування;
- 3) за величиною механічної і комутаційної зносостійкості;

- 4) за кількістю і виконання головних і допоміжних контактів;
- 5) за родом струму і величин номінальної напруги і струму головного ланцюга;
- 6) по номінальному напрузі і споживаній потужності включають котушок;
- 7) за режимом роботи;
- 8) по кліматичному виконанню і категорії розміщення.

Контактор складається з наступних основних вузлів: головних контактів, дугогасної системи, електромагнітної системи, допоміжних контактів.

Головні контакти здійснюють замикання і розмикання силового ланцюга. Вони повинні бути розраховані на тривале проведення номінального струму і на виробництво великого числа включень і відключень при великій їх частоті.

Нормальним вважають стан контактів, коли втягує катушка контактора не обтекається струмом і звільнені всі наявні механічні засувки. Головні контакти

можуть виконуватися важільного і мостикового типу. Важільні контакти передбачають поворотну рухливу систему, мостикові – прямоходову.

Дугогасильні камери контакторів постійного струму побудовані на принципі гасіння електричної дуги поперечним магнітним полем у камерах з поздовжніми щілинами. Магнітне поле, переважно більшості конструкцій, збуджується завдяки включеній послідовно з контактами дугогасительной катушкою.

Контактори змінного струму виконуються з дугогасильними камерами з деіонними ґратами. При виникненні дуга потрапляє на решітку, розбивається на ряд дрібних дуг і в момент переходу струму через нуль гасне.

Дугогасна система забезпечує гасіння електричної дуги, яка виникає при розмиканні головних контактів. Способи гасіння дуги і конструкції дугогасильних систем визначаються родом струму головного кола і режимом роботи контактора.

Електромагнітна система контактора забезпечує дистанційне керування контактором, тобто включення і відключення. Конструкція системи визначається родом струму і кола керування контактора та його кінематичної схеми. Електромагнітна система складається з осердя якоря, катушки і кріпильних деталей.

Електромагнітна система контактора може розраховуватися на включення якоря і утримання його в замкнутому положенні або тільки на включення якоря. Утримання ж його в замкнутому положенні в цьому випадку здійснюється засувкою.

Відключення контактора відбувається після знеструмлення катушки під дією відключаючої пружини (начастіше), або власної ваги рухомої системи.

Допоміжні контакти виробляють перемикання в ланцюгах керування контактора, а також в ланцюгах блокування і сигналізації. Вони розраховані на тривале проведення струму не більш 20 А, і відключення струму не більш 5 А.

Контакти виконуються як замикаючі, так і ті, що розмикають, в переважній більшості випадків мостикового типу.

Контактори змінного струму призначені для комутації кіл змінного струму і будуються, як правило, триполюсними з замикаючими головними контактами.

Електромагнітні системи виконуються шихтованими, тобто набраними з окремих ізольованих один від одного пластин товщиною до 1 мм. Котушки низькоомні з малим числом витків. Основну частину опору котушки становить її індуктивний опір, який залежить від величини зазору. Тому струм у котушці контактора змінного струму при розімкнутій системі в 5–10 разів перевищує струм при замкнутій магнітній системі. Електромагнітна система контакторів змінного струму має короткозамкнений виток на осерді для усунення гудіння і вібрації.

Контактори постійного струму призначені для комутації кіл постійного струму і, як правило, приводяться в дію електромагнітом постійного струму.

Контактори постійного струму випускаються в основному на напругу 22–440 В., струми до 630 А., однополюсні і двополюсні.

Призначені для комутації головних кіл і кіл керування електроприводом постійного струму напругою до 220 В.

Магнітні пускачі – це електричні апарати (рис. 7), що призначені для автоматичної комутації електричних двигунів, а також їх реверсування. Як правило, вони використовуються для керування асинхронними електродвигунами з напругою живлення до 600 В.

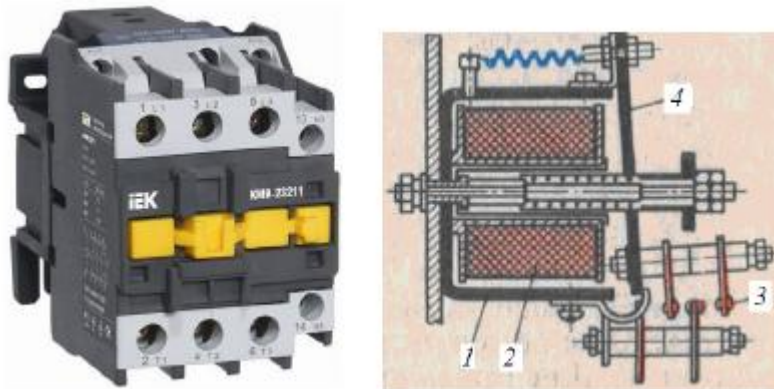


Рисунок 7 – Конструкція магнітного пускача

Основними елементами магнітного пускача є осердя, на якому поміщена втягуюча котушка, якір, пластмасовий корпус, механічні індикатори включення, а також основні і допоміжні блок – контакти. Крім того, у них досить часто вбудовується теплове реле для захисту електричних машин від перевантаження по струму в тривалому режимі.

При подачі напруги на котушку пускача 2, струм, що протікає в ній, притягує якір 4 до осердя 1, наслідком чого стане замикання силових контактів 3, а також замикання (або розмикання в залежності від виконання) блоку допоміжних контактів, які в свою чергу, сигналізують в систему керування про включення або відключення пристрою. При знятті напруги з котушки

магнітного пускача під дією поворотної пружини контакти розімкнуться, тобто повернуться у своє початкове положення.

Реле – це елемент автоматичного пристрою, який при впливі на його вхід зовнішніх фізичних явищ стрибкоподібно приймає значення вихідної величини.

За принципом дії реле поділяються на: електромагнітні, індукційні, магнітоелектричні, електродинамічні, електронні.

За принципом реагування на значення величини, що вимірюється, існують реле: а) максимальні; б) мінімальні; в) спрямованої дії; г) диференціальні (різниця величин); г) балансні (додаються або віднімаються сили від декількох вимірювальних механізмів).

За часом спрацювання ( $t_w$  – інтервал між моментом появи достатнього вхідного імпульсу на вимірювальному механізмі і моментом спрацювання) реле підрозділяють на: а) швидкодіючі (до 0,05 с); б) нормальні (до 0,15 с); в) уповільнені (до 1 с); г) з затримкою часу (більше 1 с). При спеціально забезпечуваною (з можливістю регулювання) затримку спрацювання реле називають реле часу.

За принципом впливу на керований ланцюг реле поділяються на контактні і безконтактні (електронні).

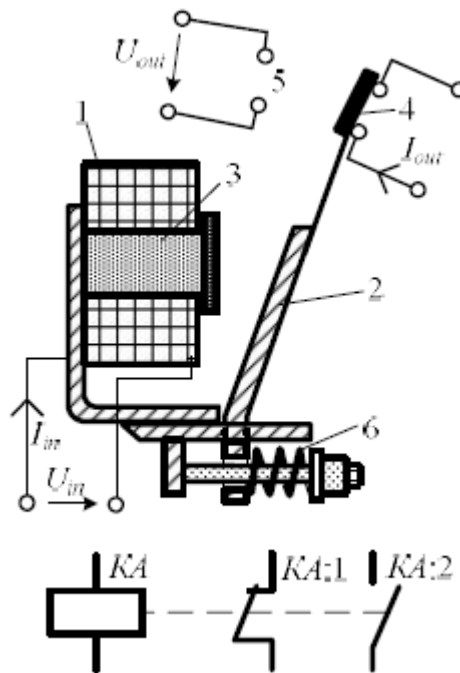


Рисунок 8 – Побудова та умовне позначення реле струму з поворотним якорем

Контактні реле впливають на вихідний параметр шляхом механічного замикання або розмикання контактів в керованому ланцюзі. В електронних реле основою є якась схема з напівпровідниковими приладами (діодами, транзисторами і т. д.).

Найпоширенішим типом є електромеханічні реле з поворотним якорем, які складаються з контактної системи і електромагніту. Контактна система має нерухомі і рухомі контакти. Приклад конструкції такого роду і умовні

позначення показані на рисунку 8. Вхідними сигналами є напруга  $U_{in}$  і струм керування  $I_{in}$ , вихідними – напруга  $U_{out}$  і струм  $I_{out}$  комутованих контактів.

Принцип дії реле досить простий (див. рис. 8): струмова котушка КА (1) створює магнітне поле і рухливий якір (2) притягується до осердя (3).

При цьому нормально замкнуті контакти КА:1 (4) розмикаються, розімкнуті КА:2 (5) – замикаються. Протидіюче зусилля і повернення якоря в початковий стан забезпечується пружиною (6). Регулюючи її стиснення гвинтом, змінюють значення струму і напруги спрацьовування і відпускання реле.

Приклад зовнішнього вигляду електромеханічного контактного реле струму дано на рисунку 9.



Рисунок 9 – Конструкція і основні елементи електромеханічного контактного реле



Рисунок 10 – Універсальне електронне реле максимальної /мінімальної напруги



Рисунок 11 – Реле для захисту електродвигунів

Електронні реле виконують різні функції, залежно від контрольованих параметрів. Наприклад, на рис. 10 показано універсальне електронне реле з номінальними параметрами 100В 50 Гц максимальної / мінімальної напруги та призначене для контролю допустимої величини і наявності напруги, а також комутації електричних кіл пристроїв захисту і автоматики електроустановок вище 1000 В.

Електронне реле (рис. 11) захисту асинхронних двигунів спрацьовує шляхом відключення або блокування пуску двигунів при виникненні аварійних ситуацій.

Таке реле охоплює діапазон струмів 160–630 А і призначене для захисту від перевантаження короткозамкнених асинхронних електродвигунів потужністю до 238 кВт. Час спрацьовування регулюється в межах 2–30 з у відповідності з фактичним режимом роботи.

Крім того, таке реле має світлодіодну індикацію наявності керуючої напруги; відключення через перегрів; обриву фази, високої температури обмотки двигуна. Основні функції реле: дистанційна зупинка; індикація положення і функція повернення у варіанті з дверного блокування панелі; регульована характеристика відключення; кнопка скидання; пробного відключення; шкала прямого пуску від мережі; контакти з гальванічною розв'язкою.

Кожен комплект захисту, побудований на сукупності різних реле, і його схема поділяються на дві частини: реагуючу і логічну.

Реагуюча (або вимірювальна) частина є головною. Вона складається з основних реле, які безперервно отримують інформацію про стан елемента, що захищається і реагують на ушкодження або ненормальні режими роботи обладнання або системи, подаючи відповідні команди на логічну частину захисту. В якості реагуючих застосовують: струмові реле, що реагують на зміну величини струму; реле напруги – на зміну величини напруги, реле опору – на зміну опору. У поєднанні з цими реле застосовуються реле потужності, що реагують на зміну величини потужності при КЗ, що проходить через місце установки захисту.

Логічна частина (або оперативна) є допоміжною. Вона приймає команди реагуючої частини, виробляє заздалегідь передбачені операції і подає керуючий імпульс на відключення відповідних контакторів або вимикачів. У логічну частину входять електромеханічні реле і електронні прилади, що визначають відповідні зміни величин.

До числа допоміжних реле відносяться: реле часу, що використовуються для уповільнення дії захисту; реле вказівні, що необхідні для сигналізації і фіксації дії захисту; реле проміжні, які передають дію основних реле на відключення вимикачів і використовуються для здійснення взаємного зв'язку між елементами захисту.

Реле, що діють при зростанні величини, на яку вони реагують, називаються максимальними, а реле, що працюють при зниженні цієї величини,





Конструкція цього апарату забезпечують надійне кріплення та безпечні умови експлуатації плавкого запобіжника у фарфоровій або аналогічній обоймі.

Плавкі вставки запобіжників в залежності від виконуваних функцій можуть бути з дроту або стрічки і робляться з свинцю, цинку, сплаву свинцю і олова, міді, срібла та інших провідникових матеріалів.

При перевищенні струму плавкої вставки від допустимого значення, вона нагрівається до температури плавлення металу, з якого виконана, і розплавляється. В результаті електричний зв'язок розривається.

Час спрацьовування запобіжника повинен бути менше часу нагріву ізоляції дроту, по якому тече струм КЗ, до максимально допустимої температури. Час спрацьовування залежить від сили струму, а також від температури навколишнього середовища. Наприклад, плавкий запобіжник на номінальний струм 250 А (див. рис. 12), може розірвати струм до 120 кА при напрузі до 500 В із застосуванням плавкої вставки (див. рис. 13).

Плавкі запобіжники, порівняно з автоматичними вимикача, є апаратами одноразової дії, оскільки після перегорання плавкої вставки потрібна її заміна, що не завжди здійснено.

Автоматичні повітряні вимикачі (рис. 14), призначені для нечастих комутацій електричних ланцюгів і захисту їх від струмів КЗ і перевантажень.

Розрив електричного кола в аварійних режимах здійснюється за допомогою

контактної системи при отриманні сигналу від розчіплювачів (теплових, напівпровідникових, електромагнітних, суміщених).

У момент розриву електричних контактів виникає електрична дуга, яка може призвести до обгорання елементи конструкції вимикача, що знаходяться поруч і його струмоведучі частини. Для гасіння електричної дуги використовуються у вимикачах дугогасильні камери. Автоматичні вимикачі є апаратами захисту багаторазової дії, оскільки реагують на певні струми КЗ і перевантажень, завдяки сигналам розчіплювачів, і мають селективність (вибірковість дії).

В даний час широко використовуються швидкодіючі диференціальні електричні апарати, що виконують суміщені функції і реагують на диференційний струм в провідниках, що підводять електроенергію до електроустановці, що захищається

Наприклад, на рисунку 15 показаний диференціальний автомат, який здійснює захист людини від електричного струму у випадку його витоку, або при випадковому зіткненні зі струмоведучими частинами обладнання.



Рисунок 14 – Автоматичні вимикачі в однополюсному і триполюсному виконанні



Рисунок 15 – Диференційний автомат

Завдяки цим властивостям диференціальний автомат знаходить широке застосування, як в комунальному господарстві, так і в промисловості.

## 5. Командні апарати і датчики

Командоапарати знаходять широке застосування при дистанційному керуванні електричними машинами і апаратами в схемах автоматизації електроприводу. Залежно від будови і дії контактів, що включають і перемикають, командоапарати можна розділити на два типу: командоапарати кнопкового управління; командоапарати обертаються.

Командоапарати кнопкового керування являють собою апарати неавтоматичної дії, що включаються до малопотужних допоміжних ланцюгів для дистанційного керування апаратами при напрузі 220 В.

В кнопках керування (рис. 16) рухомі контакти переміщуються і спрацьовують при натисканні на штовхач кнопки. Комплект кнопок, змонтованих на загальній панелі (або в блоці), являє собою кнопку станцію (рис. 17).

Всі кнопки керування, що використовуються в схемах автоматики, розрізняють за кількістю і типом контактів (від 1 до 4), формі штовхача (циліндричний, прямокутний і грибоподібний), написам і кольору штовхачів, а

також за способом захисту від дії навколишнього середовища (відкриті, закриті, герметичні, вибухобезпечні).

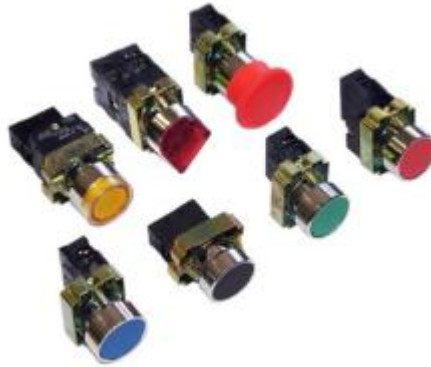


Рисунок 16 – Кнопки керування



Рисунок 17 - Кнопочні станції

Командоапарати, що обертаються, до яких відносяться командоконтролери (рис. 18). Такі апарати включаються в допоміжну ланцюг управління. По конструкції вони схожі на кулачкові контролери. Вони можуть використовуватися замість кнопкових станцій в колах керування реверсивними електродвигунами, які працюють в повторно-короткочасному режимі.



Рисунок 18 – Командоконтролери

Універсальні перемикачі. В колах керування електроприводом і апаратами широко застосовуються універсальні перемикачі типу УП. Пристрій секції такого перемикача показано на рис. 19.

Кожна секція має два контактних з'єднання (розриву). Номінальний струм перемикача 20 А.

Число контрольованих кіл (секцій) може змінюватися від 2 до 16.

Завдяки високій відключаючій здатності, великому числу кіл і комутаційних положень перемикачі УП широко використовують для пуску і реверсування електродвигунів потужністю до 5 кВт при напрузі до 500 В. Ці перемикачі зручно застосовувати для зміни напрямку і частоти обертання асинхронних двигунів шляхом перемикання обмоток їх котушок.



Рисунок 19 – Універсальні перемикачі

При використанні автоматів, що мають електромагнітний привід, а також вимикачів необхідно провести цілий ряд комутаційних операцій, при яких спочатку схема готується до пуску (включаються звукова сигналізація, тощо), а потім відбувається включення апарату. В таких випадках користуються перемикачами керування, контактна система яких аналогічна контактної системи пакетного вимикача.

На відміну від перемикача типу УП вал перемикача керування має як фіксовані положення, так і нефіксовані, з яких він автоматично повертається після того, як на вал перестав діяти оператор. Перемикач має два фіксованих положення рукоятки керування (горизонтальне і вертикальне) і два нефіксованих (45° від вертикального за годинниковою стрілкою і 45° від горизонтальної проти годинникової стрілки).

Датчики. До пристроїв, званими датчиками, що призначені для контролю положення механізму в системах автоматичного керування електроприводами, відносяться шляхові або кінцеві вимикачі.

Шляхові (рис. 20) і кінцеві вимикачі (рис. 21) являють собою комутаційні елементи, що кінематично пов'язані з робочою машиною і спрацьовують в залежності від переміщення рухомої частини робочої машини.

Шляхові вимикачі спрацьовують в певних проміжних точках на шляху переміщення. Кінцеві вимикачі спрацьовують у крайніх точках: на початку і кінці шляху. Особливо широко шляхові і кінцеві вимикачі використовуються в схемах автоматизованого електроприводу різних виробничих механізмів. З їх допомогою відбуваються автоматичне керування приводом на окремих ділянках шляху і автоматичне вимкнення в крайніх положеннях механізму.



Рисунок 20 – Шляховий вимикач



Рисунок 21 – Кінцеві вимикачі

Залежно від пристрою, що здійснює замикання або розмикання контактів, шляхові і кінцеві вимикачі можна підрозділити на кнопкові (натискні), важільні, шпindelьні та обертові. Перемикання контактів у цих вимикачах здійснюється наступним чином. У кнопкових – натисканням робочого органумеханізму на шток, з яким пов'язані контакти вимикача. У важільних – впливом робочого органу механізму на важіль, з яким пов'язані контакти. У шпindelьних – переміщенням гайки гвинта, зв'язаного через передачі з валом механізму. В обертових – перемикаючими кулачковими шайбами, пов'язаними з валом механізму.

В штокових вимикачах швидкість перемикання контактів визначається швидкістю переміщення виробничого механізму. При малій швидкості взаємне переміщення рухомих і нерухомих контактів відбувається повільно, що призводить до тривалого горіння дуги, яка виникає між контактами, що розмікаються і їх швидкого руйнування через оплавлення і посиленого окиснення. Для нормальної роботи такого вимикача швидкість переміщення механізму повинна бути не менше 0,5 м/хв. А для забезпечення миттєвого перемикання контактів використовуються спеціальні пружинні механізми, які звільняються за допомогою спускових механізмів (собачок). Пружини також використовуються для забезпечення необхідної сили контактного натискання.

## **6. Конструкції трансформаторів та їх призначення**

Трифазні трансформатори. Використання електроенергії в трифазних асинхронних і синхронних двигунах, в установках з трифазними випрямлячами та в інших випадках здійснюється у вигляді трифазної системи змінного струму, тому і трансформатори для такої системи необхідні відповідні.

Трансформування енергії трифазного струму можна здійснювати трьома однофазними трансформаторами або спеціальним трифазним трансформатором, який виходить дешевше і менших габаритів. Схема трифазного трансформатора дана на рисунку 24.

Як первинні, так і вторинні обмотки можуть з'єднуватися в «трикутник» і «зірку». В «зірці» може бути виведена і нейтральна точка і тоді вийде, наприклад, варіант  $Y/Y$ .

В залежності від схеми з'єднання лінійні напруги на вихідних затискачах вторинної обмотки можуть збігатися по фазі з однойменною лінійною напругою первинної обмотки або бути зрушені по фазі на  $300^\circ$ . Можливі й інші варіанти.

Вимірювальні трансформатори (рис. 25) застосовуються для розширення меж вимірювання вимірювальних приладів змінного струму, що особливо необхідно при вимірюванні дуже великих напруг і струмів.

Вимірювальні трансформатори дозволяють також повністю ізолювати прилади від ланцюга високої напруги, в якій проводиться вимірювання.

Трансформатор струму (ТС) використовують для включення послідовних ланцюгів вимірювальних приладів і автоматики, сигналізації та керування в електричних мережах частотою 50 Гц або 60 Гц. Такі трансформатори працюють в режимі, близькому до КЗ. При цьому не можна розмикати їх вторинну обмотку, тому як в цьому випадку на її затискачах знаходиться висока напруга (рис. 26).



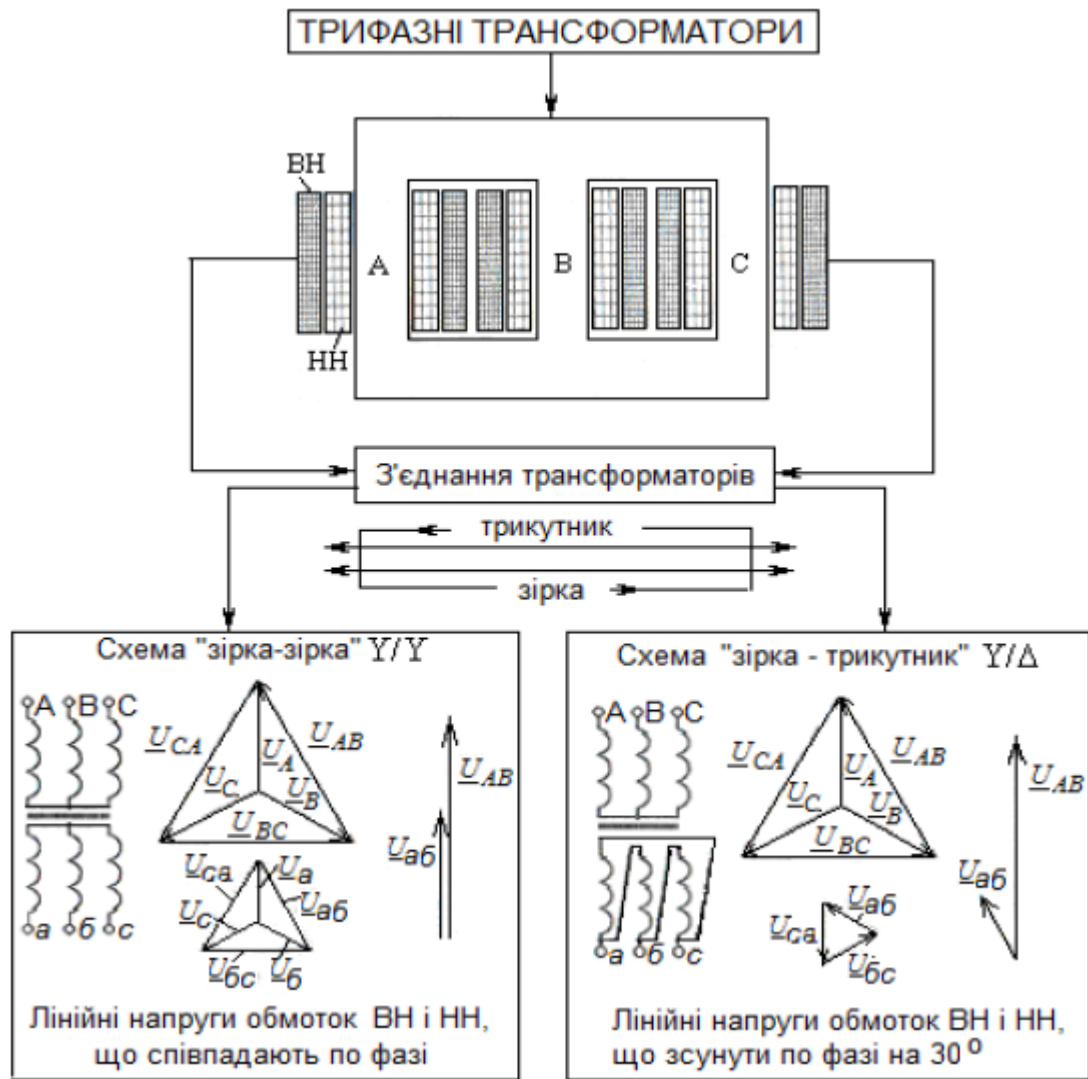


Рисунок 24 – Особливості трифазних трансформаторів

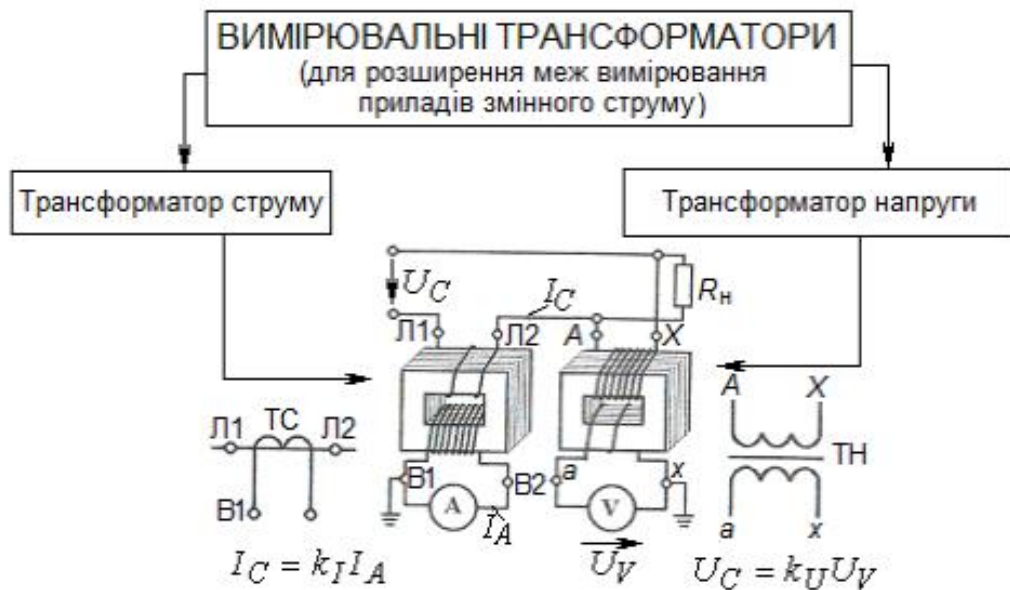


Рисунок 25– Схеми включення вимірювальних трансформаторів





Рисунок 26 – Конструкції трансформаторів струму



Рисунок 27 – Конструкції трансформаторів напруги

Трансформатор напруги (ТН) використовують для включення вольтметрів і паралельних ланцюгів напруги інших приладів.

Трансформатори напруги трифазні, масляні і сухі є масштабними перетворювачами і призначені для вироблення сигналу вимірювальної інформації для електричних вимірювальних приладів, ланцюгів захисту та сигналізації у мережах змінного струму з ізольованою нейтраллю, а також для контролю ізоляції мережі (рис. 27).

Трансформатори застосовуються для зниження високої напруги 6 або 10 кВ до 100 В, а також для обліку, в тому числі комерційного і захисних пристроїв електричної енергії в установках змінного струму.

## 7. Безконтактні апарати та пристрої кіл автоматики

Безконтактні апарати складаються з безконтактних елементів і мають так само вимірювальні органи (ВО), що реагують і логічні частини (ЛЧ), на виході яких встановлюються вихідне реле (Р), що посиляє команду, наприклад на відключення вимикача (рис.28).

Безконтактні апарати володіють високою надійністю і вимагають незначного догляду, ніж багатоконтактні, наприклад, схеми з електромеханічним реле. У безконтактних схемах застосовуються поодинокі контактні реле в якості вихідних реле захисту. Останнім часом для цієї мети використовують більш надійні і малогабаритні, герметичні, магнітокеровані реле (геркони).



Рисунок 28 – Безконтактні пристрої автоматики



Рисунок 29 – Логічний елемент

Логічна частина безконтактних реле сприймає сигнали основних органів, реагують на стан мережі, і за певною передбаченою схемою програми, в залежності від характеру і поєднання сигналів, що надходять, проводити операції, забезпечуючи дію або не дію напівпровідникового захисту.

Логічна частина має кілька складових елементів, що виконують найпростіші операції.

Наприклад, на вхід логічного елемента НІ (рис. 29) подаються сигнали, які при певному поєднанні вхідного сигналу викликають появу вихідного сигналу (поява або зміна напруги). Якщо логічний елемент не працює, то напруга на його виході  $U_{out}$  дорівнює нулю або менше заданого значення  $U_{in}$ .

Зазвичай кожен сигнал позначається певною буквою і йому приписуються два умовних цифрових значення: 0 (відсутність сигналу) і 1 (поява сигналу). Таке позначення використовується для умовного запису логічних функцій, що характеризують залежність вихідного сигналу від вхідного. Аналіз складних логічних схем заснований на використанні математичних дисциплін, зокрема алгебри логіки.

В релейних схемах на напівпровідникових елементах використовуються, в основному, три найпростіших логічних операції, умовно названі АБО, І, НІ.

Кожна з цих операцій може виконуватися з допомогою контактних і безконтактних елементів.

Схема, що здійснює операцію АБО (рис. 30, а). Сигнали на вході позначені як А, В і С, вихідний сигнал – Х.

Сигнал Х на виході схеми АБО виникає при появі хоч би одного вхідного сигналу: або А, або В, або С.

Схема (рис. 30, б), що визначає операцію АБО, може виконуватися у вигляді контактів електромеханічних реле, при якій контакти електромеханічних реле А, В і С з'єднуються паралельно. При спрацьовуванні будь-якого реле з'являється вихідний сигнал, що надходить на наступний елемент схеми. У цьому випадку реле А, В, С є пусковими. Безконтактна схема, що визначає операцію АБО застосовується в аналогічних випадках і може виконуватися з допомогою резисторів, діодів (рис. 7.30, в, г, д) або транзисторів.

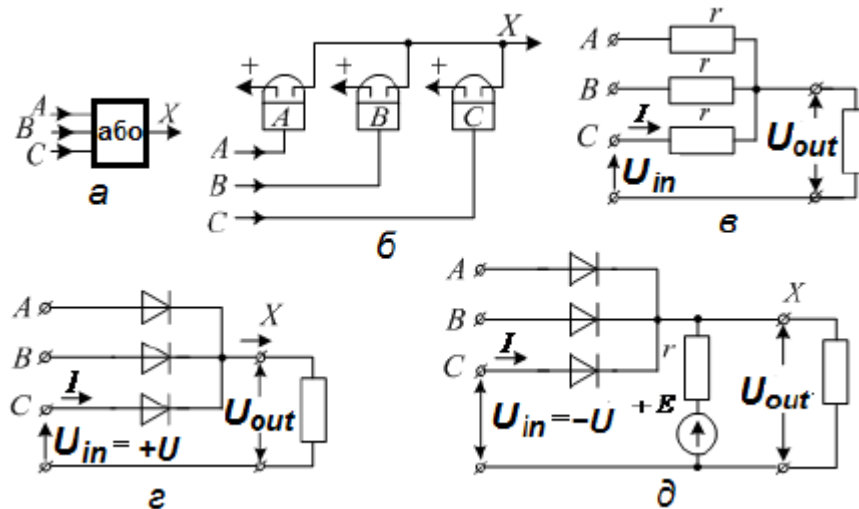


Рисунок 30 – Логічні схеми операції «АБО»

Схема на резисторах (рис. 30, в) свідчить про наявність або відсутність сигналів на затисках А, В, С. Так, при відсутності напруги  $U_{in}$  на затискачах, напруга на виході  $U_{out} = 0$ . Це означає, що вихідного сигналу немає. При подачі напруги  $U_{in}$  хоча б на один вхідний затискач з'являється напруга, що означає появу вихідного сигналу.

Схема з діодами (рис. 30, г) працює аналогічно.

Схема, показана на рисунку 30, д, застосовується у тому разі, коли в точці Х є позитивне напруга  $+E$  (у разі подання елементом сигналу на транзистор підсилювача). При подачі негативної напруги  $U_{in}$  на один із затискачів А, В або С відповідний діод відкривається і на затискачу Х з'являється негативна напруга  $U_{out} = U_{in} - I \cdot r$ .

В алгебрі логіки операція АБО називається логічною сумою і позначається знаком «+» або V.

Схема, що здійснює операцію І (рис. 31, а).

Сигнал Х на виході цієї схеми виникає тільки при одночасній появі сигналів на всіх входах А і В схеми.

Подібна операція має місце, наприклад, у схемі максимального струмового спрямованого захисту, яка посиляє імпульс на реле часу, а також у схемі дистанційного захисту, якщо спрацьовує струмове реле і реле потужності.

Ця схема, також може виконуватися у вигляді

контактів електромеханічних реле (рис. 7.31, б), при якій контакти електромеханічних реле А і з'єднуються послідовно. Безконтактна схема також

застосовується в аналогічних випадках і може виконуватися на резисторах, діодах (рис. 7.31, в, г, д) або транзисторах.

У схемі на діодах (рис. 31, в) при появі сигналу А у вигляді позитивної напруги  $U_{CA}$  діод D1 відкривається і по резисторам R1 і R2 проходить струм.

Потенціал точки Х дорівнює падінню напруги на R2, його величина мала і недостатня для приведення в дію елемента, підключеного до виходу схеми Х.

При появі одного (позитивного) сигналу В діод D1 закритий і не пропускає сигнал В в точку Х. Якщо ж сигнали А й В з'являються одночасно, то сигнал В закриє діод D1. Високий позитивний потенціал від сигналу А потрапить у точку Х і надійде на елемент, підключений до виходу схеми.

Аналогічно працює варіант схеми «І», зображеної на рисунку 31, г.

У варіанті схеми (рис. 31, д) напруга  $U_{out}$  на виході схеми (в точці Х) з'являється лише за умови, що на всі вхідні затискачі схеми А і В подані напруги позитивного знаку  $E_A$  і  $E_B > E_{AB}$ . У цьому випадку діоди  $D_A$  і  $D_B$  замкнені. При появі тільки одного сигналу, наприклад  $E_A$ , діод  $D_B$ , що не має сигналу, під дією  $E_{AB}$  відкритий і шунтує вихідні затискачі Х – 0, тому напруга  $U_{out} = 0$  і вихідний сигнал відсутній.

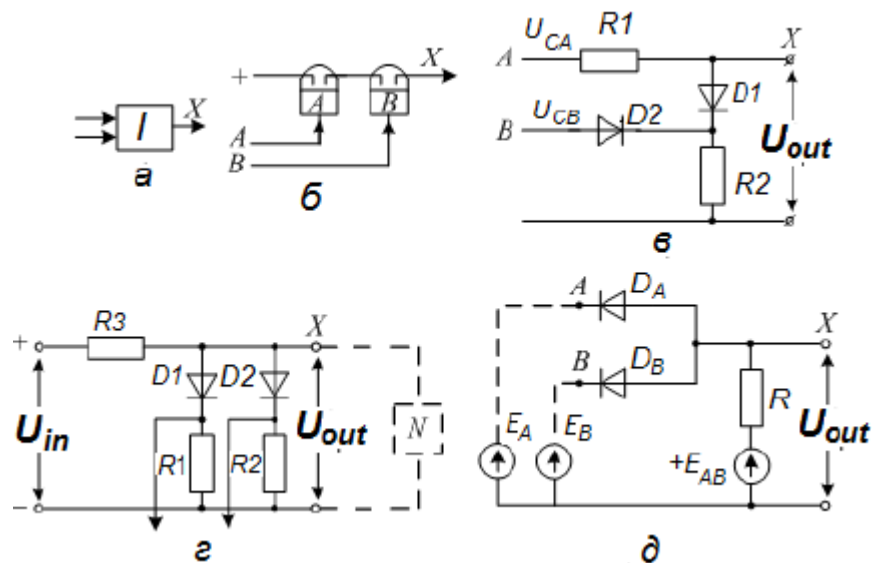


Рисунок 31 – Варіанти логічної схеми операції «І»

В алгебрі логіки операція «І» розглядається як логічне множення, позначається знаком  $\times$  або  $\Lambda$ .

Схема, що виконує операцію «НІ» (рис. 32, а).

При відсутності вхідного сигналу А на виході схеми є сигнал Х, при появі вхідного сигналу А сигнал на виході схеми зникає. Прикладом операції «НІ» може служити схема блокування напруги (рис. 32, б). Через замкнуті контакти реле Н на захист подається плюс. У разі обриву ланцюга напруги (з'являється сигнал А) реле Н спрацьовує, його контакти розмикаються і знімають плюс з захисту.



10. Що являють собою магнітні пускачі.
11. За яким принципом поділяються реле?
12. Які частини входять в комплект релейного захисту?
13. Які існують апарати захисту?
14. Перелічити командні апарати
15. Для чого використовуються трансформатори?
16. У чому полягає принцип дії трансформаторів?
17. Які існують види трансформаторів?
18. Що собою являють безконтактні електричні апарати?
19. Що є основним елементом безконтактних апаратів?
20. На чому основана робота логічних елементів?
21. Перелічити основні елементи логічних схем.