

## Лекція 3

(4 години)

# ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ

### План лекції

1. Призначення релейного захисту.
2. Вимоги до релейного захисту та принцип його дії.
3. Класифікація реле.
4. Будова та принцип дії реле.
  - 4.1 Електромеханічні реле.
  - 4.2 Напівпровідникові (мікроелектронні реле).
  - 4.3 Мікропроцесорні реле.
  - 4.4 Неелектричні реле.

### 1 Призначення характеристика релейного захисту

*Релейний захист* – це сукупність спеціальних пристроїв і засобів (реле, вимірювальних трансформаторів та інших апаратів), яка забезпечує автоматичне вимикання пошкодженої частини електроустановки або мережі. Якщо пошкодження не викликає безпосередньої небезпеки для установки, то релейний захист діє на сигнал, не вимикаючи її.

#### **Релейний захист повинен:**

- по-перше, виявити пошкодження елементу мережі;
- по-друге, вимкнути пошкоджений елемент, щоб запобігти його руйнуванню, та зберегти нормальну роботу інших елементів мережі;
- по-третє, дією на автоматику (автоматичне повторне вмикання, автоматичне введення резерву) відновити нормальне електропостачання споживачів.

Для виконання вказаних функцій релейний захист повинен безперервно отримувати інформацію про стан об'єкта, що захищається (струм, напруга та ін.), забезпечити її обробку та при відхиленні параметрів, що контролюються, за допустимі межі відпрацювати відповідну команду (сигнал).

В загальному вигляді релейний захист може мати чотири основних органи: *вимірювальний, логічний, сповільнючий і виконавчий*. В деяких пристроях релейного захисту (мікроелектронних, мікропроцесорних) є також орган формування сигналу та орган живлення.

*Вимірювальний* орган безперервно контролює зовнішній параметр мережі (елемента). *Логічний* (порівнюючий) орган формує командний сигнал при виконанні заданих умов. *Виконавчий* орган формує вихідний керуючий сигнал на вимикач об'єкта, що захищається або на сигналізацію. Для сповільнення дії релейного захисту використовують *сповільнючий* орган (наприклад, реле часу), який забезпечує необхідну витримку часу до спрацювання захисту.

## **2 Вимоги до релейного захисту та принцип його дії**

Основними вимогами, що ставляться до пристроїв релейного захисту будь-якого елемента мережі є вибірковість дії, висока швидкість дії, висока чутливість та надійність захисту.

*Вибірковість дії (селективність)* забезпечує вимикання лише пошкодженої ділянки мережі або її елемента. Селективність захисту забезпечується вибором часу спрацювання, налаштуванням за струмом, напругою, відстанню від місця установки захисту до аварійної точки та за іншими параметрами.

Вимога вибірності дії релейного захисту не виключає можливості його роботи в якості резервного при відмові захисту на сусідній ділянці мережі.

*Швидка дія* релейного захисту забезпечує безперебійність електропостачання непошкоджених елементів мережі, зменшує загрозу пошкодження апаратури аварійними струмами і підвищує стійкість паралельної роботи кількох джерел електроенергії.

Якщо пошкодження виявляє релейний захист, а вимикає його вимикач, то швидкість дії захисту складається із тривалості роботи релейного захисту і роботи вимикача.

*Висока чутливість* захисту забезпечує вимикання ділянки при замиканні в будь-якій точці зони захисту і на початку аварійно-

го режиму, коли електрична апаратура і струмопроводи ще не пошкоджені дією струмів короткого замикання. Чутливість захисту оцінюється коефіцієнтом чутливості.

Вимога чутливості захисту забезпечує зменшення розмірів пошкоджень елементів обладнання і більш надійну роботу непошкоджених елементів.

**Висока надійність роботи** виключає відмову чи помилкове спрацювання релейного захисту. Захист повинен чітко і безвідмовно діяти при пошкодженнях в зоні, що захищається і не повинен спрацювувати тоді, коли це не передбачається.

Для задоволення вказаних вище вимог потрібно правильно вибирати захист, коректно розраховувати його параметри, якісно монтувати і технічно грамотно експлуатувати.

Принцип дії, необхідні реле і схеми захисту вибирають відповідно до конструкції елемента, що захищається, режиму роботи нейтралі, напруги, потужності, умов стійкості, паралельної роботи елементів тощо.

За принципом дії розрізняють декілька типів релейного захисту.

**Струмовий захист** контролює струм в елементі мережі і діє тоді, коли струм змінює своє значення. Якщо струмовий захист доповнений органом направлення потужності – це **струмовий направлений захист**.

Релейний захист, який реагує на підвищення параметру, що контролюється, називають **максимальним**. Захист, який реагує на зменшення контрольованого параметру, називають **мінімальним**.

**Дистанційний захист** діє з витримкою часу, яка автоматично збільшується із збільшенням відстані (дистанції) від місця знаходження захисту до місця пошкодження.

**Диференціальний захист** діє тоді, коли різниця двох або кількох значень струму є більшою від заданого значення (значення струму відповідають початку і кінцю захисної зони).

Як правило, захищають окремі елементи електричної мережі, тому на практиці розрізняють релейний захист генераторів, трансформаторів, електричних мереж, шин станцій і підстанцій, вводів трансформаторів, електродвигунів та ін.

### 3 Класифікація реле

*Реле* – це автоматично діючий апарат, в якому при досягненні заданого значення вхідної величини відбувається стрибкоподібна зміна режиму вихідного кола. Це явище називається *релейним ефектом*.

За призначенням всі реле можна розділити на дві групи:

– *основні (вимірювальні)* – реле струму, напруги, потужності, опору, тобто ті, що реагують безпосередньо на зміну режимних параметрів мережі;

– *допоміжні* – реле часу, проміжні, вказівні та ін., тобто реле, які діють за командою перших (вимірювальних) і забезпечують логічні та інші операції у пристроях релейного захисту.

Електричні реле, що використовуються в схемах релейного захисту, поділяють на електромагнітні, індукційні, електродинамічні, електронні, теплові, напівпровідникові, мікропроцесорні. Принцип дії цих реле аналогічний до принципу дії електричних вимірювальних приладів.

Із неелектричних реле, що використовуються в установках електропостачання, поширені газові та механічні реле частоти обертання.

В залежності від параметра, на зміну якого реагує реле, розрізняють реле **струму, напруги, опору, частоти, потужності** та ін.

За характером зміни параметра, що контролюється, розрізняють **максимальні реле**, які спрацьовують при збільшенні значення вхідного параметра, і **мінімальні реле**, що діють при його зменшенні.

За способом вмикання в коло розрізняють **первинні і вторинні реле**.

*Первинні реле* вмикають в коло, що захищається, безпосередньо. Вони зазнають значних електродинамічних і термічних навантажень. Первинні реле використовують в основному лише в установках напругою до 1000 В і в сільських мережах напругою 10 кВ.

*Вторинні реле* вмикають до вторинної обмотки трансформаторів струму чи напруги. Вони ізольовані від первинних кіл, і тому

не мають недоліків, характерних для первинних реле. Крім цього, вторинні реле розраховані на певні струми і напруги, незалежно від струму чи напруги первинного кола мережі.

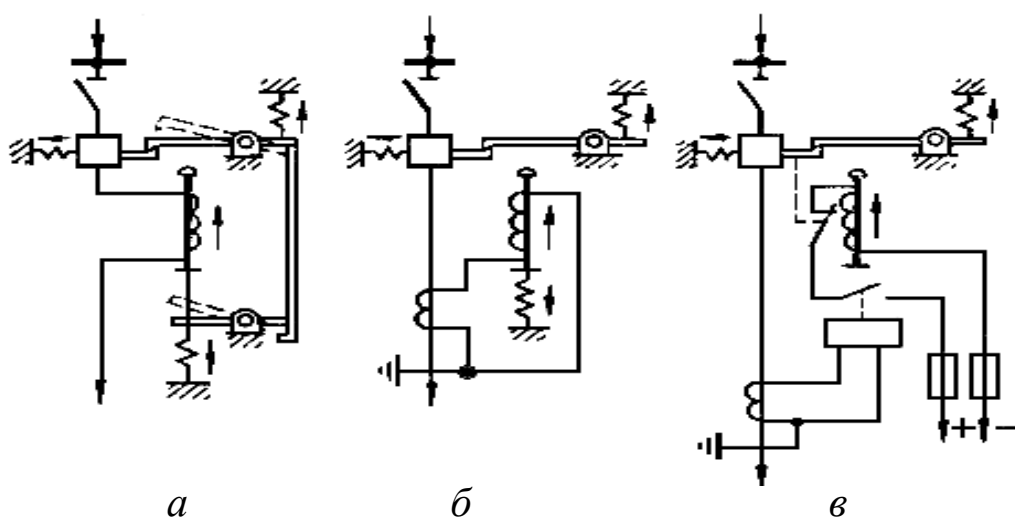
За способом дії на вимикач розрізняють реле **прямої і посередньої дії**.

*Реле прямої дії* при спрацюванні діють безпосередньо на механізм вимикання вимикача. Для своєї роботи вони не потребують оперативного струму, що значно спрощує захист. Проте, оскільки безпосередня дія на механізм вимикання вимикача потребує виконання значної механічної роботи, конструкція таких реле ускладнюється. В сільській енергетиці, де важлива простота релейного захисту, ще використовують (дуже рідко) вторинні реле прямої дії.

*Реле посередньої дії* на механізм вимикання вимикача діє через проміжний електромагнітний механізм (котушку вимикання вимикача).

Вторинні реле посередньої дії найповніше задовольняють вимоги високої точності і надійності. Вони мають мінімальну потужність власного споживання електричної енергії, оскільки здійснюють роботу лише по замиканню і розмиканню своїх «легких» контактів оперативних кіл.

На рисунку 1 подано спрощені схеми релейного захисту із використанням струмових реле різних типів.



*a* – із первинним реле прямої дії; *б* – із вторинним реле прямої дії; *в* – із вторинним реле посередньої дії

Рисунок 1 – Схеми релейного струмового захисту

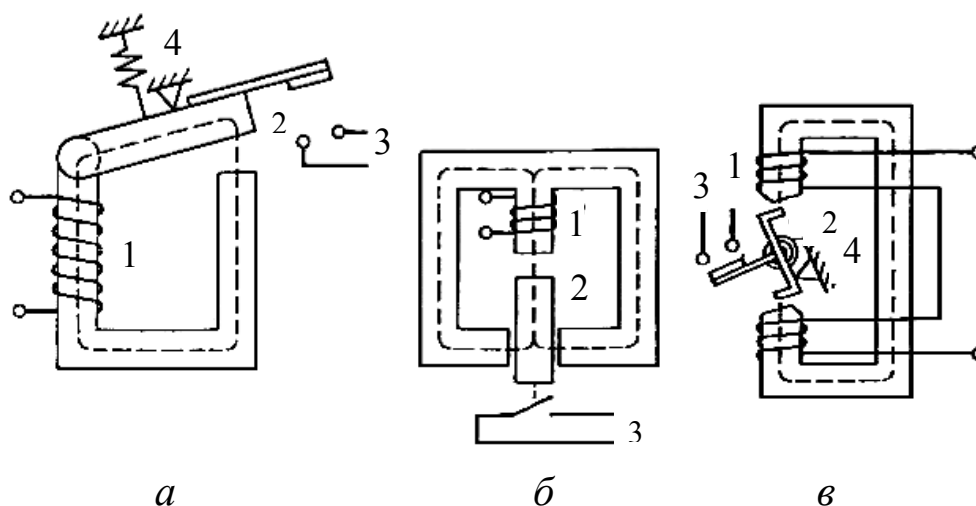
Первинні захисні реле прямої дії (рисунок 1, *а*) мало розповсюджені, незручні в експлуатації, мають значні габарити. Вторинні реле прямої дії (рисунок 1, *б*) зручні тим, що для роботи не потребують джерел оперативного струму, але при безпосередній дії на вимикач виконується порівняно велика механічна робота, що не дозволяє конструювати ці реле як точні прилади.

Вторинні реле посередньої дії (рисунок 1, *в*) мають високу чутливість та надійні в роботі, малі габарити та низьке споживання енергії.

## 4 Будова і принцип дії реле

### 4.1 Електромеханічні реле

В установках електропостачання сільськогосподарських споживачів широко використовують електромагнітні, індукційні та теплові реле. Промисловість випускає електромагнітні реле трьох основних електромагнітних систем: клапанного типу (із поворотним якорем), соленоїдного типу (із якорем, що втягується) та із поперечним рухом якоря (рисунок 2).



*а* – клапанного типу; *б* – соленоїдного типу; *в* – з поперечним рухом якоря.

Рисунок 2 – Схеми електромагнітних реле

Принцип дії цих реле заснований на електромагнітній дії електричного струму. Реле складається із електромагніту 1 (рисунок 2), рухомого якоря 2, протидіючої пружини 4 та системи контактів 3.

При проходженні по обмотці реле струму спрацювання реле  $I_{сп.р}$  створюється магнітний потік  $\Phi_{сп.р}$ , який замикається через магнітопровід, якір і повітряний зазор. Під дією електромагнітної сили  $P_{е.м}$  якір притягується до ярма і металевою пластиною замикає нерухомі контакти оперативного кола 3. Якір може мати форму клапана (рисунок 2, а), стержня (рисунок 2, б) або пелюстки (рисунок 2, в). Сила притягування якоря  $P_{е.м}$  пропорційна квадрату струму, що проходить по робочій обмотці реле.

Силі  $P_{е.м}$  протидіє практично стала сила натягу пружини  $P_{пр}$ . Реле спрацюває, якщо  $P_{е.м} > P_{пр}$ . Регулювати струм спрацювання реле можна перемиканням кількості витків робочої обмотки (змінювати  $P_{е.м}$ ) або зміною натягу пружини (змінювати  $P_{пр}$ ).

Реле клапанного типу (рисунок 2, а) мають значний надлишковий момент в кінці ходу якоря, що забезпечує добре притискання контактів. Тому реле такого типу широко використовуються в якості проміжних реле із великою кількістю контактів. На базі цієї системи також виконують вказівні реле. Ці реле мають значне споживання електроенергії та низький коефіцієнт повернення.

Соленоїдні електромагнітні реле виконують здебільшого броньового типу (рисунок 2, б). Це підвищує їх чутливість, оскільки така конструкція магнітопроводу дозволяє збільшити індукцію у повітряному зазорі за рахунок підтримання постійного мінімального зазору при роботі реле. При втягуванні стержня, із яким з'єднані рухомі контакти, повітряний зазор практично не змінюється.

Реле соленоїдного типу мають великий хід якоря і забезпечують значне зусилля. Таку систему використовують для виготовлення реле прямої дії та деяких типів проміжних реле.

У реле з поперечним рухом якоря (рисунок 2, в) вибором раціональних профілів полюсів електромагніту і самого якоря можна одержати різну залежність моменту повороту якоря від кута повороту. У таких реле можна використати значно більші кути повороту якоря, ніж у реле інших системи.

Реле з поперечним рухом якоря мають низьке споживання електроенергії, високий коефіцієнт повернення та високу точність

спрацьовування. Систему з поперечним рухом якоря використовують у вимірювальних реле струму та напруги.

Оскільки сила притягування якоря реле пропорційна квадрату струму (поток), вона не залежить від знаку. Тому електромагнітну систему можна використати як для постійного, так і для змінного струму. Для змінного струму сила притягування якоря буде пульсуючою і якір може вібрувати.

Щоб усунути вібрацію, потік обмотки реле розділяють на два потоки зсунуті в просторі і за фазою. Для цього використовують короткозамкнений виток (кільце) на частині якоря або полюса електромагніту. Для зменшення вібрації використовують також контакти, що пружинять або спеціальні барабанчики із наповнювачем, які закріплюють на рухомій частині реле.

При збільшенні струму в обмотці реле максимального струму до заданого значення, яке називається **струмом уставки** ( $I_{y.p.}$ ), реле спрацьовує і замикає свої контакти, внаслідок чого в оперативному колі виникає струм.

Найменше значення струму, при якому реле максимального струму спрацьовує, називають **струмом спрацювання реле** ( $I_{cn.p.}$ ). Відхилення цього значення від струму уставки реле ( $I_{y.p.}$ ) характеризує точність роботи реле. Для релейного захисту точність спрацювання повинна становити  $\pm 5\%$ .

Якщо струм в обмотці реле максимального струму зменшуватиметься, то реле повернеться у вихідне положення при струмі, меншому від  $I_{cn.p.}$ . Поверненню реле перешкоджають сили тертя, магнітна інерція та деякі інші фактори. Найбільше значення струму, при якому реле максимального струму повертається у вихідне положення, називається **струмом повернення реле** ( $I_{нов.p.}$ ).

Відношення струму повернення до струму спрацювання називається **коефіцієнтом повернення реле** ( $K_{нов.}$ ):

$$K_{нов.} = \frac{I_{нов.p.}}{I_{cn.p.}}. \quad (1)$$

Для максимальних реле  $\kappa_{нов.} < 1$ , а для мінімальних реле  $\kappa_{нов.} > 1$ . Реле мінімального струму спрацьовує при зменшенні струму в обмотці нижче заданого значення  $I_{y.p}$ .

**Будова і робота електромеханічних реле.** В релейному захисті здебільшого використовують електромагнітні та індукційні реле. Найбільшого поширення набули струмові реле.

Вторинні струмові реле прямої дії РТМ і РТВ вмонтовують у приводи вимикачів типу ППМ-10, ПП-61, ПП-67. За принципом дії реле РТМ та РТВ належать до реле соленоїдного типу. Струм спрацювання реле РТМ регулюється зміною кількості витків обмотки та зміною повітряного зазору між ударником і важелем.

Реле РТВ має аналогічну із РТМ конструкцію. Додатково, в нижній частині корпусу, реле РТВ має годинниковий механізм витримки часу, який тягою зв'язаний з ударником. Осердя реле порожнє, всередині його розміщена пружина, яка нижнім кінцем закріплена за осердя, а верхнім натискає на стопорне кільце, закріплене на ударнику. Уставка реле регулюється перемикачем поворотного типу, а регулювання витримки часу в межах 0...4 с здійснюється регулювальним гвинтом, який розміщений нижче годинникового механізму.

Потужність власного споживання реле РТМ і РТВ, вмонтованих у привод ПП-67 і вимикач ВМП-10П, порівняно мала і становить на змінному струмі 50...20 ВА.

Котушки реле РТМ і РТВ застосовують лише для релейного захисту. В пружинних приводах вимикачів для дистанційного керування вимикачем або для вимикання його від релейного захисту з реле посередньої дії використовують вмонтовані в привод електромагніти вимикання.

Вторинні реле посередньої дії, реле струму РТ-40 і реле напруги РН-50 відносяться до електромагнітних реле з поперечним рухом якоря. На розімкнутому П-подібному магнітопроводі 1 реле РТ-40 (рисунок 3) з двома полюсами розміщено робочі обмотки 2, які можуть з'єднуватися послідовно або паралельно. При зміні з'єднання

обмоток ступінчасто змінюється струм спрацювання реле РТ-40. При послідовному з'єднанні обмоток струм спрацювання реле в два рази менший в порівнянні із струмом при паралельному їх з'єднанні.

У повітряному зазорі між полюсами розміщується поворотний якір 3, виготовлений із електротехнічної сталі. Під впливом магнітного поля полюсів він намагається повернутися. Руху якоря протидіє пружина 9, натяг якої змінюють, переміщуючи поводок 8. Цим забезпечується плавне регулювання струму уставки реле. Положення пружини, а отже, і уставка реле, фіксується положенням повідка 8 на покажчику 7.

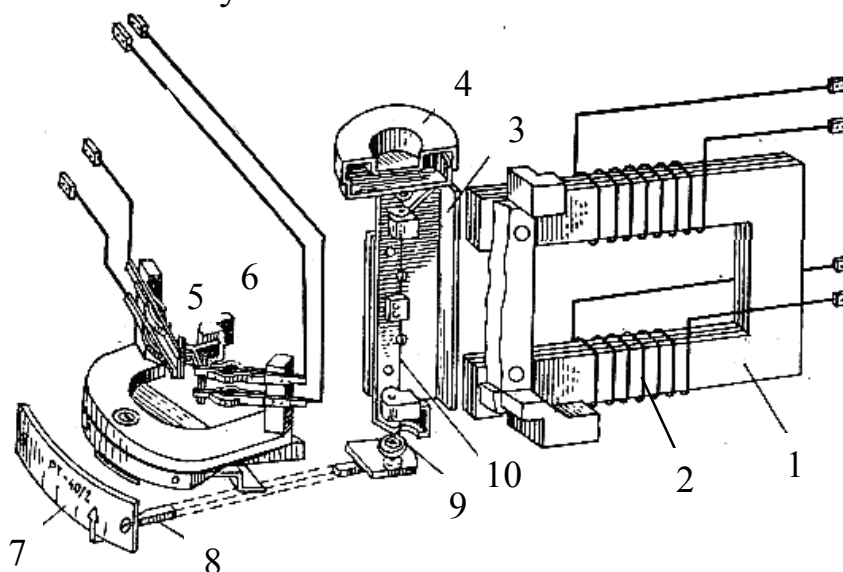


Рисунок 3 – Електромагнітне реле струму РТ-40

Для усунення вібрації при роботі реле використовують антивібраційний барабанчик із наповнювачем (демпфер) 4, який закріплюють на якорі.

При вмиканні обмотки реле на струм мережі через трансформатор струму електромагнітний момент в реле пропорційний струму мережі.

Коефіцієнт повернення реле серії РТ-40 становить не менше 0,8. Промисловість випускає реле РТ-40 на струми **0,2; 0,6; 2; 6; 10; 20; 50; 100 та 200 А**. В позначенні типу реле знаменник вказує на верхню межу уставки струму при паралельному з'єднанні котушок. Наприклад, РТ-40/2 реле струму на струм 2 А (при послідовному з'єднанні обмоток – 1А).

Реле напруги серії РН-50 має аналогічну з реле РТ-40 конструкцію. Реле РН-50 має два діапазони за напругою. Для переходу з першого діапазону на другий, у якому напруга в два рази більша, використовують два додаткових резистори. У реле РН-50 відсутній гасник вібрації. Для зменшення вібрації використовуються випрямний міст.

Промисловість випускає реле максимальної напруги РН-53 і реле мінімальної напруги РН-54. В позначенні реле знаменник показує максимальну уставку напруги реле. Наприклад, позначення реле РН-53/60 показує, що це реле максимальної напруги розраховане на верхню уставку напруги в другому діапазоні 60 В (у першому діапазоні – 30 В).

Промисловість випускає реле максимальної напруги РН-53/60, РН-53/200, РН-53/400, РН-53/60Д і реле мінімальної напруги РН-54/48, РН-54/160, РН-54/320. Відповідно, у реле максимальної напруги уставки: 15...60, 50...200, 100...400, 15...60 В, а у реле мінімальної напруги: ..48, 40...160, 80...320 В. Нижня межа відповідає мінімальній уставці в першому діапазоні, а верхня – максимальній уставці в другому діапазоні.

Коефіцієнт повернення реле РН-53 – не нижче 0,8; реле РН-54 – не більше 1,25.

**Індукційне струмове реле типу РТ-80 (РТ-90)** складається з двох елементів – індукційного і електромагнітного (рисунок 4) і теж відноситься до вторинних реле посередньої дії.

Магнітна система для обох елементів є спільною. Індукційний елемент забезпечує максимальний струмовий захист із витримкою часу, а електромагнітний – струмову відсічку (без витримки часу). Робота індукційного елемента забезпечується взаємодією магнітного потоку і струму, що індукується в диску, розміщеному між полюсами електромагніту.

На полюсах електромагніту 1 розміщені коротко замкнуті витки 2. Вони розчіплюють магнітний потік на дві частини ( $\Phi_1$  та  $\Phi_2$ ) (рисунок 5), які зсунуті між собою в просторі і за фазою, чим забезпечується створення обертаючого моменту  $M_{оберт}$  на рухомому елементі – диску 8 (рисунок 4).

$$M_{оберт} = k \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2 \cdot \sin \varphi. \quad (2)$$

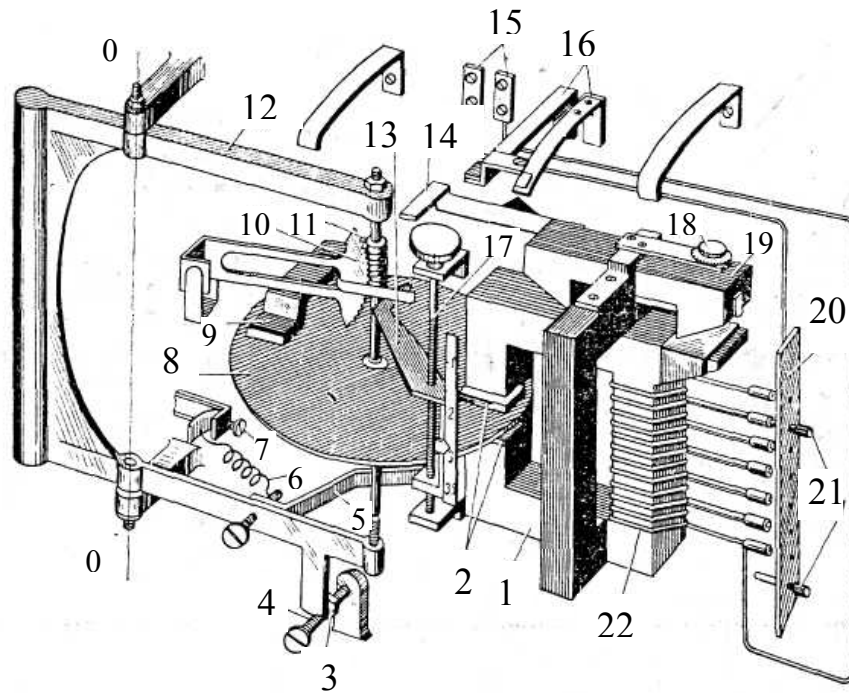
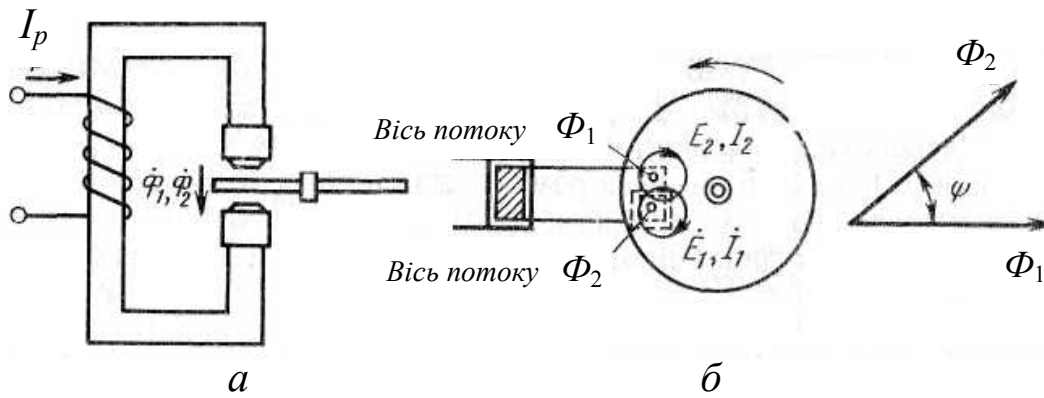


Рисунок 4 – Індукційне реле РТ-80

Диск починає обертатися при струмі, що становить 20...30 % струму уставки реле. На осі алюмінієвого диска розміщений черв'як 11 (рисунок 4). До початку спрацювання реле він не знаходиться в зачепленні з сегментом 10, оскільки диск пружиною 6 відводиться вбік. Диск при цьому може обертатися, але реле не спрацьовує. Під час обертання на диск діє сила гальмування, яка створюється постійним магнітом 9. Сила, що створюється електромагнітом, у взаємодії з силою гальмування, спричиненою постійним магнітом 9, намагається повернути рамку 12 на осі 0 - 0, долаючи зусилля пружини 6.

Якщо по обмотці реле проходить струм, який дорівнює струму спрацювання індукційного елемента реле або більший від нього, то зусилля пружини 6 долається, рамка 12 повертається і сектор 10 входить у зачеплення із черв'яком 11. Натяг пружини 6 регулюють гвинтом 7. Після зчеплення з черв'яком 11 в результаті обертання диска сектор 10 піднімається вгору. Закріплений на кінці сектора поводок піднімає важіль 14, якір-коромисло 19 перекидається, притягується до виступу на магнітопроводі і важіль 14 надійно замикає контакти 16. Проміжок часу від моменту зачеплення сектора 10 із черв'яком 11 до замикання контактів і становить витримку часу реле (залежна частина витримки часу).



*a* – конструктивна схема; *б* – векторна діаграма.

Рисунок 5 – Принцип дії індукційного реле

Витримка часу залежить від швидкості обертання диска і довжини шляху, який проходить сектор 10. Швидкість обертання диска тим більша, чим більшим є струм, що проходить по обмотці реле. Із збільшенням швидкості обертання диска витримка часу зменшується. Положення сектора 10 до моменту зачеплення з черв'яком регулюється гвинтом 17, при прокручуванні якого рухається повзунк 13, що утримує сектор 10 в певному положенні. При переміщенні повзунка 13 вниз збільшується шлях проходження сектора 10 після зчеплення з черв'яком, при цьому витримка часу збільшується (незалежна частина витримки часу).

При повертанні рамки 12 сталевий дужка 5 притягується до магнітопроводу, що забезпечує надійне зчеплення сектора з черв'яком. Обмежувачем 4 і гайкою 3 регулюється кут повороту рамки 12, залежно від якого змінюється, глибина зчеплення.

Для регулювання струму спрацювання обмотка реле 22 має відгалуження. На контактній колодці 20 розміщені два переставні контактні гвинти 21, за допомогою яких регулюють уставку струму спрацювання реле.

При проходженні по обмотці реле струму у 2...8 разів більшого від струму індукційного елемента, створюється електромагнітне поле, достатнє для притягування якоря коромисла до виступу електромагніту, незалежно від дії індукційного елемента. При дії електромагніту реле спрацює без витримки часу (струмова відсі-

чка). Струм спрацювання електромагнітного елемента залежить від кількості витків обмотки реле, приєднаних до трансформатора струму. Крім цього, він може регулюватися гвинтом 18, яким змінюють повітряний зазор між якорем-коромислом 19 і виступом електромагніту до початку роботи реле (кратність відсічки).

Реле РТ-80 і РТ-90 випускають у двох виконаннях. Реле першого виконання (РТ-80/1, РТ-90/1) мають номінальний струм 10 А, уставка їх індукційного елемента може змінюватись в межах 4...10 А. Реле другого виконання (РТ-80/2, РТ-90/2) мають номінальний струм 5 А (уставка змінюється в межах 2...5А).

Реле РТ-81 і РТ-82 мають один замикальний або розмикальний контакт, у реле РТ-83 та РТ-84 електромагнітний і індукційний елементи мають окремі замикальні або розмикальні контакти.

Реле РТ-85 має підсилений перехідний контакт, спільний для обох елементів; у реле РТ-86 цей контакт належить лише електромагнітному елементу, а індукційний елемент має свій замикальний контакт. Перемикаючий (перехідний) контакт реле РТ-85 та РТ-86 може шунтувати і дешунтувати коло з опором 4,5 Ом при струмах до 150 А.

У незалежній частині реле РТ-81, РТ-85, РТ-91 і РТ-95 мають витримку часу в межах 0,5...4 с; реле РТ-82 – 2...16 с; реле РТ-83 – 1...4 с; реле РТ-84 – 1...16 с і реле РТ-86 – 4...16 с.

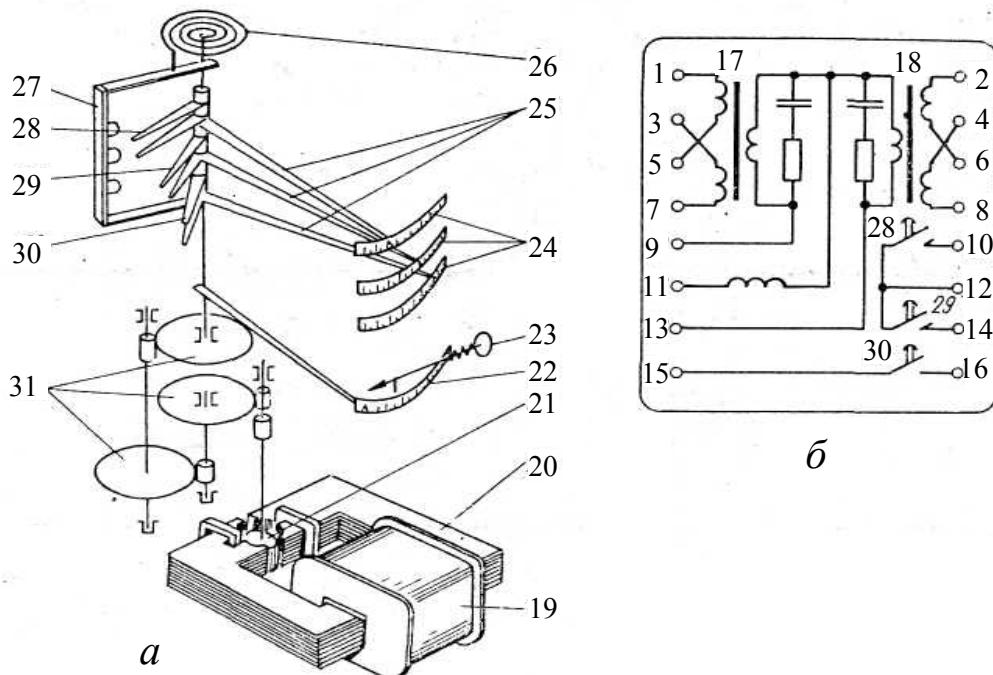
Реле серії РТ-80, у яких витримка часу залежить від струму, широко використовують у сільській електрифікації, особливо реле типу РТ-85.

У тих випадках, коли використовувати реле із залежною характеристикою витримки часу недоцільно, застосовують реле нової серії РТ-90, що випускається на базі реле серії РТ-80. Реле РТ-90 має характеристику витримки часу, яка мало залежить від струму. Потужність споживання для реле серії РТ-80 при струмі, що дорівнює струму уставки, становить 10 ВА, а для реле серії РТ-90 – не більше 30 ВА. Коефіцієнт повернення – не більше 0,8.

Якщо оперативне коло вмикається до трансформатора струму, то контакти реле можуть шунтувати і дешунтувати це коло при

струмі до 50 А. Перемикаючі контакти реле РТ-85 і РТ-86 здатні дешунтувати оперативне коло, приєднане до трансформатора струму, при струмах до 150 А.

**Реле часу.** Реле типу РВМ-12 і РВМ-13 використовують для створення витримки часу в релейному захисті на змінному оперативному струмі. Основним елементом реле є синхронний мікродвигун (рисунок 6).



а – будова; б – схема з'єднань

Рисунок 6 – Реле часу

Реле часу РВМ-12 і РВМ-13 вмикають у коло трансформатора струму. Оскільки струм при коротких замиканнях може змінюватися в дуже широких межах і досягати великого значення, для обмеження його використовують два проміжні трансформатори насичення 17 та 18 (рисунок 6). Первинні обмотки цих трансформаторів мають по дві секції. При послідовному з'єднанні секцій трансформаторів реле надійно працює при струмі 2,5 А, а при паралельному з'єднанні – при струмах понад 5 А. Синхронний мікродвигун (20 – його осердя) приєднують до вторинної обмотки проміжного трансформатора. Для коректної роботи реле часу потрібно, щоб мікродвигун вмикався в коло вторинної обмотки лише одного трансформатора насичення. Щоб не допустити одночасного вмикання мікродвигуна до двох проміжних трансформаторів, передбачається, що в усіх випадках замикається лише одна пара затискачів (9-11 або 11-13).

При запуску реле часу ротор 21 мікродвигуна втягується у міжполюсний простір і переміщується вертикально, входячи своєю шестернею у зчеплення із редуктором 31 (сповільнювачем). Обертання ротора через зубчасту передачу зумовлює прокручування рамки 27. Контакти, що розміщені на рамці, при цьому замикаються з нерухомими ламелями 28...30. Два контакти 28 і 29, тимчасово замикаючись, подають імпульс, а третій 30 є кінцевим. Кожний контакт має свою окрему шкалу 24, тому витримку часу можна регулювати за допомогою поводків-показчиків 25 окремо для кожного контакту. Кінцевий контакт має показчик спрацювання. Кратність витримки часу регулюється суміщенням шкали 22 і показчика 23.

При вимиканні обмотки мікродвигуна ротор переміщується вниз, його шестерня виходить із зачеплення з редуктором, а рамка 27 під дією пружини 26 повертається у вихідне положення.

Для покращення кривої струму і зниження піка напруги в обмотці 19 мікродвигуна використовують конденсатори і резистори.

Реле часу РВМ-12 має максимальну витримку часу 4 с, а реле РВМ-13 – 10 с. Час повернення рухомої системи реле не перевищує 10 % уставки витримки часу. Потужність споживання реле при двократному струмі спрацювання не перевищує 8 ВА.

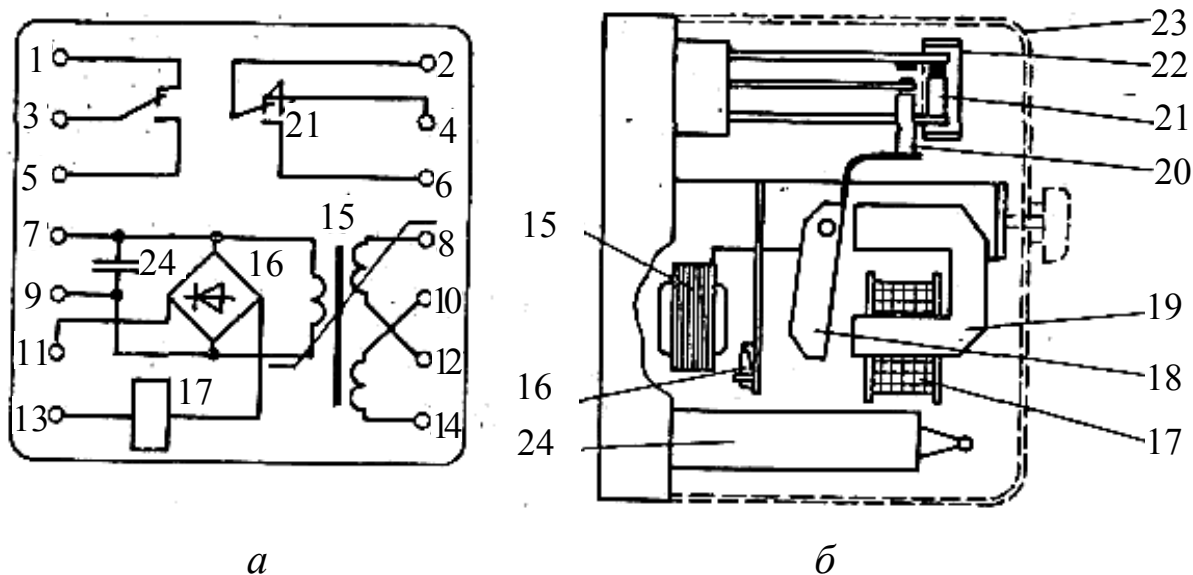
В схемах релейного захисту і автоматики також широко застосовуються реле часу типу ЭВ із годинниковим механізмом для отримання витримки часу. Реле постійного струму випускаються на напругу 24, 48, 110, 220 В, а змінного – на напругу 100, 127, 220, 380 В.

Реле ЭВ215, ЭВ225, ЭВ235 і ЭВ245 діють при зникненні напруги, мають один ковзний і один кінцевий замикаючий контакти з регульованою витримкою часу, а також миттєвий перемикаючий контакт.

Реле ЭВ114, ЭВ124, ЭВ134, ЭВ217, ЭВ227, ЭВ237, ЭВ247 мають один кінцевий замикаючий контакт з регульованою витримкою часу і один миттєвий перемикаючий контакт.

На сьогодні реле часу серії ЭВ-100, ЭВ-200 замінено новим типом реле РВ-100, РВ-200, що мають аналогічну конструкцію. Також широко впроваджуються реле часу ВЛ-100, ВЛ-70, ВЛ-60 та ін.

**Проміжні реле.** Реле типу РП-341 вмикають послідовно в коло трансформатора струму. Його контакти використовують для дешунтування котушок вимикання в схемах захисту на змінному оперативному струмі та для розмноження контактів основного реле (рисунок 7).



*а* – схема; *б* – будова реле  
Рисунок 7 – Проміжне реле

Реле РП-341 має проміжний трансформатор насичення 15 з двома первинними і однією вторинною обмотками. Первинні обмотки (8-12, 10-14) вмикають у вторинне коло трансформаторів струму, вони можуть з'єднуватись між собою послідовно або паралельно. При послідовному з'єднанні реле спрацьовує при струмі 2,5 А, а при паралельному – при струмі 5 А. Через випрямляч 16 до вторинної обмотки проміжного трансформатора приєднують обмотку 17 реле постійного струму клапанного типу.

Для згладжування випрямленої напруги використовують конденсатор 24. Застосування трансформатора насичення захищає випрямляч 16 від великих струмів і дозволяє використовувати пускове реле з малопотужними контактами (наприклад, контактами реле РТ-40). Струм у вторинній обмотці трансформатора насичення, навіть при дуже великих струмах у первинній обмотці, не буде перевищувати заданого значення.

Послідовно з обмоткою реле клапанного типу можна ввімкнути одне сигнальне реле типу РУ-21/0,05 або два паралельно з'єднаних сигнальних реле типу РУ-21/0,25.

Реле РП-341 допускає тривале проходження по первинній обмотці трансформатора насичення-струму 10 А і протягом 4 с – 150 А. Власне споживання реле при подвійному струмі спрацювання становить 6 ВА.

Аналогічну будову має реле РП-321. Відрізняється воно лише контактною системою. Реле РП-321 має контакти нормальної потужності, а реле РП-341, крім контакту нормальної потужності, має підсилений перемикаючий контакт для шунтування і дешунтування вимикаючих котушок вимикачів при змінному струмі. На даний час широко застосовуються проміжні реле ПЭ-40 та РЭП-20.

**Вказівні реле.** Реле РУ-21 призначене для фіксації дії релейного захисту, а іноді для одержання додаткового сигналу.

Контактна система реле складається з двох замикаючих контактів, які дозволяють при перестановці контактних містків одержати два розмикальних або один замикальний і один розмикальний контакти.

Реле РУ-21 випускають на струм 0,01; 0,015; 0,025; 0,05; 0,075; 0,1; 0,15; 0,25; 0,5; 1; 2; 4 А або на напругу 12; 24; 48; 110; 220 В. У позначенні реле цей параметр записують у знаменнику, наприклад, РУ-21/0,05, РУ-21/220. Ці реле можна використовувати в колах змінного струму як паралельні реле, причому на напругу 100, 127 В застосовують реле РУ-21/0,015; на 220 В – РУ-21/0,01, на 380 В – РУ-21/110.

## 4.2 Мікроелектронні реле

Як відмічалось вище, для релейного захисту використовується значна кількість різних електромеханічних пристроїв. Це привело до ускладнення виробництва релейної апаратури та її обслуговування.

Використання електромеханічних пристроїв в релейній апаратурі затримує розвиток техніки релейного захисту як в якісному, так і в кількісному відношенні. Вихід з положення, що створилося, відкри-

вається завдяки успіхам сучасної напівпровідникової схемотехніки, а в першу чергу – створення інтегральних мікросхем.

Інтегральні мікросхеми відносяться до категорії електронних пристроїв середнього ступеня інтеграції, що реалізують одну або декілька однорідних функцій. Останніми роками електронна промисловість почала випускати багатоцільові, так звані великі інтегральні схеми універсального призначення. Створювані на їх основі мікропроцесорні набори і мікроЕОМ можуть бути використані для комплексного вирішення завдань релейного захисту і керування енергооб'єктами. Подібні розробки вже ведуться. В даний час вітчизняна промисловість випускає релейну апаратуру тільки на серійних мікросхемах середнього ступеня інтеграції.

Є два основних види інтегральних мікросхем. Один – це так звані **логічні мікросхеми**. Їх роль полягає в тому, що вони забезпечують подібно до проміжних реле видачу керуючих команд в логічній частині захисту.

Логічні мікросхеми діють під час надходження на їх входи певних поєднань з двох сигналів, що управляють, один з них називається нульовим і позначається цифрою 0, а інший одиничним і позначається цифрою 1. Ці сигнали надходять у вигляді напруги постійного струму. Нульовий сигнал – це напруга «низького», або «нульового», рівня, а одиничний – це напруга «високого», або «одиничного» рівня.

На виході мікросхеми завжди тримається один з таких сигналів. У початковому стані залежно від характеру виконуваної операції на виході мікросхем встановлюється або нульовий, або одиничний сигнал. При дії мікросхеми відбувається заміна наявного вихідного сигналу сигналом іншого рівня. Така дія аналогічно замиканню або розмиканню контакту проміжного реле при утворенні кола на його спрацьовування.

Інший вид інтегральних мікросхем, які називаються **аналоговими** або **лінійними**, є підсилювальним пристроєм високої чутливості. Він має звичайно дві окремі вхідні і загальну вихідну клему.

Окрім них є клеми для подачі напруги живлення, а в деяких варіантах – додаткові клеми для компенсації внутрішніх спотворюючих сигналів.

У аналогових мікросхемах проводиться посилення значення різниці напруг, що подаються на вхідні затискачі. Аналогові мікросхеми мають дуже великий коефіцієнт посилення. Вихідний опір таких мікросхем дуже малий і у схемах, що застосовуються, його звичайно не враховують. Практично можна вважати, що сигнал на виході аналогового підсилювача відсутній тільки тоді, коли обидва вхідні струми або їх різниця рівні нулю.

При появі вхідного струму завдяки тому, що коефіцієнт посилення операційного підсилювача прагне до нескінченності, напруга на виході відразу ж досягає максимального значення, близького до напруги живлення. Вона оцінюється як напруга насичення. Знак цієї напруги визначається знаком різниці вхідних струмів.

В процесі впровадження операційних підсилювачів з'ясувалося, що вони можуть успішно застосовуватися для створення нових вимірювальних приладів, апаратури промислової автоматики та для здійснення будь-яких **вимірювальних органів** релейного захисту.

Спеціальні перешкодостійкі логічні і аналогові мікросхеми, створені для автоматики, успішно використовуються в даний час для виробництва релейної апаратури. Ця апаратура має якісно кращі характеристики і простіша в обслуговуванні, ніж реле захисту, що виконані на базі електромеханічних пристроїв.

Один вид – це апарати, які представляють собою окремі органи вимірювальної або логічної частини захисту. За аналогією з електромеханічними реле за такими органами збережене назва **реле захисту**. В інтегральному виконанні випускаються реле струму, напруги, напряму потужності, опору та реле часу.

В електроустановках з таких реле монтують вимірювальну частину пристроїв релейного захисту. Разом з цим логічна частина подібних пристроїв може виконуватися як на електромагнітних реле, так і на базі логічних мікросхем в поєднанні з контактними вихідними елементами.

Іншим видом виробів є **комплектна апаратура**, яка представляє собою набір **пристроїв релейного захисту** цілого приєднання, що зібрані в касети і монтуються на панелях або в шафах заводського виробництва.

На сьогодні відомий цілий ряд мікроелектронних реле і мікроелектронних пристроїв релейного захисту. До них можна віднести: реле струму РСТ-11, РСТ-13, РС-40М, РС-80М, РС-80М2, РСТ-40, РСТ-80; реле напруги РСН-14, РСН-17; пристрої захисту УЗА-А, УЗА-А-Т, УЗА-АН та інші.

За своїми технічними даними реле РСТ 13, близьке до електромагнітного реле максимального струму типу РТ-40.

Коефіцієнт повернення реле РСТ перевищує 0,9, а час дії при  $1,2 I_{сн,р}$  складає не більше 60 мс, при  $1,3 I_{сн,р}$  – не більше 35 мс. Найбільший час повернення реле доходить до 70 мс. Граничний струм, що розмикається контактами реле, не повинен перевищувати 1 А.

Надійна робота реле РСТ при значних спотвореннях форми кривої вторинного струму досягається за рахунок того, що для дії реле достатньо, щоб ширина вхідного імпульсу струму перевищила  $1/12$  періоду. Миттєве значення струму при цьому знаходиться на рівні 97 % максимального. Потужність, яку споживає реле з мережі – 7 Вт в нормальному режимі і 8,5 Вт в режимі спрацьовування.

Окрім захисту ліній від аварійних режимів мікроелектронні пристрої захисту також можуть паралельно виконувати елементи автоматики лінії, наприклад, АПВ.

### **4.3 Мікропроцесорні реле**

Значна кількість виробників обладнання релейного захисту та автоматики (РЗА) припиняють на сьогодні випуск електромеханічних реле і переходять на цифрову елементну базу.

Перехід на нову елементну базу передбачає розширити можливості апаратів РЗА, спростити їх експлуатацію та зменшити їх вартість.

Мікропроцесорні пристрої релейного захисту є дуже складними пристроями із специфічним принципом дії, що не має нічого спільного із звичайними (традиційними) реле захисту. У зв'язку із цим виникає питання про те, наскільки взагалі мікропроцесорне реле є власне реле.

**Мікропроцесорне реле** – це комп'ютер на основі процесора Intel або AMD, що містить додатково плату із вхідними трансформаторами струму і напруги, узгодженими за параметрами із зовнішніми трансформаторами струму і напруги, а також плату з набором мініатюрних вихідних електромагнітних реле.

### **Переваги мікропроцесорних реле.**

1. Дозволяють записувати і в подальшому відтворювати для аналізу аварійної ситуації режими, безпосередньо перед аварією і протягом аварії.

2. Дозволяють за допомогою підключеного комп'ютера змінювати уставки спрацьовування і переходити із однієї характеристики на іншу за допомогою програмних засобів.

3. Дозволяють передавати всю інформацію про їх стан на віддалені диспетчерські пункти через спеціальні канали зв'язку.

4. Дозволяють міняти конфігурацію комплекту релейного захисту: включати або відключати окремі функції (тобто як би підключати або відключати окремі реле) за допомогою програмних засобів, за допомогою підключеного зовнішнього комп'ютера.

5. Дозволяють реалізувати значно вищу чутливість до аварійних режимів, чим електромеханічні реле.

6. Мають вищу надійність в порівнянні з електромагнітними реле, що містять механічні елементи.

### **Недоліки мікропроцесорних реле.**

1. Вплив на роботу реле електромагнітних збурень з боку мережі живлення:

– Раптова втрата оперативного живлення під час роботи реле, викликана перевантаженням або коротким замиканням в мережі, спрацьовуванням вимикачів в колі оперативного живлення, попаданнями блискавки в лінії електропередачі, обривами проводів та ін.

– Електромагнітні шуми або перешкоди в колах живлення і у вхідних колах реле.

– Несиметричні режими в мережі і режими, пов'язані з провалами напруги і з тривалим (протягом декількох секунд і більш) зниженням рівня напруги.

– Перенапруги в мережах, викликані скиданням навантаження або імпульсні комутаційні перенапруги, які можуть проникнути в реле через мережу живлення і привести до пошкоджень внутрішніх елементів реле і його повної відмови.

У літературі описано багато випадків збоїв і навіть пошкодження мікропроцесорів від перенапруги. Відомі, наприклад, випадки масових відмов мікропроцесорних реле часу, встановлених на атомних електростанціях США.

2. Мікропроцесорні системи релейного захисту, особливо такі складні як дистанційні, не завжди адекватно поведуться при складних аваріях.

3. Існує досить дивна на перший погляд ситуація, при якій швидкодіючі мікропроцесорні захисти реагують на аварійний режим набагато повільніше, ніж електромеханічні.

4. Надмірність інформації (багато зайвої інформації, не завжди необхідної для сільських мереж).

5. Можливість навмисних дистанційних дій на мікропроцесорний релейний захист з метою порушення його нормальної роботи.

Не дивлячись на більш високу технічну досконалість мікропроцесорних пристроїв захисту, їх реальна експлуатаційна ефективність, особливо на початковому етапі, виявляється нижчою, ніж у захистів, що виконані на реле попередніх поколінь.

На сьогодні для захисту повітряних ліній та силових трансформаторів сільських мереж застосовують мікропроцесорні пристрої УЗА-10А.2, УЗА-10В.2, Міcom Р437, РС83, РЗЛ-03 та інші.

Сучасні цифрові пристрої РЗА поєднують у межах єдиного інформаційного комплексу функції релейного захисту, вимірювання, регулювання і управління електроустановкою. Такі пристрої в структурі автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП) енергетичного об'єкта є крайовими пристроями збору ін-

формації. У інтегрованих цифрових комплексах РЗА з'являється можливість переходу до нових нетрадиційних вимірювальних перетворювачів струму і напруги – на основі оптоелектронних датчиків, трансформаторів без феромагнітних сердечників тощо. Ці перетворювачі більш технологічні під час виробництва, мають дуже високі метрологічні характеристики, але малу вихідну потужність і непридатні для роботи з традиційною апаратурою.

Цифрові пристрої РЗА різного призначення мають багато спільного, а їх структурні схеми дуже схожі і подібні представленій на рисунку 8. Центральним вузлом цифрового пристрою є мікропроцесор (CPU), який через свої пристрої введення-виведення обмінюється інформацією з периферійними вузлами. За допомогою цих додаткових вузлів здійснюється сполучення мікропроцесора із зовнішнім середовищем: датчиками початкової інформації, об'єктом управління, оператором тощо.

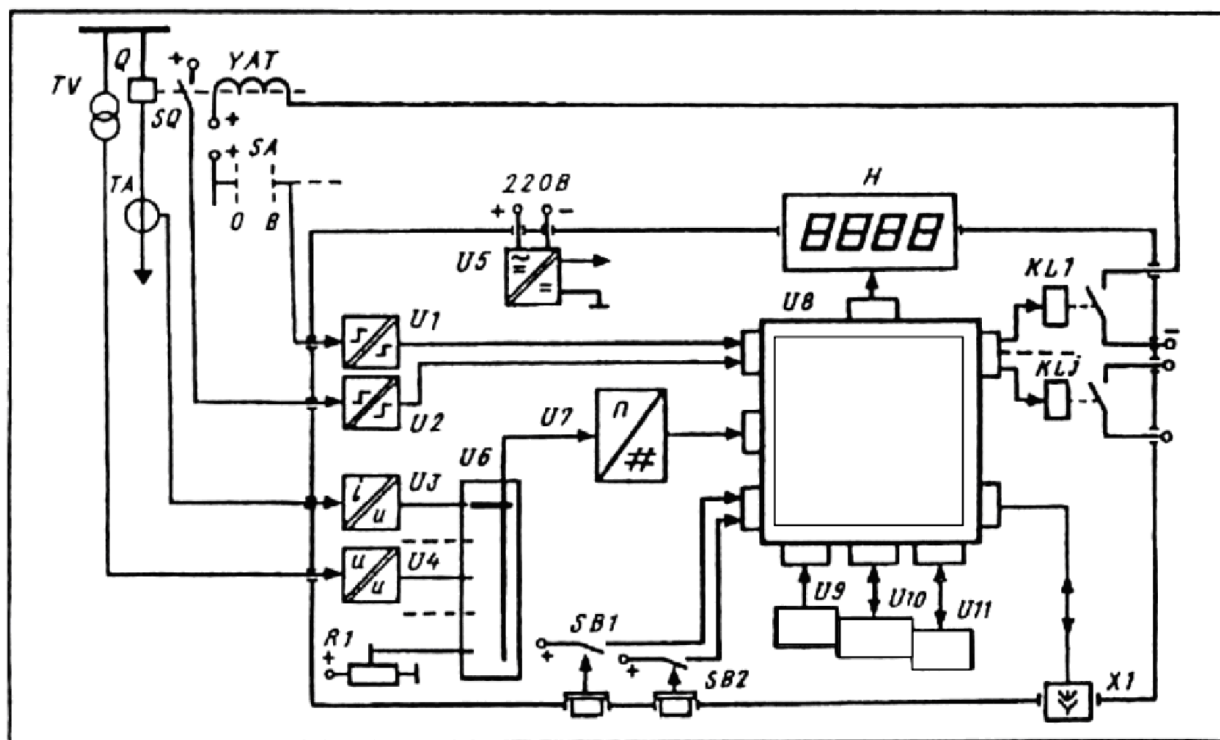


Рисунок 8 – Структурна схема цифрового пристрою захисту

Слід зазначити, що в реальному пристрої РЗА може використовуватися декілька мікропроцесорів (CPU), кожний з яких буде зайнятий рішенням окремого фрагмента загального завдання для за-

безпечення високої швидкодії. Так, фірма ALSTOM для цього використовує один потужний процесор, а фірма ABB використовує 4–10 мікропроцесорів, що працюють паралельно.

Неодмінними вузлами цифрового пристрою РЗА є: вхідні U1–U4 і вихідні KL1–KL3 перетворювачі сигналів, тракт аналого–цифрового перетворення U6, U7, кнопки управління і введення інформації від оператора SB1, SB2, дисплей Н для відображення інформації і блок живлення U5. Сучасні цифрові пристрої, зазвичай, оснащуються і комунікаційним портом Х1 для зв'язку з іншими пристроями.

Основні функції зазначених вузлів такі:

- вхідні перетворювачі забезпечують гальванічну розв'язку зовнішніх ланцюгів від внутрішніх ланцюгів пристрою. Одночасно, вхідні перетворювачі здійснюють приведення контрольованих сигналів до єдиного вигляду (як правило, до напруги) і нормованого рівня. Тут же здійснюється попередня частотна фільтрація вхідних сигналів перед їх аналого–цифровим перетворенням. Одночасно приймаються заходи із захисту внутрішніх елементів пристрою від дії перешкод і перенапружень. Розрізняють перетворювачі вхідних сигналів аналогові (U3, U4) і логічні (U1, U2). Перші виконують так, щоб забезпечити лінійну (або нелінійну, але з відомим законом) передачу контрольованого сигналу у всьому діапазоні його зміни. Перетворювачі логічних сигналів, навпаки, роблять чутливими тільки до вузької області діапазону можливого знаходження контрольованого сигналу;

- вихідні релейні перетворювачі. Дії реле на об'єкт, що захищається, традиційно здійснюється у вигляді дискретних сигналів управління. При цьому вихідні кола пристрою захисту виконуються так, щоб забезпечити гальванічну розв'язку комутованих колах як між собою, так і щодо внутрішніх кіл пристрою РЗА. Вихідні перетворювачі мають володіти відповідною комутаційною здатністю і загалом забезпечувати видимий розрив комутованого кола;

- тракт аналого–цифрового перетворення включає мультиплексор U6 і власне аналого–цифровий перетворювач (АЦП) – U7. Мульти-

типлексор – це електронний комутатор, що по чергово подає контрольовані сигнали на вхід АЦП. Застосування мультиплексора дозволяє використовувати один АЦП (як правило, дорогий) для декількох каналів. У АЦП здійснюється перетворення миттєвого значення вхідного сигналу в пропорційне йому цифрове значення. Перетворення виконуються із заданою періодичністю. У подальшому в мікропроцесорі за цими вибірками з вхідних сигналів розраховують інтегральні параметри контрольованих сигналів – їх амплітудні або діючі значення;

- блок живлення (БЖ) – U5 – забезпечує стабілізованою напругою всі вузли даного пристрою, незалежно від можливих змін напруги в живлячій мережі. Звичайно це імпульсний БЖ від мережі постійного струму. Є також блоки живлення від ланцюгів змінного струму і напруги;

- дисплеї і клавіатура є неодмінними атрибутами будь-якого цифрового пристрою, дозволяючи операторові отримати інформацію від пристрою, змінювати режим його роботи, вводити нову інформацію. Треба відзначити, що дисплей Н і клавіатура SB1, SB2 в цифрових реле, зазвичай, реалізуються в максимально спрощеному вигляді: дисплей – цифровобуквенний, одно- (або декілька-) рядковий; клавіатура – декілька кнопок;

- порт зв'язку із зовнішніми цифровими пристроями.

Широке застосування мікропроцесорних пристроїв для захисту і автоматизації сільських електричних мереж є перспективним у майбутньому.

#### 4.4 Неелектричні реле

**Газове реле** використовують для захисту силових трансформаторів від внутрішніх замикань, його розташовують на маслопроводі між баком і розширювачем трансформатора. Реле реагує на зміну тиску газів у баку трансформатора.

Широко використовується газове реле Бухгольца (BF-25, BF-50, BF-80/Q) та інші аналогічні реле (РГЧЗ-66, РГТ-50, РГТ-80).

Реле BF-80/Q має два поплавки 1 та 4 (рисунок 9), при опусканні яких замикаються магнітокеровані контакти (геркони) 2 та 6, що підключені у і контрольні кола через виводи 8.

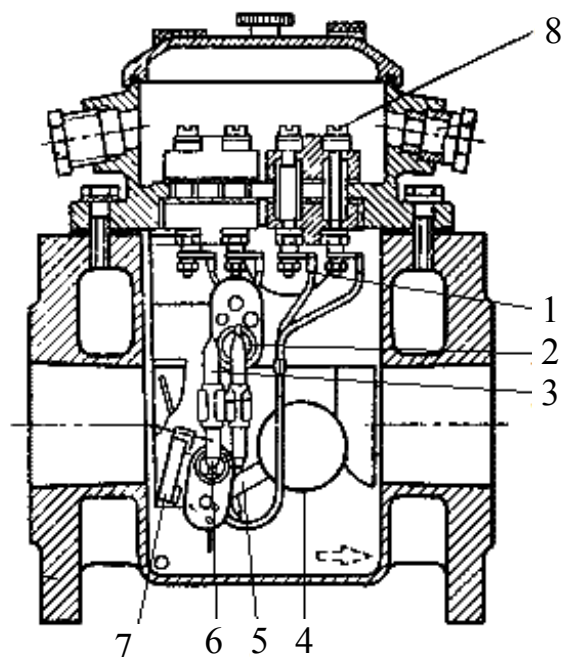


Рисунок 9 – Газове реле

В нормальному режимі реле заповнене маслом або іншою ізоляційною рідиною, його обидва поплавки витісняються і знаходяться у верхньому положенні, геркони розімкнуті.

Газовий захист діє на вимикання трансформатора при інтенсивному газоутворенні і на сигнал при малій газогенерації. Захист спрацьовує також при зниженні рівня масла без газоутворення.

При пошкодженні ізоляції обмотки трансформатора, під дією місцевого нагрівання обмотки, починається активне газоутворення в баку. Газ по трубопроводу проходить в газове реле, накопичується в лунці над верхнім поплавком 1 і витісняє рідину (масло). В газовому середовищі верхній поплавок 1 опускається, що призводить до замикання контактів геркону й подачі сигналу.

Аналогічно газове реле діє і при незначному витіканні масла.

При значних пошкодженнях всередині трансформатора відбувається інтенсивне утворення газів, під дією яких масло із великою швидкістю виштовхується із бака в розширювач. При цьому потік масла або газомасляної суміші натискає на підпірну заслінку 7 та повертає її. В результаті цього повертається нижній поплавок і замикаються його магнітокеровані контакти 6, які подають команду на відк-

лючення трансформатора. Нижній елемент (поплавок 4 та гекон 6) спрацьовує також при інтенсивному витіканні масла із бака.

Газові реле дуже чутливі і реагують на пошкодження ізоляції на самому початку процесу, але вони не захищають трансформатор від зовнішніх коротких замикань. З цією метою необхідно застосувати струмові захисти.

Слід зауважити, що зниження рівня масла при його витіканні (без коротких замикань) може бути виявлене лише газовим реле.

### **Запитання для самоконтролю**

1. Призначення релейного захисту?
2. Які вимоги ставляться до релейного захисту?
3. Як класифікуються реле за способом включення в коло, що контролюється?
4. Як класифікуються реле за способом дії на вимикач?
5. Які типи реле застосовуються для релейного захисту?
6. Будова і принцип дії реле різних типів.
7. За рахунок чого забезпечується витримка часу в реле часу?
8. Основні переваги та недоліки електромеханічних реле.
9. Основні переваги та недоліки мікроелектронних реле.
10. Основні переваги та недоліки мікропроцесорних реле.
11. Перелічіть основні вузли цифрових пристроїв захисту.
12. Призначення, будова і принцип дії газового реле.