

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до лабораторних робіт

з дисципліни «Основи релейного захисту та автоматики»  
для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка» денної та заочної  
форм навчання

2019

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Основи релейного захисту та автоматики» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної та заочної форм навчання / Укл. : П.В. Махлін, О.А. Шрам, О.І., Кузьменко – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – 38 с.

Укладачі:

П.В. Махлін, доцент, к.т.н.  
Є. П. Іваненко  
О.І. Кузьменко, зав. лаб.

Рецензент:

Климко О.М., доцент кафедри ЕПП, к.т.н.

Відповідальний  
за випуск:

Шрам О.А., в.о.зав. кафедри ЕПП, к.т.н.

Затверджено  
на засіданні НМК  
«Електротехнічного  
факультету»  
Протокол №7 від 21.02.2019

Затверджено  
на засіданні кафедри  
“Електропостачання  
промислових  
підприємств”

Протокол № 6 від 24.01.2019

**ЗМІСТ**

1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 «Електромагнітні реле»	4
1.1. Мета роботи	4
1.2. Програма роботи	4
1.3. Короткі відомості	4
1.4. Зміст звіту	15
1.5. Питання до самоперевірки	15
2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 «Індукційні реле»	17
2.1 Мета роботи	17
2.2 Програма роботи	17
2.3 Короткі відомості	17
2.4 Зміст звіту	23
2.5 Питання до самоперевірки	23
3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8 «Вивчення принципу дії, конструкції, та параметрів реле часу, реле струму з трансформаторами, що насичуються»	24
3.1 Мета роботи	24
3.2 Програма роботи	24
3.3 Кроткі відомості	24
3.4 Зміст звіту	37
3.5 Питання до самоперевірки	37
4. Рекомендована література	38

# **1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1**

## **" ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ РЕЛЕ "**

### **1.1 Мета роботи**

Знайомство студентів з електромагнітними реле.

### **1.2 Програма роботи**

1.2.1 Познайомитись з принципами виконання реле.

1.2.2 Познайомитись з принципами дії електромагнітних реле.

1.2.3 Познайомитись з параметри спрацювання реле.

1.2.4 Познайомитись з конструкцією токового реле струму РТ-40 та його параметрами, та реле напруги РН-53, РН-54.

### **1.3 Короткі відомості**

#### **Елементи захисту реле**

Звичайно пристрої релейного захисту складаються з кількох реле, з'єднаних один з одним за визначеною схемою. Реле є автоматичний пристрій який спрацьовує при визначеному значенні вхідної величини яка впливає на нього. У релейній техніці застосовуються реле з контактами – електромеханічні і безконтактні, на напівпровідниках чи на феромагнітних елементах. У перших при спрацьовуванні замикаються чи розмикаються контакти. У других – при визначеному значенні вхідної величини стрибкоподібно змінюється вихідна величина, наприклад напруга.

Кожний пристрій релейного захисту та його схема підрозділяються на дві частини : реагуючу та логічну. Реагуюча (чи вимірювальна) частина є головною, вона складається з основних реле, які безперервно отримують інформацію про стан елемента, що захищається, та реагують на пошкодження чи ненормальні режими, подаючи відповідні команди на логічну частину захисту. Логічна частина (чи оперативна) є допоміжною, вона сприймає команди

реагуючої частини, і якщо їх послідовність та сполучення відповідають заданій програмі, виконують завчасно передбачені операції і подає імпульс керування на відключення вимикачів. Логічна частина може виконуватися за допомогою електромеханічних реле чи схем з використанням електричних пристроїв – напівпровідникових чи на інтегральних мікросхемах.

У відповідності з цим підрозділом захисних пристроїв реле також поділяються на дві групи : на основні, реагуючі на пошкодження, та допоміжні, діючи по команді перших та застосовувані в логічній частині схеми. Ознакою появи к.з. можуть бути зростання струму  $I$ , зниження напруги  $U$  та зменшення опору ділянки, що захищається (відношення напруги до струму в даній точці мережі)

$$Z=U/I .$$

Відповідно цьому у якості реагуючого реле застосовують реле струму, та реле опору. У відповідності з вказаними реле частіше застосовують реле потужності, реагуючи на величину та напрям (знак) потужності короткого замикання (КЗ), що проходить через місце встановлення захисту. Реле, яке спрацьовує при зростанні величини, на яку вони реагують, називаються максимальним, а реле, яке спрацьовує при зниженні цієї величини, називається мінімальним.

Для захисту від ненормальних режимів, також як і для захисту від КЗ, використовують реле струму та напруги. Перші працюють у якості реле які реагують на перевантаження електричної мережі чи споживача, а другі – небезпечне підвищення чи зниження напруги у мережі. Крім того, використовується ряд спеціальних реле, наприклад, реле частоти - діє при недопустимому зниженні чи підвищенні частоти; теплові реле - реагують на підвищення тепла, яке виділяється струмом при перевантаженні, та інші.

До числа допоміжних реле відносяться : реле часу, які призначені для уповільнення дії захисту; реле вказівні – для сигналізації та фіксації дії захисту; реле проміжне, яке передає дії основних реле на відключення вимикачів та працюють для виконання взаємного зв'язку між елементами захисту.

Кожне реле можна поділити на дві частини сприймаючу та виконавчу. Сприймаючий елемент в електромеханічних конструкціях має обмотку, яка живиться струмом чи напругою захищеного

елементу в залежності від типу реле (струмові чи напруги). Реле потужності та реле опору мають дві обмотки (струму та напруги). Через обмотки реле сприймається зміна тієї електричної величини, на яку вона реагує. Виконавчий елемент електромеханічного реле являє собою рухома систему, яка переміщуючись під впливом сил, що створюються сприймаючим елементом, діє на контакти реле, змушуючи їх замикатися чи розмикатися. Існують також реле, у яких рухома система реле діє безпосередньо механічним шляхом на відключення вимикача.

## **Принципи виконання реле**

У схемах релейного захисту та електричної автоматики широко застосовуються електромеханічні реле. Наявність таких недоліків електромеханічних реле, як великі розміри, значне споживання потужності від трансформаторів струму та напруги, труднощі у забезпеченні надійної роботи контактів призвели до пошуків більш сучасних принципів виконання реле. Нові принципи виконання реле за допомогою інтегральних мікросхем та мікропроцесорної техніки дозволяють суттєво покращити параметри й характеристики реле та перейти повністю чи частково на безконтактні схеми захисту. Поступово нові принципи виконання реле знаходять все більш практичне застосування.

Окрім реле, реагуючих на електричні величини, для захисту електричних машин та апаратів застосовуються реле, реагуючі на не електричну величину, тобто непрямим способом характеризують появу пошкоджень чи не нормальних режимів роботи. Наприклад, є такі реле, які реагують на появу газу чи підвищення тиску у кожухах маслонаповнених трансформаторів та реакторів; реле, реагуючі на підвищення температури трансформаторів та електричних машин і т.д..

Реле, що реагують на електричні величини можливо поділити на три групи :

- реле, що реагують на одну електричну величину: струм чи напругу;
- реле, що реагують на дві електричні величини: струм і напругу мережі чи дві напруги, кожна з яких є лінійною функцією струму чи напруги мережі;

- реле, що реагують на три чи більше електричних величин.

До першої групи відносять реле струму та реле напруги. До другої належать реле потужності, опору та інші.

## Електромеханічні реле

Електромеханічні реле можуть виконуватися на електромагнітному, індукційному, електродинамічному, індукційно-динамічному та магнітно-електричному принципах.

Контакти реле повинні забезпечувати надійне замикання та розмикання ланцюгів струму та бути розраховані на багаторазове спрацювання. Комутаційна здатність контактів умовно характеризується потужністю, при якій вони забезпечують надійне спрацювання. Величина цієї потужності  $S_k$  є добуток напруги джерела оперативного струму  $U$  на найбільший струм  $I_k$ , проходження якого допускається через контакт, тобто

$$S_k = UI_k$$

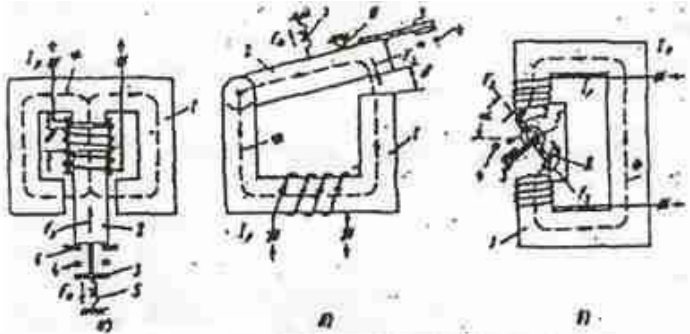
Обмотки реле повинні мати термічну стійкість, яка характеризується в залежності від типу реле величинами струму та напруги, а також тривалістю їх роботи. Крім того, реле характеризується потужністю, що споживається  $S_p$  (добуток струму  $I_p$ , який протікає по обмотці, на напругу  $U_p$  на зажимах цієї обмотки). Потужність, що споживається  $S_p$  залежить від необхідної намагнічуючої сили обмоток для приведення в дію рухомої системи реле.

## Електромагнітні реле

Принцип дії : на рис. 1.1 приведені три основні різновидності конструкцій електромагнітних реле. Кожна конструкція включає в себе електромагніт 1, який складається зі сталевого осердя та обмотки, сталений рухомий якір 2, рухомі контакти 3, нерухомі контакти 4 та протидіючу пружину 5.

Проходячи по обмотці електромагніта струм  $I_p$  створює намагнічуючу силу (н.с.)  $I_p \omega_p$  під дією якої збуджується магнітний потік  $\Phi$ . Магнітний потік замикається через осердя електромагніта,

повітряний проміжок та якір, який під дією магнітних зусиль притягується до полюсу електромагніта. Перемістившись у кінцеве положення, якір своїм рухомих контактом 8 замикає нерухомі контакти реле 4. Початкове положення обмежується упором 6. Електромагнітна сила, яка притягує сталений якір до електромагніту,



пропорційна квадрату магнітного потоку  $\Phi$  в повітряному зазорі:

- а) з втягуючим якорем;
- б) з поворотним якорем;
- в) з поперечним рухом якоря;

Рисунок 1.1-Типи електромагнітних реле

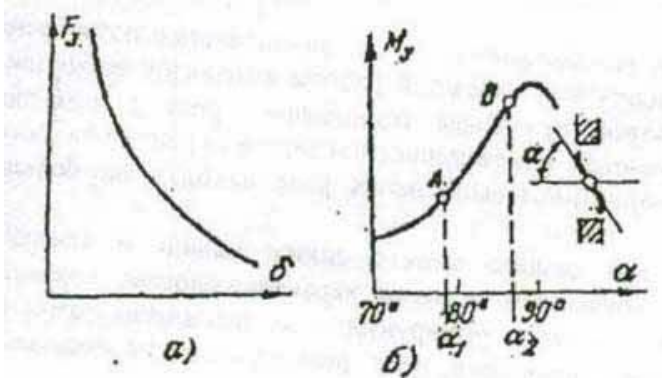
$$F_s = k \Phi^2 . \quad (1.1)$$

Магнітний потік  $\Phi$  визначається по формулі

$$\Phi = I_p \omega_p / R_m , \quad (1.2)$$

де  $R_m$  - магнітний опір шляху по якому замикається магнітний потік  $\Phi$ ,

$\omega_p$  - кількість витків обмотки реле.



а) реле з поворотним якорем  $F_{\text{э}}=f(\delta)$ ;

б) реле з поперечним рухом якоря  $M_{\text{э}}=f(\alpha)$ ;

Рисунок 1.2-Залежність електромагнітної сили  $F_{\text{э}}$  та електромагнітного моменту  $M_{\text{э}}$  від повітряного зазору

Підставивши вираз (1.2) у (1.1) маємо :

$$F_{\text{э}} = k \omega_p / R_m^2 I_p^2 = k' I_p^2 . \quad (1.3)$$

У реле з поворотним якорем та поперечним рухом якорем (рис.2.1, а та б) електромагнітна сила створює обертаючий момент:

$$M_{\text{э}} = k'' I_p^2 . \quad (1.4)$$

Коефіцієнти  $k'$  та  $k''$  у формулах (1.3) та (1.4) залежать від  $R_m$  та від цього зберігають постійне значення тільки при відсутності насиченості.

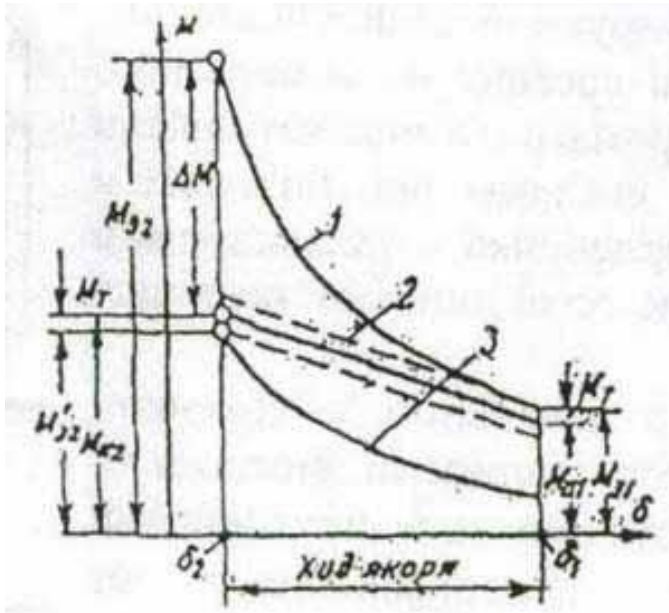


Рисунок 1.3 - Діаграма електромагнітних та механічних сил при спрацюванні і поверненні струмового реле

$$\begin{aligned}
 1 - M_{\Sigma} &= f(\delta) \text{ при } I_p = I_{c.p.} = \text{пост.}; \\
 2 - M_{\Sigma} &= f(\delta); \quad 3 - M_{\Sigma} = f(\delta) \text{ при} \\
 &I_p = I_{к.р.} = \text{пост.}
 \end{aligned}$$

З (1.3) і (1.4) випливає, що електромагнітна сила  $F_M$  та її момент  $M$ , пропорційні квадрату струму  $I_p$  в обмотці реле і мають постійний напрямок, що не залежить від напрямку (знака) струму. Тому електромагнітний принцип широко використовується для виготовлення реле струму, напруги, проміжного, вказівного реле та реле часу.

При переміщенні якоря електромагнітного реле зменшуються повітряний зазор  $\delta$  (рис. 1.1) і відповідно  $R_M$ . При незмінному струмі в реле зменшення  $R_M$  викликає збільшення магнітного потоку  $\Phi$ , що

обумовлює у свою чергу відповідне зростання сили  $F_s$ . Таким чином, сила  $F_a$  і момент  $M_s$  є деякою функцією положення якоря, тобто повітряним зазором  $\delta$  (а у системах з поперечним рухом якоря кутом  $\alpha$ ). Найбільше просто ця залежність знаходиться для реле з поворотним якорем (рис. 1.1, б), у яких магнітне поле в повітряному зазорі однорідне. У цьому випадку магнітний опір повітряного зазору  $R_m = \delta/4\pi S$ . В цьому випадку:

$$F_s = k I^2 p / \delta.$$

Отже, сила тяжіння у реле з поворотним якорем обернено пропорційна довжині повітряного зазору  $\delta$ .

У реле з поперечним рухом якоря та з якорем що втягується, поле в повітряному зазорі не можна вважати однорідним. Для цієї конструкції залежність  $F_s = f(\delta)$  має складний характер (рис. 1.2, а і б). Криві на рис. 1.2 побудовані в припущенні, що струм при переміщенні якоря не змінюється, тобто що він не залежить від реактивного опору  $X_p$  обмотки реле, що змінюється при зміні магнітного потоку  $\Phi$ . До цієї групи реле відносяться струмові реле, що живляться змінним струмом мережі ( $I_p$ ), на який не впливають параметри реле, а також реле постійного струму, у яких  $I_p$  не залежить від  $X_p$ .

### Струм спрацьовування, струм повернення

Для спрацьовування реле необхідно, щоб електромагнітна сила та її момент перевершували сили опору пружини  $F_p$ , тертя і ваги  $F_t$ . Реле починає рух, коли

$$F_s = F_{s.c.p.} = F_n + F_m \text{ чи } M_s = M_{s.c.p.} = M_n + M_m.$$

Величині  $M_{s.c.p.}$  відповідає зазначений струм  $I_p$ , необхідний для спрацьовування.

Найменший струм, при якому реле спрацьовує, називається струмом спрацьовування і позначається  $I_{c.p.}$

$$I_p = I_{c.p.} = R_m / (\omega_p (M_{c.p.} / k))$$

У більшості конструкцій передбачається можливість регулювання  $I_{c.p.}$ , що, можна здійснювати шляхом зміни числа витків обмотки реле

$W_p$  ; величини моменту  $M_n$  протидіючої пружини, величини повітряного зазору  $\delta$  з врахуванням залежності  $R_m = f(\delta)$  .

Найбільший струм , при якому якір реле повертається в початкове положення, називається струмом повернення реле  $I_{нов}$ .

Відношення струмів  $I_{нов}/I_{с.р.}$  називається коефіцієнтом повернення  $k_{нов}$ .

У реле, що реагують на зростання струму,  $I_{с.р.} > I_{нов}$  і  $k_{нов} < 1$ . Величина  $k_{нов}$  .

У різних конструкцій коливається в досить широких межах; від 0,1 до 0,98.

### **Максимальне реле струму типа РТ-40**

Максимальні реле струму РТ-40 застосовуються в пристроях релейного захисту та в протиаварійній автоматичі як орган, що реагує на підвищення струму в контрольованому ланцюзі. Загальний вид електромагніта реле представлений на рис. 1.4 Магнітна система реле складається з П-подібного шихтованого осердя 1 і Г-подібного якоря 2. У сердечнику електромагніта під обмотками маютья вирізи призначені для зниження вібрації рухливої системи при великих і несинусоїдальних струмах. При піках несинусоїдального струму ділянки сердечника зі зменшеним перетином насичуються й обмежують величину магнітного потоку.

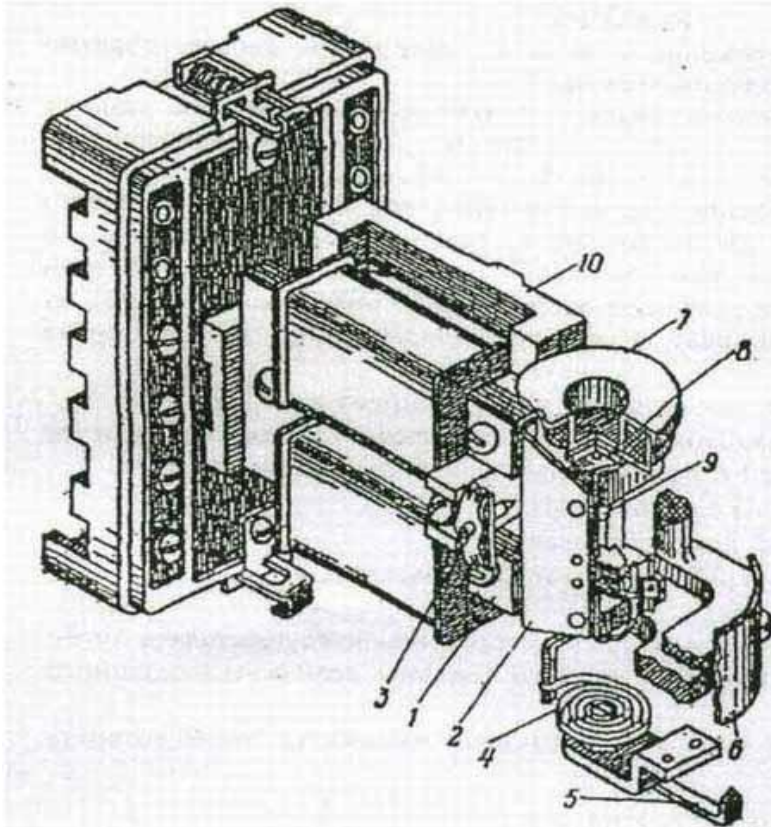
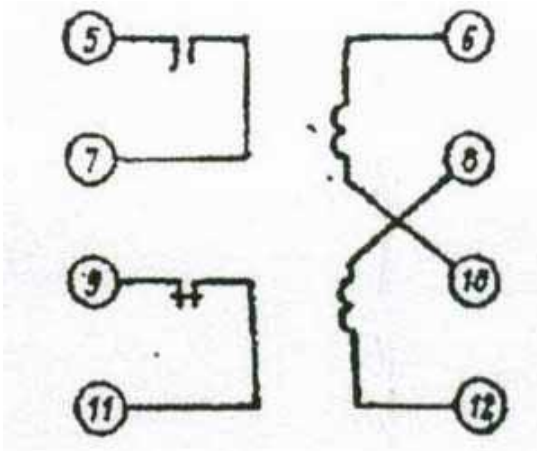


Рисунок 1.4- Загальний вид електромагніта реле РТ-40

Положення якоря в початковому та кінцевому положенні фіксується упорними гвинтами 3, закріпленими контргайками чи пружинними пластинками для запобігання від самовідгвинчування. Якір реле утримується в початковому положенні за допомогою протидіючої спіральної пружини 4, один кінець якої зв'язаний з якорем, а інший - з покажчиком уставки 5. При повороті покажчика уставки змінюється протидіючий момент пружини і відповідно струм спрацьовування реле. Необхідне положення покажчика визначається по поділкам на шкали реле 6. Жорсткість протидіючої пружини  $1,0 \text{ Н-мм}/90^\circ$ . При повороті покажчика від мінімальної уставки до максимальної (кут повороту близько  $90^\circ$ ) момент протидіючої



пружини збільшується в 4 рази (пропорційно квадрату струму). До якоря прикріплені опорна скоба і пластмасова колодка з двома рухливими контактами. До верхньої частини скоби прикріплений порожній барабанчик 7 з радіальними перегородками усередині, порожнина барабанчика

Рисунок 1.5- Схема внутрішніх з'єднань реле типу РТ-40

заповнена просушеним кварцовим піском. При будь-якому прискоренні рухливої системи піщини починають рухатися і частину наданій якорю енергії витрачається на подолання сил тертя між піщинами. Останнє приводить до значного зниження вібрацій рухливої системи від перемінної складової тягової сили електромагніта і зменшує вібрацію контактів при з'єднанні. Між барабанчиком та опорною скобою поміщена шайба з вузьким центральним отвором (відповідний отвір має у скобі) є бронзова пластинка 8, що служить опорною площиною для підвіски рухливої системи реле. Рухлива система у верхній частині спирається бронзовою пластинкою на штифт з сферичним кінцем, який укріплен у вкладиші 9 на рамці-підставі 10 і проходить крізь отвір в опорній скобі і шайбі. У нижній частині переміщення осі рухливої системи в горизонтальній площині обмежується таким же штифтом, що проходить через отвір у нижній відігнутий частині опорної скоби. Сама скоба обмежує переміщення рухливої системи наверх.

На сердечнику розташовані дві обмотки, кінці яких виведені на затискачі цоколя реле. Перестановкою перемичок на цих затискачах можна здійснювати паралельне і послідовне з'єднання обмоток реле і відповідно змінювати величину уставок у 2 рази. Цифри, нанесені на шкалі, відповідають послідовному з'єднанню обмоток. Схема

внутрішніх з'єднань реле приведена на рис. 1.5. Реле має один замикаючий та один контакт, що розмикається. Для більш чіткої роботи контактів, рухомі контакти виконані вільно повертаючимися. Не рухомі контакти приварені до плоских бронзових пружин, переміщення яких обмежується гнучкими зовнішніми та твердими внутрішніми упорами 3. Внутрішні упори виконані з відносно товстої латуні і з'єднані замком з контактною пружиною. При регулюванні контактні пружини, підгинаються разом з латунним внутрішнім упором, що зменшує наступне разрегулювання контактів через зменшення залишкової деформації.

Усі вузли реле змонтовані на рамці з алюмінієвого сплаву (рис. 1.4), укріпленої на пластмасовому цоколі реле, та закриті прозорим полістирольним кожухом. Кріплення кожуха до цоколя виконується пружинними замками. Отвори у сердечнику реле для гвинтів, що кріплять його до рамки, мають збільшений діаметр, що дозволяє регулювати зазор між полюсами сердечника та якоря.

Реле виробляють у дев'яти виконаннях з різними діапазонами уставок.

## **1.4 Зміст звіту**

- 1.4.1 Тема, мета, обладнання.
- 1.4.2 Рисунок 1.1.
- 1.4.3 Принцип дії електромагнітного реле.
- 1.4.4 Перелік елементів реле РТ-40.
- 1.4.5 Схема внутрішніх з'єднань реле РТ-40.

## **1.5 Питання для самоперевірки**

- 1.5.1 Який апарат називається реле?
- 1.5.2 Як поділяються реле в залежності від виду контактів?
- 1.5.3 На які дві частини поділяються пристрої захисту?
- 1.5.4 Які признаки к.з. можуть бути у схемах електропостачання?
- 1.5.5 На які параметри електричної мережі можуть реагувати реле?
- 1.5.6 Які реле відносяться до допоміжних?

- 1.5.7 На які частини можна поділити реле?  
 1.5.8 В чому полягає принцип дії електромагнітних реле?  
 1.5.9 Чому електромагнітні реле можуть використовуватися як для постійного так і для змінного струму?  
 1.5.10 Що таке струм спрацювання реле?  
 1.5.11 Що таке струм повернення реле?  
 1.5.12 Що таке коефіцієнт повернення реле?  
 1.5.13 Яка конструкція реле РТ-40?  
 1.5.14 Призначення протидіючої пружини.  
 1.5.15 З якою метою поділена обмотка реле РТ-40?

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики реле типу РТ-40

Реле	Діапазон уставок, А	З'єднання обмоток						Споживасма потужність при струмі мінімальної уставки ВА
		послідовно			Паралельно			
		Струм спрацювання, А	Термічна стійкість, А		Струм спрацювання, А	Термічна стійкість, А		
довго	У прод овж 1 с		довго	У про дов ж 1с				
РТ-40/0,2	0,05-0,2	0,05-0,1	0,55	15	0,1-0,2	1,1	30	0,2
РТ-40/0,6	0,15-0,6	0,15-0,3	1,75	50	0,3-0,6	3,5	100	0,2
РТ-40/2	0,5-2	0,5-1	4,15	100	1-2	8,3	200	0,2
РТ-40/5	1,5-6	1,5-3	11	300	3-6	22	600	0,5
РТ-40/10	2,5-10	2,5-5	17	400	5-10	34	800	0,5
РТ-40/20	5-20	5-10	19	400	10-20	38	800	0,5
РТ-40/50	12,5-50	12,5-25	27	500	25-50	54	1000	0,8
РТ-40/100	25-100	25-50	27	500	50-100	54	1000	1,8
РТ-40/200	50-200	50-100	27	500	100-200	54	1000	8

## 2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

### "ІНДУКЦІЙНІ РЕЛЕ"

#### 2.1 Мета роботи

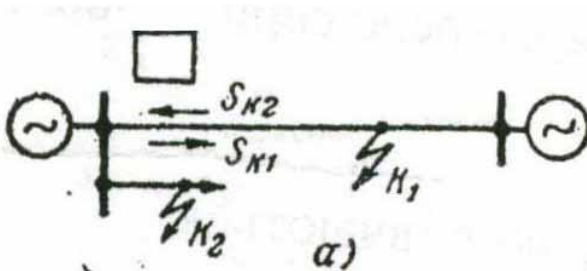
Познайомитися з принципом дії та конструкцією індукційного реле напрямку потужності; познайомитися з принципом дії та конструкцією індукційного реле струму серії РТ-80, РТ-90.

#### 2.2 Програма роботи

- 2.2.1 Познайомитися з інструкцією з виконання роботи.
- 2.2.2 Вивчити теоретичний матеріал з теми роботи.
- 2.2.3 Відповісти на контрольні питання.
- 2.2.4 Скласти звіт.

#### 2.3 Короткі відомості

##### Індукційні реле напрямку потужності



Реле напрямку потужності реагують на величину і знак потужності, підведеної до їхніх затисків. Вони використовуються в

Рисунок 2.1 – Реле напрямку потужності

схемах захистів як орган, що визначає напрямок (знак) потужності, де відбулося ушкодження - на лінії, що захищається, чи на інших приєднаннях, що відходять від шин підстанції. У першому випадку потужність короткого замикання (КЗ)  $S_{K1}$ , спрямована від шин у лінію і реле напрямку потужності повинне замикати свої контакти, у

другому - потужність КЗ  $S_{K2}$  спрямована до шин, у цьому випадку реле не повинне замикати контакти.

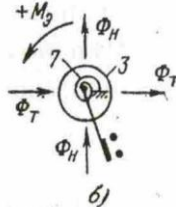
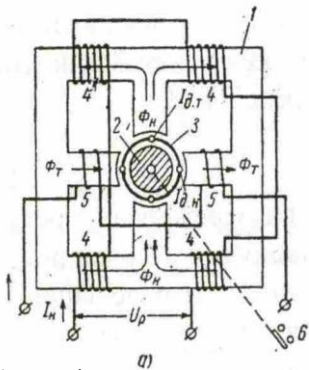
Реле потужності має дві обмотки: одна підключається до трансформатору напруги, а інша - до трансформатору струму мережі. Взаємодія струмів, що проходять по обмотках, створює електромагнітний момент, величина і знак якого залежать від напруги  $U_p$ , струму  $I_p$  і кута зрушення  $\phi_p$  між ними.

Реле напрямку потужності застосовуються в спрямованих захистах. Вони повинні мати високу чутливість, тому що при к.з. поблизу місця установки захисту напруга  $U_p$  різко знижується. При цьому потужність, яка підводиться до реле, може бути дуже малою і при недостатній чутливості реле може не спрацювати, тобто має місце "мертва" зона.

Чутливість реле оцінюється мінімальною потужністю, при якій реле замикає свої контакти. Ця потужність називається потужністю спрацювання і позначається  $S_{c.p.}$

Реле напрямку потужності виконуються миттєвої дії, оскільки вони можуть застосовуватися в захистах, що працюють без витримки часу. Власний час спрацювання реле напрямку потужності повинен бути мінімальним, що особливо важливо для швидкодіючих захистів,

## Конструкція та принцип дії індукційних реле напрямку потужності



Конструкції індукційних реле потужності виконуються з рухливою системою у виді циліндричного ротора (рис.2.2). Реле має чотирьополісний магнітопровід 1. Між полюсами встановлений з електротехнічної сталі циліндр 2, що підвищує

а) з циліндричним ротором

б) ротор реле і напрямку позитивного моменту  $M_d$

Рисунок 2.2 – Реле потужності

магнітну проникність міжполюсного простору. Алюмінієвий циліндр (ротор) 3 може обертатися в зазорі між сталевим осердям і полюсами. При обертанні ротора 3 відбувається замикання контактів реле 6.

Для повернення ротора і контактів у початкове положення передбачається спіральна протидіюча пружина 7.

Обмотка 4 живиться напругою  $U_p = U_c/n_n$  а обмотка 5 - струмом  $I_p = I_c/n_m$ , де  $U_c$  і  $I_c$ - напруга і струм мережі ( елемента, що захищається,). Струм  $I_n = U_p/z_{n_{55}}$ , в обмотці 4 створює магнітний потік  $\Phi_n$ . Струм  $I_p$ , що проходить по обмотці 5. у свою чергу створює магнітний потік  $\Phi_m$ .

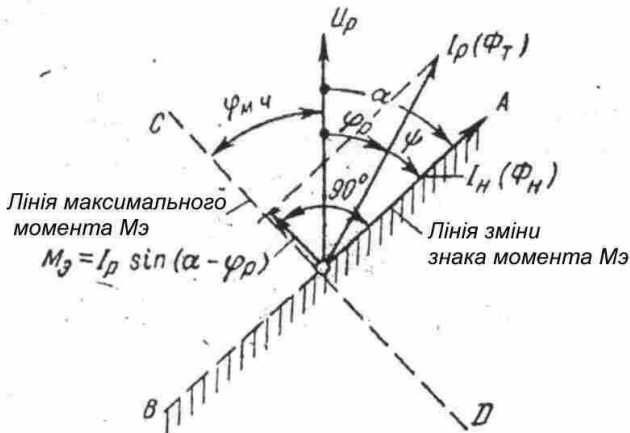


Рисунок 2.3 – Векторна діаграма реле потужності

Векторна діаграма магнітних потоків  $\Phi_n$  і  $\Phi_m$  показана на рис.2.3. За вихідний для її побудови приймається вектор напруги  $U_p$ . Струм  $I_n$  зміщений по фазі щодо напруги  $U_p$  на кут  $\alpha$ , а струм  $I_p$  - на кут  $\varphi_p$ .

Кут  $\alpha$  визначається індуктивним і активним опором обмотки 4, що живиться напругою, і називається кутом внутрішнього зміщення реле. Кут  $\varphi_p$  залежить від зовнішніх параметрів мережі і схеми приєднання реле.

Магнітні потоки  $\Phi_n$  і  $\Phi_m$  зображені на діаграмі співпадаючими з струмами, що їх створюють,  $I_n$  і  $I_p$ .

З векторної діаграми випливає, що потік  $\Phi_n$  і  $\Phi_m$ , а також і струми  $I_n$  і  $I_p$  зміщені по фазі на кут  $\psi = \alpha - \varphi_p$  і що кут  $\psi$  міняється зі зміною  $\varphi_p$ .

Магнітні потоки  $\Phi_n$  і  $\Phi_m$  пронизують рухливу систему реле і наводять у ній вихрові струми  $I_{dn}$  і  $I_{dm}$ . Взаємодія вихрових струмів з магнітними потоками створює електромагнітний момент  $M_3$  відповідно до формули

$$M_3 = k \cdot \Phi_n \cdot \Phi_m \cdot \sin \psi$$

Так як, потоки пропорційні струмам; то

$$M_3 = k_1 \cdot U_p \cdot I_p \cdot \sin(\alpha - \varphi_p) = k_1 \cdot S_p.$$

Аналізуючи вираження, можна зробити наступні висновки:

1. Електромагнітний момент реле пропорційний потужності  $S_p$  на затисках реле.

2. Знак електромагнітного моменту реле визначається знаком  $\sin(\alpha - \varphi_p)$  і залежить від значення  $\varphi_p$ .

Синус кута  $(\alpha - \varphi_p)$ , а отже, і  $M_3$ , позитивні, коли кут  $\varphi_p$  знаходиться в межах від  $0$  до  $180^\circ$ , і негативний, якщо  $\varphi_p$  міняється від  $180$  до  $360^\circ$ . Це ілюструється рис.2.3, де зона негативних моментів заштрихована. За позитивний напрямок моменту  $M_3$  прийнята дія  $M_3$  проти годинникової стрілки - на замикання контактів. Незаштрихована частина діаграми відповідає області позитивних моментів, де  $\Phi_m$  випереджає  $\Phi_n$  на кут  $\psi$  і його синус мають позитивний знак.

3. Реле не діє, якщо відсутня напруга чи струм в реле, або якщо

$$\sin(\alpha - \varphi_p) = 0.$$

Остання умова має місце при  $\varphi_p = \alpha$  і  $\varphi_p = \alpha + 180^\circ$ .

Таким чином розглянута конструкція реле, що реагує на величину і знак потужності.

## Індукційне реле струму серії РТ-80 та РТ-90

Реле серії РТ-80 і РТ-90 складається з двох елементів: індукційного з обмежено залежною характеристикою часу та електромагнітного - діючого миттєво і називаного тому відсічкою.

Спільна робота обох елементів дозволяє одержати характеристику витримки часу, показаний на рис.4, дуже зручну в експлуатації. При струмах більше струму спрацьовування електромагнітного елемента *I<sub>э.с.р</sub>* реле працює без витримки часу. При струмах, менших *I<sub>э.с.р</sub>*, працює з витримкою часу, яка визначається обмеженою залежною характеристикою.

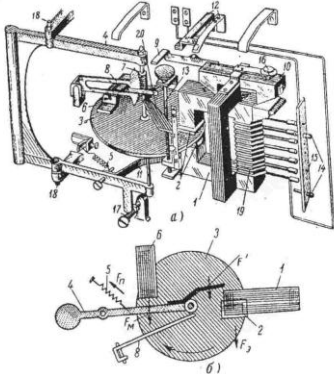


Рисунок 2.4 – Конструкція реле струму серії РТ-80

Індукційний елемент має електромагніт 1 з короткозамкнутими витками 2. З появою струму в обмотці 19 збуджується електромагнітний потік, що пронизує диск 3. В диску 3 виникають вихрові токи, створюють своє магнітне поле, яке взаємодіє з основним магнітним потоком і виникає обертаючий момент. Диск обертається на осі в підшипниках, установлених на рухливій рамці 4. Рамка 4 має свою вісь обертання 18, укріплену на корпусі реле. Пружина 5 притягає рамку до упора 17. На осі диска насаджан черв'як 7, що обертається разом з віссю і диском. Черв'як 7 і зубцюватий сегмент 8, керуючий роботою контактів реле 12, нормально розчеплені. Для дії реле необхідно, щоб черв'як зчепився з зубцюватим сегментом і підняв його до замикання контактів реле. Електромагнітній силі  $F_{\text{э}}$  протидіє сила пружини  $F_{\text{п}}$  5. При струмі в реле, рівному 20-30% струму спрацьовування індукційного елемента *I<sub>у.с.р</sub>* під впливом сили  $F_{\text{э}}$ , диск починає обертатися. При цьому в диску наводяться струми "різання", які виникають у взаємодії з магнітним потоком постійного магніту 6 і створюють силу  $F_{\text{м}}$ , що перешкоджає обертанню диска. При струмі в реле  $I_{\text{р}} > I_{\text{і.с.р}}$  сума електромагнітних моментів  $M_{\text{э}}$  і  $M_{\text{м}}$ , створюваних відповідно  $F_{\text{э}}$  і  $F_{\text{м}}$ , переборює момент пружини, і рамка переміщається, зчіплюється черв'як 7 з зубцюватим сегментом 8. Збільшення моменту пружини 5 компенсується наростанням додаткової сили  $F'$ , що притягає спеціальну сталеву скобу 11 до



Рисунок 2.5 – Характеристика реле РТ-81

Важіль сегмента 8 піднімає коромисло 9, замикаючи при цьому контакти реле 12. Унаслідок зменшення зазору ярів 10 притягається до електромагніта 1, забезпечуючи щільне замикання контактів 12. При струмі в реле, меншому струму повернення, момент пружини 5 переборює електромагнітний момент, і рамка повертається в початкове положення, розчіплюючи черв'яка із сегментом. Сегмент падає на упор 20, розмикаючи контакти реле.

Струм спрацьовування регулюється зміною числа витків обмотки реле 19 за допомогою штепселя 14, в якому переставляються в гніздах планки 15. Час дії регулюється зміною початкового положення сегмента 8 гвинтом 13. Особливістю реле є описане зчеплення черв'яка із сегментом, що дає наступні позитивні якості:

а) усуваються недоліки, що обумовлюються розходженням характеристик моментів  $Mэ$  і  $Mр$ ;

б) зменшується інерційний вибіг реле, тому що після зникнення струму черв'як швидко розчіплюється із сегментом і обертання диска не може привести до замикання контактів реле;

в) контакти реле замикаються дуже надійно під впливом сили, що притягає ярів 10 електромагнітного елемента;

електромагніта 1. Сила  $F'$ , що притягає скобу 11, забезпечує також надлишкове зусилля, що надійно зчіплює черв'яка із сегментом.

Після зчеплення черв'яка із сегментом рух рамки припиняється, але диск продовжує обертатися і за допомогою черв'яка 7 піднімає сегмент 8.

Електромагнітний елемент (відсічка). На якір електромагнітного елемента діють потоки розсіювання електромагніта 1. При струмах, що перевищують струм спрацювання індукційного елемента в 4-8 разів, коромисло притягається і миттєво замикає контакти реле 12. Тік спрацювання електромагнітного елемента регулюється гвинтом 16, що змінює повітряний зазор між якорем і електромагнітом.

## 2.4 Зміст звіту

2.4.1 Тема, мета, обладнання.

2.4.2 Рисунок, який пояснює конструкцію реле напрямку потужності;

2.4.3 Принцип дії реле направлення потужності;

2.4.4 Рисунок (б), який показує конструкцію реле РТ-80;

2.4.5 Принцип дії реле РТ-80.

## 2.5 Питання для самоперевірки

2.5.1 На які параметри мережі реагує реле напрямку потужності?

2.5.2 Які функції виконують реле напрямку потужності?

2.5.3 Скільки обмоток мають реле напрямку потужності?

2.5.4 Яким параметром визначається чутливість реле напрямку потужності?

2.5.5 Як конструктивно виконані реле напрямку потужності?

2.5.6 Що таке "мертва зона" дії реле напрямку потужності?

2.5.7 Від чого залежить напрямок розвороту рамки реле напрямку потужності?

2.5.8 З яких двох елементів складається реле РТ-80?

2.5.9 Яке призначення пружини у реле РТ-80?

2.5.10 Як виставляється струм спрацювання індукційного елемента реле РТ-80?

2.5.11 Що приводить до обертання диску реле типу РТ-80?

2.5.12 Який струм приводить до спрацювання електромагнітного елемента реле РТ-80?

## **3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8**

### **"ВИВЧЕННЯ ПРИНЦИПУ ДІЇ, КОНСТРУКЦІЇ ТА ПАРАМЕТРІВ РЕЛЕ ЧАСУ, РЕЛЕ СТРУМУ З ТРАНСФОРМАТОРАМИ, ЩО НАСИЧУЮТЬСЯ"**

#### **3.1 Мета роботи**

Познайомитися з принципом дії та конструкцією реле часу, реле струму з насичуючими трансформаторами для диференційного захисту.

#### **3.2 Програма роботи**

- 3.2.1 Познайомитися з інструкцією з виконання роботи.
- 3.2.2 Вивчити теоретичний матеріал з теми роботи
- 3.2.3 Відповісти на контрольні питання.
- 3.2.4 Скласти звіт.

#### **3.3 Короткі відомості**

##### **Реле часу серії ЭВ-100**

Реле часу серії ЭВ-100 застосовуються в схемах релейного захисту і протиаварійної автоматики на оперативному постійному струмі для створення регульованої витримки часу при спрацьовуванні і забезпечення визначеної послідовності роботи елементів схеми. Витримка часу створюється годинними механізмами серії 210ЧГТ, спеціально розробленими для цієї мети. Пристрій реле і годинного механізму схематично показане на рис. 1, а, схеми внутрішніх з'єднанні - на рис. 3.1.

Електромагніт реле складається з магнітопроводу 3, обмотки 4 і циліндричного якорю, що втягується, 2. Для одержання оптимальної тягової характеристики нижній кінець якоря має конічну форму і при утягуванні входить у конічне поглиблення на сердечнику,

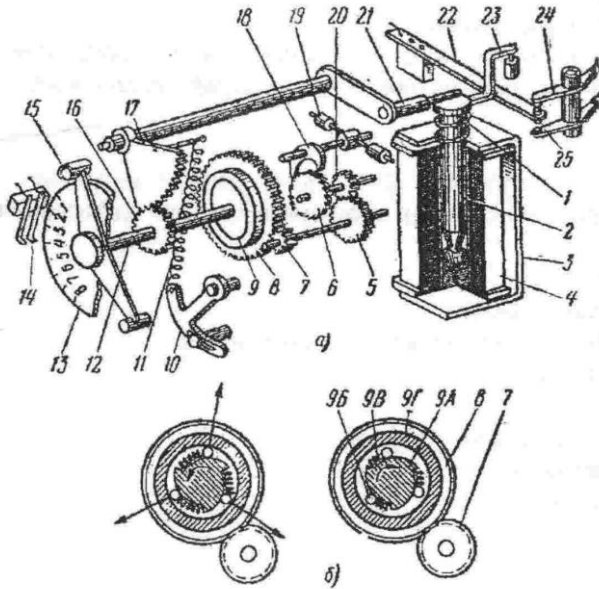


Рисунок 3.1 – Пристрій годинного механізму і реле часу ЭВ-100 та ЭВ-200

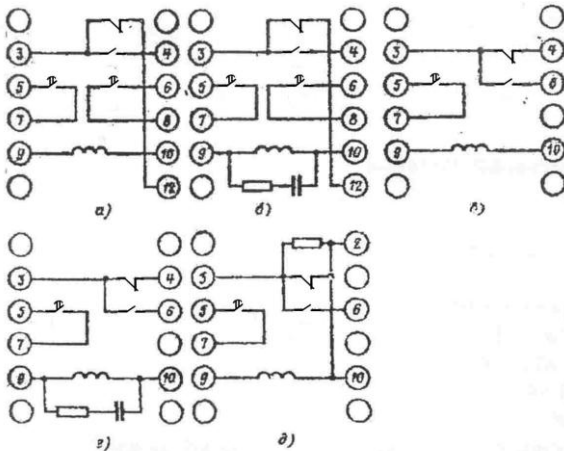
поміщеному усередині обмотки. Для виключення залипання якоря в притягнутому положенні на його нижньому кінці мається бронзова шайба. На верхньому кінці якоря укріплений важіль 23 із пластмасовим штовхальником, що впливає на миттєві контакти 22, 24 і 25 без витримки часу. При відсутності збудження якорь під дією поворотної пружини 1 піднімає нагору до упора заводний важіль 21 годинного механізму, розтягує робочу пружину механізму 11, зубцюватий сектор 17 повертає шестірню 16 на вихідному валу 12 і встановлює рухливі контакти 15, що замикаються з витримкою часу,

у початкове положення. Натяг робочої пружини може регулюватися за допомогою вузла 10.

При подачі живлення на обмотку електромагніта якір утягується, пускає в хід миттєві контакти і звільняє важіль 21 годинного механізму. Під дією робочої пружини вихідний вал механізму разом з рухливими контактами 15 починає повертатися. У момент початку руху вихідного вала включається фрикційна муфта 9 розташована усередині шестірні 8, і пускає в хід анкерний пристрій, що сповільнює.

Пристрій фрикційної муфти показано на мал. 1, б. Між обоймою муфти 9Г та укріпленої на вихідному валу зірочкою 9А знаходяться кульки 9Б. При обертанні вала проти годинної стрілки (спрацьовування реле) утримувані пружинками 9В кульки заклинюються в пазах між зірочкою й обоймою, шестірня 8 виявляється зчепленої з ведучим валом. При поверненні реле заклинення кульок не відбувається.

Шестірні 8, 7, 5 і 20 передають зусилля робочої пружини на анкерне колесо б, зчеплене з анкером 18 і балансиrom 19. Під впливом анкерного колеса анкер починає коливатися. При кожному коливанні анкера анкерне колесо повертається на один зуб; період коливання анкера регулюється положенням вантажику на балансири.



Обертання вихідного вала відбувається доти, поки місток рухливого контакту 15 не замкне кінцеві нерухомі контакти 14 і не торкнеться упора, що мається на пластмасовій колодці кінцевих контактів.

Рисунок 3.2 – Схеми з'єднань реле часу ЭВ-100

Крім кінцевого контакту реле можуть мати контакт, який прослизає, і при цьому короткочасно замикається з заданою витримкою часу.

Зміна уставок часу спрацьовування проводиться переміщенням нерухомих кінцевих і контактів, що прослизають, по шкалі 13.

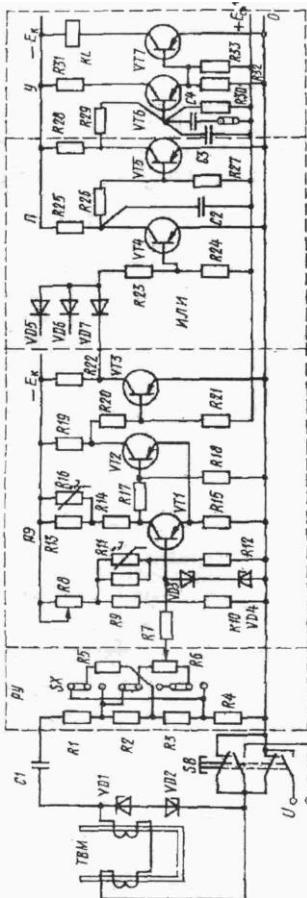
Реле має сильну поворотну пружину, розраховану на завод годинного механізму, тому обмотка електромагніта споживає значну потужність і може підключатися до джерела напруги лише на нетривалий час. Для полегшення режиму роботи керуючих контактів у реле на номінальну напругу 110 і 220 В паралельно обмоткам електромагнітів підключен іскрогасцючий контур з послідовно з'єднаними резистором і конденсатором. У тих випадках, коли потрібно тривале перебування обмотки реле під напругою, після втягування якоря послідовно з обмоткою вводиться додатковий резистор, для чого використовується контакт миттєвої дії.

Таблиця 3.1- Характеристики реле часу серії ЭВ-100.

Реле	Годинниковий механізм	Діапазон уставок, с	Контакти		Термічна стійкість при $1,1U_{ном}$	Схема на рисунку
			З витримкою часу	миттєвий		
ЭВ-112	214ЧП	0,1-1,3	Кінцевий та, що прослизає	Перемикаючий	Не більш 2 хвилин	1, а, б
ЭВ-122	213ЧП	0,25-3,5				
ЭВ-132	212ЧП	0,5-9,0				
ЭВ-142	218ЧП	1,0-20				
ЭВ-113	214ЧП	0,1-1,3	Кінцевий	Замикаючий	Довготривала	1, д
ЭВ-123	213ЧП	0,25-3,5				
ЭВ-133	212ЧП	0,5-9,0				
ЭВ-143	218ЧП	1,0-20				
ЭВ-114	214ЧП	0,1-1,3	Кінцевий	Перемикаючий	Не більш 2 хвилин	1, в, г
ЭВ-124	213ЧП	0,25-3,5				
ЭВ-132	212ЧП	0,5-9,0				
ЭВ-144	218ЧП	1,0-20				

Реле серії ЭВ-100 випускаються 12 різних виконань, що відрізняються діапазоном регулювання витримки часу, тривалої чи короткочасною термічною стійкістю, а також наявністю чи відсутністю контакту, що прослизає. Коротка характеристика кожного виконання приведена в табл. 3.1.

### Реле струму типу МТЗ-М з магнітними трансформаторами струму



Реле складається з елемента регулювання уставки РУ, релейного елемента РЭ, перетворювача П і підсилювача У. До магнітного трансформатора струму ТБМ реле підключається через конденсатор С1 і стабілітрони VD1, VD2, що обмежують напругу, яка підводиться до реле. Ємність конденсатора С1 вибирається з умови одержання резонансу при частоті 50 Гц. Цим самим знижується чутливість реле до вищих гармонійних і аперіодичної складової у контрольованому струмі. Кнопковий вимикач SB служить для оперативної перевірки справності реле.

Елемент регулювання уставки РУ містить дільник R1-R4, резистори R5, R6 і накладки SX, що забезпечують східчає регулювання уставки. Плавне регулювання виконується резистором R6.

Релейний елемент РЭ складається з транзисторів VT1, VT2, включених за схемою симетричного тригера і

Рисунок 3.3 – Схема реле струму типу МТЗ-М з магнітними трансформаторами струму

транзистора VT3, використовуваного як узгоджувальна ланка. У вихідному стані транзистори VT1 і VT3 відкриті, а транзистор VT2 закритий і сигнал на виході елемента РЭ відсутній. Якщо на вхід реле подати сигнал, який перевищує рівень спрацьовування, то реле спрацює. У цьому випадку транзистор VT1 буде закриватися, але тільки в ті напівперіоди, коли на його базі виявляється позитивний потенціал. При цьому транзистор VT2 відкривається, а транзистор VT3 закривається і на його виході (вихід РЭ) з'являються імпульси з частотою вхідного сигналу. У схемі елемента РЭ стабілітрони VD3 і VD4 обмежують напругу, яка підводиться до симетричного тригера, а терморезистори R11 і R16 забезпечують термостабілізацію порога спрацьовування. За допомогою резистора R8 здійснюється настроювання тригера на спрацьовування при заданому вхідному сигналі. Імпульси з виходу елемента РЭ через діод VD7 елемента подаються на вхід перетворювача П.

Елемент містить крім діода У07 діоди У05 і УВ6, використовувані для підключення елементів РЭ інших фаз до перетворювача П.

Перетворювач П перетворює імпульси в безупинний сигнал. Він містить транзистори VT4, VT5, конденсатор С2 і резистори R23-R28. При відсутності імпульсу на вході перетворювача транзистор VT4 закритий, а транзистор VT5 відкритий і конденсатор С2 заряджений. Поява імпульсу супроводжується відкриттям транзистора VT4, закриттям транзистора VT5 і швидким розрядом конденсатора С2 через відкритий транзистор VT4 і джерело зсуву. При цьому на виході транзистора VT5 (вихід перетворювача) з'являється сигнал. Після зникнення вхідного імпульсу транзистор VT4 закривається і конденсатор С2 починає заряджатися. При цьому транзистор VT5 продовжує залишатися закритим. Він зможе відкритися тільки після заряду конденсатора С2 до визначеного значення. Однак параметри ланцюга заряду конденсатора обрані так, що час заряду конденсатора до необхідного для відкриття транзистора VT5 значення перевищує час паузи імпульсів. Цим забезпечується безперервність сигналу на виході перетворювача.

Підсилювач У складається з транзисторів VT6 і VT7. У вихідному стані обидва транзистора закриті. Вони відкриваються з появою сигналу на виході перетворювача П. Цей сигнал перетворюється підсилювачем до значення, необхідного для спрацювання вихідного реле KL. Конденсатор С3 створює необхідне уповільнення в дії реле і тим самим дозволяє відбудуватися від випадкових короткочасних імпульсів, а конденсатор С4 забезпечує відбудування реле від імпульсів, що виникають при роботі розрядників. Реле призначено для використання в електроустановках напругою 35-220 кВ.

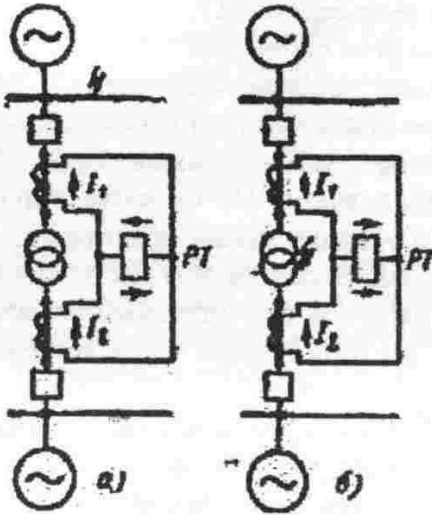
### **Реле струму з трансформаторами, що насичуються**

#### **Диференціальні струмові захисти і вимоги до реле струму.**

Основним захистом генераторів, силових трансформаторів (автотрансформаторів) і збірних шин є диференційний струмовий захист, який виконано за схемою з циркулюючими струмами. При цьому вторинні обмотки трансформаторів струму, установлених по кінцях об'єкта, що захищається, з'єднуються так, щоб у нормальному режимі і при зовнішніх к. з. (рис. 3.4, а) в реле була різниця струмів- $I_p = I_1 - I_2 = I_{нб}$ , тобто струм небалансу (близький до нуля).

Тоді при к. з. у зоні, що захищається, (рис.3.4, б) струм у реле буде дорівнювати сумі вторинних струмів трансформаторів струму  $I_p = I_1 + I_2$  і реле спрацює.

Так як вторинні струми трансформаторів струму  $I_1$  і  $I_2$  у нормальному режимі не рівні між собою, то для компенсації цього струму в реле повинне містити елемент, що вирівнює магніторушійні сили (м.р.с.) від цих струмів. Таким елементом є спеціальний проміжний трансформатор струму, у вторинний ланцюг якого включається виконавчий орган (реле струму РТ-40). При цьому нерівність струмів пліч  $I_1$  і  $I_2$  компенсується за допомогою відводів від первинних обмоток цього трансформатора струму, за допомогою яких змінюється кількість витків обмоток.



- а) зовнішнє к.з.;
- б) к.з. у зоні дії;

Рисунок 3.4 – Принцип дії диференціального струмового захисту

з'являється або в результаті розходження струмів намагнічування трансформаторів струму захисту при зовнішніх к. з., або від кидка струму намагнічування силових трансформаторів (автотрансформаторів) при включенні їх під напругу. Ці кидки намагнічуючого струму, що перевищують у кілька разів номінальне значення струму, сприймаються захистом як к.з. у трансформаторі. Тому в реле проміжний трансформатор струму виконується швидко насичуючимся, що дозволяє автоматично загрубляти реле при наявності в струмі аперіодичної складової. Аперіодична складова насичує сердечник цього проміжного трансформатора струму, (НТТ) і зменшує трансформацію перемінного струму у вторинний ланцюг, де установлений виконавчий орган. У результаті не спрацьовує виконавчий орган.

Таким чином, застосування в реле НТТ спрямовано на забезпечення специфічних вимог, пропонованих до реле струму для

При наявності в реле проміжного трансформатора струму ця вимога також забезпечується за допомогою відводів первинних обмоток цього трансформатора. Крім зведення до мінімуму струму небалансу в сталому режимі (нормальному чи при зовнішньому к.з.) реле повинне бути відстроєне від струму небалансу в перехідних режимах, а саме від аперіодичної складової. Аперіодична складова в диференціальному ланцюзі

диференціальних захистів. За допомогою його компенсується нерівність струмів пліч захисту в сталому режимі, у широких межах регулюється струм спрацьовування реле і здійснюється відстройка від аперіодичної складової струму.

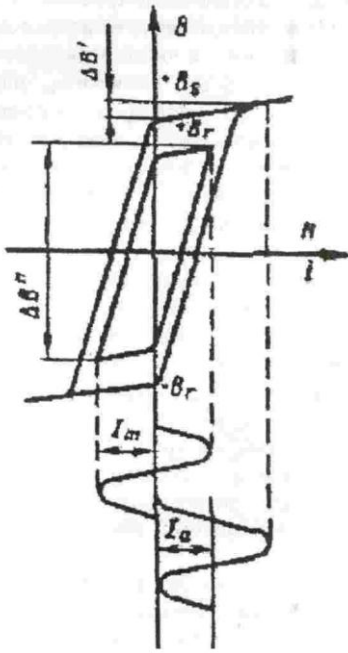


Рисунок 3.5 – Зміна індукції трансформатора, що насичується при наявності та відсутності аперіодичної складової

при кратності вхідного струму реле, рівної 2 та більше 5, є важливим параметром реле, що прийнято називати коефіцієнтом надійності.

Точні розрахункові співвідношення елементів реле з НТТ і аперіодичної складової вхідного струму складні. Тому обмежимося наближеним аналізом, вважаючи, що виконавчий орган реагує на середнє значення напруги за період, яке пропорційно арифметичній сумі зміни індукції сердечника НТТ за кожний з перших двох напівперіодів

### Вибір індукції НТТ.

Максимальне значення індукції сердечника НТТ в умовах спрацьовування  $B_{cp}$  без аперіодичної складової вхідного струму є визначаючим параметром реле. З погляду відбудування від аперіодичної складової цю індукцію бажано мати більшою, щоб насичення НТТ відбувалося при меншому струмі. Але тоді при к.з. у зоні, що захищається, при великій кратності вхідного струму реле кратність струму у виконавчому органі стосовно струму спрацьовування буде мала, що знижує і надійність спрацьовування реле. Відношення струму у виконавчому органі до струму його спрацьовування

$$E_2 = \frac{1}{\omega_2} \omega_2 S (|\Delta B_1| + |\Delta B_2|) \quad (3.1)$$

На рис.3.5 показана зміна індукції  $\Delta B''$  за кожен напівперіод при синусоїдальному струмі з амплітудою  $I_m$  без аперіодичної складової і  $\Delta B'$  при наявності аперіодичної складової  $I_a = I_m$ . Очевидно, що аперіодична складова різко зменшує значення зміни індукції сердечника НТТ, а отже, і э.д.с.  $E_2$ . У результаті відбувається загрублення реле при наявності аперіодичної складової струму. При аперіодичній складовій  $I_a = I_m$  найбільша вторинна э.д.с. НТТ може виникнути в несприятливому випадку в перший півперіод, якщо залишкова індукція НТТ ( $-B_r$ ) мала, протилежний знак (у порівнянні з індукцією насичення від аперіодичної складової вхідного струму). У цьому випадку в перший півперіод індукція змінюється від  $B_r$  до  $B_s$  і зміна індукції  $\Delta B_1 = B_r + B_s$ , а в другий півперіод індукція змінюється від  $+B_s$  до  $+B_r$  і зміна індукції  $\Delta B_2 = B_s - B_r$ . Підставляючи  $\Delta B_1$  і  $\Delta B_2$  у (3.1), одержуємо середнє значення э.д.с. за період

$$E_{2\text{нач}} = 2/T * \omega_2 * S * B_s \quad (3.2)$$

При відсутності аперіодичної складової в умовах спрацьовування зміна індукції за кожен напівперіод  $\Delta B_1 = \Delta B_2 = 2\Delta B_{1\text{спр}}$ . Підставляючи його в (3.1), одержуємо:

$$E_{2\text{спр}} = 4/T * \omega_2 * S * B_{\text{спр}} \quad (3.3)$$

Для того щоб реле не спрацьовувало при наявності аперіодичної складової струму, необхідно, щоб  $E_{2\text{нач}}$  було менше  $E_{2\text{спр}}$ , тобто з обліком (3.2) і (3.3) повинна виконуватися нерівність  $B_{\text{спр}} > 0,5 B_s$ . Приймавши для сталі Э-330  $B_s = 2T$ , одержимо, що для надійної відстройки від аперіодичної складової максимальне значення індукції НТТ в умовах спрацьовування без аперіодичної складової  $B_{\text{спр}}$  повинно бути не менш 1 Т. У реле що випускаються, ця індукція дорівнює 1,35 Т. При цьому коефіцієнт надійності при двократному вхідному струмі більше 1,2, а при п'ятикратному струмі - більше 1,35.

Дослідження показали, що відстройка від аперіодичної складової залежить також від кута опору виконавчого органа (оптимальне

значення  $55-65^\circ$ ). Тому якщо в реле РТ-40 нормального виконання при повному заповненні вікна обмотки кут дорівнює приблизно  $77^\circ$ , то у виконавчого органа цих реле обмотки заповнені не цілком, тим самим знижений кут опору до бажаного значення.

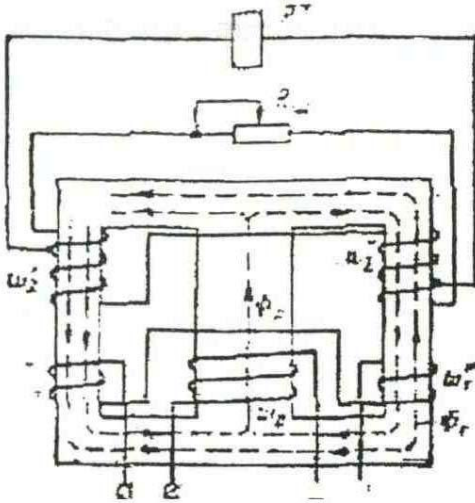


Рисунок 3.6 – Спрощена схема реле ДЗТ

різних пліч захисту чи при регулюванні напруги силового трансформатора під навантаженням зміною його коефіцієнта трансформації, що приведе до розбалансування захисту. Для виключення помилкової роботи захисту в цих випадках застосовують реле серії ДЗТ, що завдяки гальмовим обмоткам автоматично загубляються струмами зовнішніх к. з. Ці реле включаються так, щоб при зовнішніх к. з. по обмоткам гальмування проходив пропорційний струм к.з.. У реле ДЗТ від аперіодичної складової вхідного струму здійснюється тільки завдяки насиченню трансформатора НТТ. Спрощена схема реле ДЗТ показана на рис.3.6. Первинні обмотки (робочі і зрівняльні)  $\omega_p$  розташовані на середньому стрижні. Вторинна обмотка складається з двох однакових секцій  $\omega'_{p2}$  і  $\omega''_{p2}$ , що

**Реле з магнітним гальмуванням серії ДЗТ.** У ряді випадків струм небалансу при зовнішніх к. з. може досягати великих значень, викликаючи спрацьовування реле. Це може бути при неповному вирівнюванні через неможливість установки на реле розрахункового числа витків, різної струмової похибки трансформаторів струму

розташовані на крайніх стрижнях. Реле струму РТ підключено до частини витків вторинної обмотки, а резистор  $R_{ш}$  для плавного підрегулювання струму спрацьовування підключений до повного числа витків цієї обмотки. Гальмова обмотка також складається з двох однакових секцій  $\omega'_T$  і  $\omega''_T$  розташованих на крайніх стрижнях. На регулювальній колодці реле вибите число витків відводів однієї

секції гальмової обмотки, що при визначенні всіх характеристик реле умовно вважається числом витків усієї гальмової обмотки. Це прийнято для зручності вибору числа витків робочої (зрівняльної) і гальмової обмоток при експлуатації реле, тому що перетин крайніх стрижнів трансформатора НТТ у 2 рази менше середнього і при приведенні гальмової обмотки до середнього стрижня, на якому розташована обмотка  $\omega$ , число витків гальмової обмотки виявляється рівним числу витків її однієї секції  $\omega'_T$  і  $\omega''_T$ .

Гальмовий струм  $I_T$  створює в трансформаторі НТТ гальмовий потік  $\Phi_T$ , що замикається тільки по крайніх стрижнях. Магнітні потоки від секцій гальмових обмоток  $\omega'_T$  і  $\omega''_T$  у

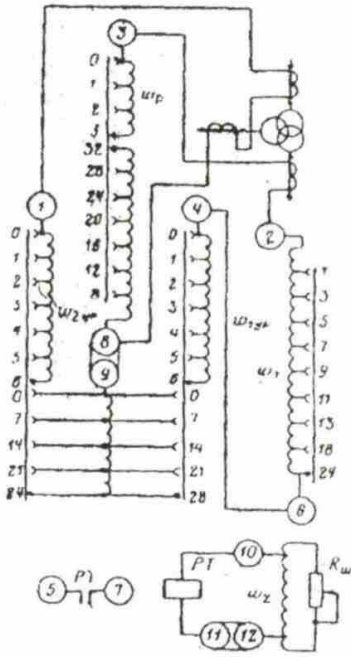


Рисунок 3.7 – Принципова схема і схема включення реле ДЗТ-11

середньому стрижні взаємно компенсуються і магнітний зв'язок між обмотками  $\omega'_T$  і  $\omega''_T$  відсутній. Гальмовий потік  $\Phi_T$  наводить у секціях вторинної обмотки  $\omega'_2$  і  $\omega''_2$  однакові по абсолютним значенням, але протилежні по фазі е.д.с. В результаті сумарна е.д.с. на вторинній обмотці дорівнює нулю і струм у реле РТ від гальмового струму відсутній. Призначення гальмової обмотки полягає в

насиченні і збільшенні магнітного опору крайніх стрижнів магнітопроводу НТТ.

Робочий струм  $I_p$  створює в середньому стрижні робочий потік  $\Phi_p$ , що замикається по крайніх стрижнях магнітопроводу. Пропорційно цьому потоку в секціях вторинної обмотки  $\omega'_2$  і  $\omega''_2$  наводяться однакові по абсолютним значенням і співпадаючі по фазі э.д.с., а їх сумарна э.д.с. викликає струм у реле РТ. Значення робочого потоку в крайніх стрижнях визначається значеннями м.д.с. робочої обмотки і магнітного опору сердечника  $\Phi_p = F_p / R_m$ .

Потік  $\Phi_T$ , що створюється гальмуємим струмом, збільшує магнітний опір крайніх стрижнів магнітопроводу, тим самим зменшуючи значення робочого потоку при даній м.д.с. робочої обмотки. Цим досягається автоматичне закрублення реле при зовнішніх к.з. Це закрублення оцінюється коефіцієнтом гальмування. Коефіцієнт гальмування залежить від гальмового струму. При великому гальмовому струмі ( $I_{cp} > I_{cp0}$ ) коефіцієнт гальмування  $k_T = I_{cp}/I_T$ . Коефіцієнт гальмування задається при визначеній м.д.с. гальмової обмотки по гальмовій характеристиці  $F_{cp} = f(F_T)$ . Змінюючи співвідношення між витками гальмової і робочої обмотки, можна змінювати  $k_T$ .

Гальмова характеристика визначається для різних кутів між гальмовим і робочим струмами, тому що цей кут залежить від видів струмів небалансу і може бути будь-яким. При неповному вирівнюванні струмів пліч захисту струм небалансу, що є робочим струмом, збігається по фазі зі струмом зовнішнього к.з., що є гальмовим струмом. Струм небалансу через розходження струмів намагнічування трансформаторів струму зрушений стосовно струму зовнішнього к.з. на кут, близький до  $90^\circ$ . Тому гальмові характеристики задаються двома кривими. Нижня крива визначає зону обов'язкового гальмування, верхня - зону обов'язкового спрацювання, а між ними реле може спрацювати чи не спрацювати в залежності від кута між гальмовим і робочим струмом. Зона спрацювання чи неспрацювання в залежності від кута між гальмовим і робочим струмами мінімальна при індукції сердечника в

умовах спрацьовування, рівної приблизно 1,4 Т. У реле ДЗТ ця індукція, обрана за умови надійної роботи при к.з. у зоні і відбудування від аперіодичної складової при зовнішніх к. з. і складає 1.35 Т.

Коефіцієнт надійності реле і час спрацьовування залежать від коефіцієнта гальмування. Ця хороша робота реле ДЗТ гарантується при коефіцієнті гальмування, рівному 0,35.

### **3.4 Зміст звіту**

- 3.4.1 Тема, мета, обладнання.
- 3.4.2 Схема внутрішніх з'єднань реле часу;
- 3.4.3 Принцип дії реле часу;
- 3.4.4 Схема реле для захисту МТЗ М;
- 3.4.5 Назва та призначення окремих блоків реле захисту МТЗ М;
- 3.4.6 Принцип дії диференційного струмового захисту;
- 3.4.7 Реле ДЗТ;
- 3.4.8 Принцип дії реле ДЗТ.

### **3.5 Питання для самоперевірки**

- 3.5.1 Принцип дії реле часу ЕВ-100.
- 3.5.2 Конструкція реле часу ЕВ-100.
- 3.5.3 Яке призначення ланцюга R-C в схемі реле часу?
- 3.5.4 Які типи контактів є в реле часу?
- 3.5.5 Які елементи (блоки) входять у склад реле МТЗ-М?
- 3.5.6 Призначення елемента регулювання реле МТЗ-М?
- 3.5.7 Чому реле у диференційному захисті спрацьовує тільки при к.з. в зоні дії захисту?
- 3.5.8 Чому виникають струми небалансу в диференційному захисті?
- 3.5.9 Призначення трансформаторів, що насичуються?
- 3.5.10 Принцип дії реле ДЗТ?

#### 4. Рекомендована література

1. Правила улаштування електроустановок: Глава 3.2. Релейний захист / Мінпаливенерго України. К: НППР, 2015 – 88с.
2. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения/ В.А. Андреев. - М. : Высшая школа, 2007.-520с.
3. Беркович М.А. Основы техники релейной защиты/ М.А. Беркович, В.В. Молчанов, В.А. Семенов. - М.: Энергоатомиздат, 1984.-433 с.
4. Чернобровов Н.В. Релейная защита/ Н.В. Чернобровов. - М.: Энергия, 2012.-680с.
5. Фабрикант В.Л. Основы теории построения измерительных органов релейной защиты и автоматики/ В.Л. Фабрикант. – М.: Энергоатомиздат, 1968 – 267с.
6. Федосеев А.М. Релейная защита электрических сетей. Учебное пособие для вузов/ А.М. Федосеев. – М.: «Высшая школа», 1984-520с.
7. Технічне обслуговування мікропроцесорних пристроїв релейного захисту, противоаварійної автоматики, електроавтоматики, дистанційного керування та сигналізації електростанцій та підстанцій від 0,4 кВ до 750 кВ: СОУ-Н-ЕЕ 35-514-2007. – [Чинний від 2007-10-30]. – К. :ОЕП «ГРІФРЕ», 2008. – 79с. – (Національні стандарти України)
8. Ніценко В.В. Дослідження похибок трансформаторів струму у системах релейного захисту в усталених та перехідних режимах енергосистеми / В.В Ніценко, Д.О. Кулагін, П.В. Махлін // Електротехніка та електроенергетика. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – С. 87-94.
9. Ніценко В.В. Розробка заходів підвищення селективності дії диференційно-фазного захисту збірних шин при насиченні трансформаторів струму / В.В Ніценко, Д.О. Кулагін, П.В. Махлін // Енергетика: економіка, технології, екологія. – К.: НТУУ КПІ, 2016. – Вип.4/2016. - С. 43-52.