

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

Махлін П.В., Шрам О.А., Іваненко Є.П.

КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИПИ ДІЇ РЕЛЕ НА РІЗНИХ ЕЛЕМЕНТНИХ БАЗАХ

Навчальний посібник

Запоріжжя • НУ «Запорізька політехніка» • 2020

УДК 621.316.925(075.8)

МЗ6

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Національного університету «Запорізька політехніка»
(протокол №3/20 від 19 жовтня 2020р).*

Рецензенти:

О.Л. Резінкін – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри у НТУ «Харківський політехнічний інститут»;

М.Ф. Сопель – заступник директора – головний інженер МПП «АНІГЕР», доктор технічних наук, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки;

П.Д. Андрієнко – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри у НУ «Запорізька політехніка».

МЗ6

Махлін П.В.

Конструкції та принципи дії реле на різних елементних: навч. посібник / П.В. Махлін, О.А. Шрам, Є.П. Іваненко – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 112 с.

ISBN 978-617-529-288-4

У навчальному посібнику приведені конструкції та принципи дії реле електромеханічної елементній базі, на базі інтегральних мікросхем, а також релейного захисту на мікропроцесорній основі. Даний навчальний посібник призначений для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» з дисциплін «Основи релейного захисту та автоматика» і «Релейний захист та автоматика в системах електропостачання» як доповнення до навчальної літератури.

УДК 621.316.925(075.8)

ISBN 978-617-529-288-4

© Національний університет
«Запорізька політехніка», 2020

© Махлін П.В., 2020

© Шрам О.А., 2020

© Іваненко Є.П., 2020

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ РЕЛЕ.....	7
1.1 Електромагнітні реле	7
1.2. Індукційне реле.....	17
1.3. Реле з трансформаторами, що насичуються	27
1.4.Реле часу.....	35
2. РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ НА БАЗІ ІНТЕГРАЛЬНИХ МІКРОСХЕМ.....	39
2.1 Реле на базі інтегральних мікросхем	39
2.2 Струмівий чотириступінчатий захист нульової послідовності	42
2.3 Дистанційний захист ліній електропередач.....	57
3. МІКРОПРОЦЕСОРНІ ПРИСТРОЇ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ.....	72
3.1 Пристрій захисту, автоматики, контролю та керування приєднань 6-35 кВ МРЗС-05.....	72
3.2 Пристрій релейного захисту, автоматики та дистанційного керування приєднань 0,4 - 10 кв.....	83
3.3 Універсальний струмівий захист з живленням від струмових ланцюгів або і від ланцюгів струму і напруги.....	87
3.4 Багатофункціональний захист ліній електропередач та трансформаторів	93
3.5 Пристрої захисту та автоматики електродвигунів	98
3.6 Пристрої диференціального захисту збірних шин електричних підстанцій	102
3.7 Універсальний захист по частоті	105
3.8 Універсальна система керування у енергосистемах	107
3.9 Питання для самоперевірки.....	109
Перелік посилань.....	110

ВСТУП

Реле є автоматичний пристрій, який спрацьовує коли значення вхідної величини досягає значення спрацьовування - величини, що встановлена на ньому. Для захисту елементів електричних мереж застосовуються реле на різних елементних базах: реле з контактами – електромеханічні і безконтактні - на напівпровідниковій і мікроелектронній елементній базі та на мікропроцесорах. Електромеханічні реле поділяються на первинні реле, що підключаються безпосередньо в електричну мережу, та вторинні, що підключаються через вимірювальні трансформатори. По дії на привід вимикача реле поділяються на прямої та непрямої дії. Реле прямої дії діють механічно на привід вимикача, а реле непрямої дії при спрацьовуванні переключаються контакти. Пристрої релейного захисту складаються з кількох реле, з'єднаних за визначеною схемою. У реле на напівпровідниковій і мікроелектронній елементній базі при визначеному значенні вхідної величини стрибкоподібно змінюється вихідна величина, наприклад напруга. Релейний захист на мікропроцесорній елементній базі це мікро ЕОМ, яка перетворює електричні величини в цифровий код, а потім проводить обчислювальні операції.

Пристрій релейного захисту та його схема умовно підрозділяються на дві частини : вимірювальну та логічну. Вимірювальна частина складається з основних реле, які неперервно отримують інформацію про стан елементу електричної мережі, що захищається, та реагують на пошкодження чи ненормальні режими, та подають команди на логічну частину захисту. Логічна частина (чи оперативна) сприймає команди від вимірювальної частини та по заданій програмі, виконують завчасно передбачені операції і подають імпульс керування на відключення вимикачів, або в схему сигналізації. Логічна частина може виконуватися за допомогою електромеханічних реле, або пристроїв на інтегральних мікросхемах, або за допомогою програмних засобів мікропроцесорів.

У відповідності з цим реле також поділяються на дві групи : на вимірювальні, які реагують на пошкодження або ненормальні

режими роботи, та логічні, що діють по команді перших та застосовувані в логічній частині схеми. Так ознакою появи короткого замикання (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, реле напруги та реле опору. Крім того застосовують реле напрямку потужності, що реагують як на величину так і напрям (знак) потужності к.з., 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 к.з., використовують реле струму та напруги. Перші працюють у якості реле які реагують на підвищення струму в електричній мережі, 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 температури струмоведучих елементів за рахунок тепла, що виділяється струмом при їх перевантаженні, та інші.

До числа логічних реле відносяться: реле часу, які створюють необхідну витримку часу дії захисту; реле вказівні – для сигналізації та фіксації дії захисту; реле проміжне, яке служить для ромноження контактів в логічних схемах та передачі сигналу на відключення вимикачів безпосередньо або через контактори тобто працюють для виконання зв'язку між елементами захисту.

Конструкцію електромеханічних реле умовно [1, 2, 3, 4] можна поділити на дві частини сприймаючу та виконавчу. Сприймаючий елемент має обмотку, яка живиться струмом чи напругою елемента, що захищається, в залежності від типу реле (струму 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 переміщується 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.

У схемах релейного захисту та автоматики широко застосовуються електромеханічні реле [1, 2, 3, 4]. 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. Релейний захист на інтегральних мікросхемах [4, 5] та на мікропроцесорній техніці [6-15] 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, що реагують на електричні величини для захисту електричних машин та апаратів, застосовуються реле, що реагують на неелектричні величини, тобто непрямим способом виявляють появу пошкоджень чи не нормальних режимів роботи. Наприклад, реле, які реагують на появу газу чи підвищення тиску у кожухах масляних трансформаторів та реакторів; реле, що реагують на підвищення температури та тиску в трансформаторах, електричних машин і апаратах та інше.

1 ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ РЕЛЕ

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

Контакти електромеханічних реле повинні забезпечувати надійне замикання та розмикання ланцюгів струму або напруги 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), протікання якого допускається через контакт реле.

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 S_p залежить від необхідної намагнічуючої сили обмоток для приведення в дію рухомої системи реле.

1.1 Електромагнітні реле

1.1.1 Принцип дії електромагнітних реле

На рис. 1.1 приведені три основні різновидності конструкцій електромагнітних реле: з якорем, що втягується, з поворотним якорем та з поворотним рухом якоря [1, 2, 3, 4]. Основними елементами електромагнітних реле є електромагніт 1, якому намотана обмотка, сталений рухомий якір 2, на якому знаходяться рухомі контакти 3, нерухомі контакти 4 та протидіюча пружина 5.

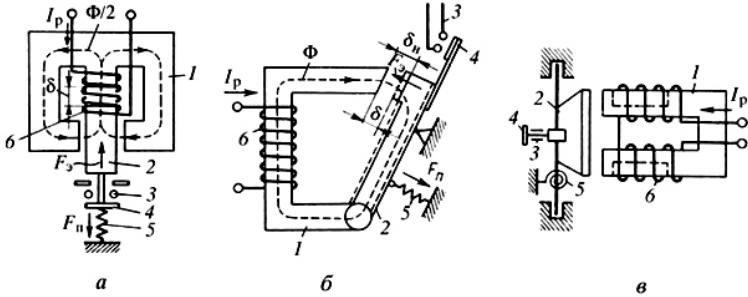


Рисунок 1.1 – Типи електромагнітних реле

- а) з якорем, що втягується;
- б) з поворотним якорем;
- в) з поперечним рухом якоря;

Струм, що протікає по обмотці електромагніту (I_p) створює намагнічуючу силу (н.с.) $I_p \omega_p$. Збуджується магнітний потік Φ , замикається по замкнутому контуру: сталь електромагніту, ярік та повітряний проміжок. Якір під дією магнітних зусиль притягується до полюсу електромагніту. Рухомий контакт 8, що знаходиться на якорі, замикає нерухомі контакти реле 4. Початкове положення якоря обмежується упором 6. Електромагнітна сила, яка притягує сталевий якір до електромагніту, пропорційна квадрату магнітного потоку Φ в повітряному зазорі [1]:

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

Магнітний потік Φ визначається по формулі

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

де R_m - магнітний опір замкнутого контуру, по якому замикається магнітний потік Φ (сталь електромагніта, ярік та повітряний проміжок), ω_p -кількість витків обмотки реле.

При переміщенні якоря змінюється довжина повітряного зазору, а при цьому змінюється магнітний опір контуру та

електромагнітна сила. Залежність електромагнітної сили та електромагнітного моменту від довжини повітряного зазору, показана на рисунку 1.2

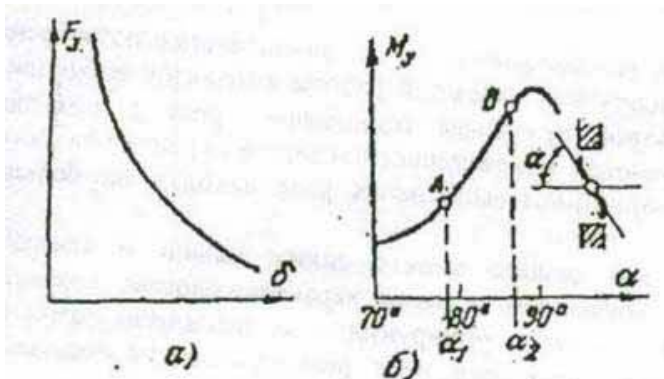


Рисунок 1.2 – Залежність електромагнітної сили $F_{\text{э}}$ та електромагнітного моменту $M_{\text{э}}$ від повітряного зазору

- а) реле з поворотним якорем $F_{\text{э}}=f(\delta)$;
- б) реле з поперечним рухом якоря $M_{\text{э}}=f(\alpha)$;

Підставивши вираз (1.2) у (1.1) отримуємо :

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

У реле з поворотним якорем та поперечним рухом якоря (рисунки 1.2 а та б) електромагнітна сила створює обертаючий момент:

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

При роботі електромагнітної системи в ненасиченій області коефіцієнти k' та k'' у формулах (1.3) та (1.4) залежать тільки від R_m та мають постійне значення.

Так як електромагнітна сила $F_{\text{э}}$ та її момент $M_{\text{э}}$ пропорційні квадрату струму I_p в обмотці реле то мають постійний напрямок незалежно від напрямку струму

Електромагнітна сила F , та її момент M , є деякою функцією положення якоря, тобто функцією довжини повітряного зазору δ (а у системах з поперечним рухом якоря - кута α). Найбільше проста залежність опору повітряного зазору δ та електромагнітної сили F , для реле з поворотним якорем (рис. 1.1, б), у яких магнітне поле в повітряному зазорі однорідне:

$$R_m = \delta / 4\pi S, \quad (1.5)$$

$$F_s = k I^2 p / \delta. \quad (1.6)$$

Отже, сила притягання у реле з поворотним якорем обернено пропорційна довжині повітряного зазору δ .

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 Φ . 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 .

Електромагнітний принцип широко використовується для виготовлення реле струму, напруги, проміжного, вказівного реле та реле часу.

1.1.2 Параметри спрацьовування та повернення реле

Для спрацьовування реле необхідно, щоб електромагнітна сила та її момент були більше сили опору пружини F_p , тертя і ваги $F_T[1]$. Реле починає рух, коли

$$F_{\Sigma} = F_{\Sigma.c.p.} = F_n + F_m, \quad (1.7)$$

$$M_{\Sigma} = M_{\Sigma.c.p.} = M_n + M_m. \quad (1.8)$$

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

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

$$I_p = I_{c.p.} = R_m / \omega_p (M_{c.p.} / k). \quad (1.9)$$

Струм спрацьовування реле - $I_{c.p.}$, регулюється шляхом зміни числа витків обмотки реле W_p , зміни моменту M_n протидіючої пружини, зміни довжини повітряного зазору δ 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 $I_{нов.} / I_{c.p.}$ називається коефіцієнтом повернення $k_{нов.}$

У реле, що реагують на зростання струму, $I_{c.p.} > I_{нов.}$ і $k_{нов.} < 1$. Значення $k_{нов.}$ у різних конструкцій коливається в досить широких межах; від 0,4 до 0,98.

Моменту, що створюється електромагнітною силою, протидіє момент, що створюється силою опору пружин. Момент, що створюється електромагнітною силою залежить від довжини повітряного зазору δ . При спрацьовуванні реле зменшується повітряний зазор, зменшується магнітний опір магнітопроводу, збільшується електромагнітний момент. Для повернення реле необхідно щоб струм реле знизився до значення, при якому момент опору пружини був більше ніж електромагнітний момент, тобто відбулося повернення реле.

1.1.3 Максимальне реле струму типу РТ-40

Максимальне реле струму РТ-40 [1, 2, 3, 4] реагує на підвищення струму на ділянці, що захищається. Реле застосовуються в пристроях релейного захисту та в протиаварійній автоматичі як орган, що реагує на підвищення струму на ділянці, що захищається, в контрольованому ланцюзі. Загальний вид частини реле представлений на рис. 1.3 Магнітна система реле складається з П-подібного шихтованого сердечника 1 і Г-подібного якоря 2. У сердечнику електромагніту під обмотками зроблені 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. Положення якоря в початковому та кінцевому положенні фіксується упорними гвинтами 3, закріпленими контргайками чи пружинними пластинками для запобігання від самовідгвинчування. За допомогою протидіючої спіральної пружини 4 якір реле утримується в початковому положенні. Один кінець спіральної пружини 4 зв'язаний з якорем, а інший - з покажчиком уставки 5. При виставленні уставки спрацьовування

реле (повороті покажчика уставки), змінюється протидіючий момент пружини і відповідно струм спрацьовування реле. Необхідне положення покажчика визначається по поділках на шкали реле 6. Жорсткість протидіючої пружини $1,0 \text{ Н}\cdot\text{мм}/90^\circ$. При повороті покажчика від мінімальної уставки до максимальної (кут повороту близько 90°) момент протидіючої пружини збільшується пропорційно квадрату струму - в 4 рази. До якоря прикріплені пластмасова колодка з двома рухливими контактами та опорна скоба. Барабанчик 7 з радіальними перегородками усередині, заповнений просушеним кварцовим піском, прикріплений до верхньої частини скоби. Це необхідно для зниження вібрацій рухливої системи. При будь-якому прискоренні рухливої системи піщини починають рухатися і частину наданій якорю енергії витрачається на подолання сил

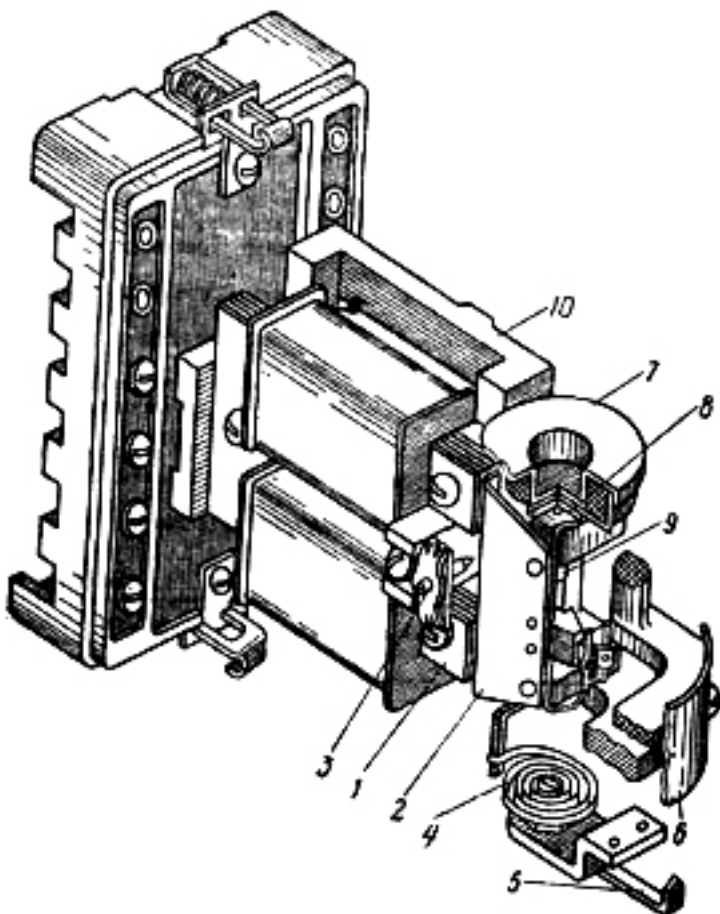


Рисунок 1.3 – Активна частина реле РТ-40

тертя. Знижується вібрація рухливої системи, зменшується вібрація контактів при з'єднанні. Між барабанчиком та опорною скобою поміщена шайба з вузьким центральним отвором (відповідний отвір мається у скобі) є бронзова пластинка 8, що служить опорною площиною для підвіски рухливої системи реле центральним отвором (відповідний отвір мається у скобі) є бронзова пластинка 8, що служить опорною площиною для

підвіски рухливої системи реле. У верхній частині рухлива система спирається бронзовою пластинкою на штифт з сферичним кінцем за допомогою бронзової пластини. Штифт укріплений у вкладиші 9 на рамці-підставі 10 і проходить крізь отвір в опорній скобі і шайбі. Переміщення осі рухливої системи в горизонтальній площині обмежується таким же штифтом, що проходить через отвір у нижній відігнутій частині опорної скоби. Переміщення рухливої системи наверх обмежує скоба. Виводи двох обмоток, що розташовані на електромагніті, виведені на затискачі цоколя реле. Обмотки реле можуть бути при перестановці перемичок на цих затисках з'єднанні паралельно або послідовно. При цьому змінюються уставки спрацьовування реле у 2 рази. Цифри, нанесені на шкалі, відповідають послідовному з'єднанню обмоток. Реле має один замикаючий та один контакт, що розмикається. Нерухомі контакти приварені до плоских бронзових пружин, переміщення яких обмежується гнучкими зовнішніми та твердими внутрішніми упорами 3. Внутрішні упори виконані з'єднані замком з контактною пружиною. При регулюванні контактні пружини згинаються разом з латунним внутрішнім упором. Це необхідно для зменшення розрегулювання контактів через зменшення залишкової деформації.

Вузли реле змонтовані на рамці з алюмінієвого сплаву (рисунок 1.4), укріпленої на пластмасовому цоколі реле, та закриті прозорим полістирольним кожухом. Кріплення кожуха до цоколя виконується пружинними замками. Для регулювання зазору між полюсами магнітопроводу та якорем реле отвори у сердечнику реле для гвинтів, що кріплять його до рамки, мають збільшений діаметр.

Конструкції реле типу РТ-40 виконуються на різні уставки спрацьовування (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики реле РТ-40

Реле	Діапазон уставок, А	З'єднання обмоток						Потужність при струмі мінімальної уставки ВА
		послідовно			Паралельно			
		Струм спрацювання, А	Термічна стійкість, А		Струм спрацювання, А	Термічна стійкість, А		
			Тривало	У продовж 1 с		Тривало	У прод овж 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

1.1.4 Питання для самоперевірки

1. Який апарат називається реле?
2. Як поділяються реле в залежності від виду контактів?
3. На які дві частини поділяються пристрої захисту?
4. Які признаки к.з. можуть бути у схемах електропостачання?
5. На які параметри електричної мережі можуть реагувати реле?
6. Які реле відносяться до допоміжних?
7. На які частини можна поділити реле?
8. В чому полягає принцип дії електромагнітних реле?
9. Чому електромагнітні реле можуть використовуватися як для постійного так і для змінного струму?
10. Що таке струм спрацювання реле?

11. Що таке струм повернення реле?
12. Що таке коефіцієнт повернення реле?
13. Яка конструкція реле РТ-40?
14. Призначення протидіючої пружини.
15. З якою метою поділена обмотка реле РТ-40?

1.2. Індукційне реле

1.2.1 Принцип дії індукційного реле

Індукційні реле індукційні реле [1,2,3,4] засновані на взаємодії між індуктованим у провіднику струмом і змінним магнітним потоком. Тому вони застосовуються тільки на змінному струмі. Як правило, це вторинне реле непрямої дії. Існуючі типи індукційних реле можна розділити на три групи: реле з рамкою, реле з диском, реле з циліндричним ротором. В індукційних реле з рамкою (рис. 1.4 а) один з потоків (Φ_2) індуктує струм в короткозамкненій обмотці, що у вигляді рамки знаходиться у полі другого магнітного потоку (Φ_1), зсуного по фазі. Реле мають високу чутливість і найбільшу швидкодію в порівнянні з іншими індукційними реле.

Індукційні реле з диском широко застосовуються. Схема найпростішого реле такого типу приведена на рис. 1. б. Реле мають порівняно просту конструкцію і досить великий крутний момент рухомої частини. Індукційні реле з циліндричним ротором (рис. 1.5, в) мають рухому частину у вигляді циліндру, що обертається в магнітному полі двох потоків чотириполюсної магнітної системи. Потoki Φ_1 і Φ_2 знаходяться в окні магнітопроводу під кутом 90° , а за часом зрушені на кут γ . Всередині циліндричного ротора 5 знаходиться сталевий циліндр 1 для зменшення магнітного опорудля магнітних потоків. Реле з циліндричним ротором більш швидкої дії - час спрацьовування до 0,02 с, а це забезпечило їх широке застосування.

Чотириполюсна магнітна система дозволяє без істотних змін отримувати різноманітні за призначенням реле та уніфікувати їх виробництво. Наприклад, якщо на полюсах 11 і 13 розміщені обмотки -9, що підключені до трансформатору струму, а на ярмі обмотки -7, що підключені до трансформатору напруги, то вони створюють відповідно потоки Φ_1 і Φ_2 , пропорційні струму і напруги. Взаємодія цих потоків з індуктованими у циліндричному роторі - 5 струмами створить в останньому крутний момент. В цьому випадку це реле напрямку потужності:

$$M = kI \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2 \cdot \sin \gamma = k_2 \cdot I \cdot U \cdot \cos \varphi.$$

де Φ_1 , Φ_2 - магнітні потоки,

$k1, k2$ – коефіцієнти пропорційності,
 γ - кут між магнітними потоками $\Phi1, \Phi2$.

Якщо на полюсах 11 і 13 розташувати обмотки - 9, що підключені до трансформатору напруги напруги та приєднані через резистор, а обмотки 7 приєднані через конденсатор, то можна отримати реле, що реагує на зміну частоти напруги – тобто реле частоти.

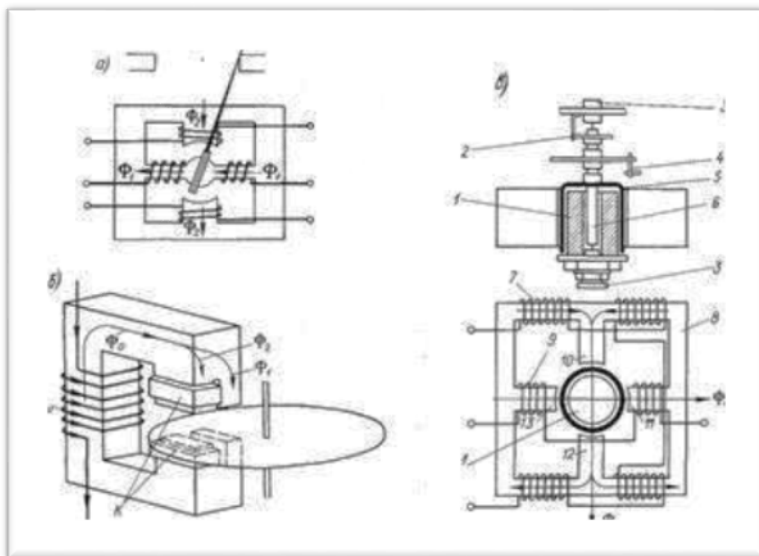


Рисунок 1.4 – Індукційні реле: а - з рамкою, б - з диском, в - з циліндричним ротором: 1 - сталевий циліндр, 2 – спіральна пружина, 3 - підшипники, 4 - допоміжні контакти, 5 – алюмінієвий циліндр, 6 - вісь, 7, 9 - групи обмоток, 8 – ярмо.

Індуктивності обмоток, ємність і опір підбираються так, щоб при заданій уставці по частоті потоки збіглися по фазі. Кут між ними був невеликий. При зміні частоти потоки не співпадуть по фазі, а знак кута їх зсуву буде залежати від зміни частоти. При підвищенні або зниженні частоти відбувається поворот циліндричного ротора і замикаються (розмикаються) тих чи інших контактів. Аналогічно різними комбінаціями підключення

обмоток на сердечниках можна отримати і інші за призначенням реле.

Комбіновані реле струму мають індукційний елемент, який діє з витримкою часу, що залежить від значення струму, і електромагнітний елемент миттєвої дії (відсічка), що спрацьовує при високих значеннях струму.

1.2.2 Індукційне реле напрямку потужності

1.2.2.1 Призначення реле напрямку потужності

Реле напрямку потужності [1,2,3] реагують на величину і знак потужності, що підведена до їхніх затисків. Вони використовуються для захисту ліній з двостороннім живленням як орган, що визначає напрямок (знак) потужності к.з.: де відбулося ушкодження - на лінії, що захищається, чи поза нею (наприклад на інших приєднаннях, що відходять від шин підстанції). У першому випадку (к.з. в точці $K1$) потужність к.з. S_{K1} , спрямована від шин у лінію і реле напрямку потужності повинне замикати свої контакти, у другому (к.з. в точці $K2$) - потужність к.з. S_{K2} спрямована до шин, у цьому випадку реле не повинне замикати контакти.

Реле напрямку потужності має дві обмотки: одна підключається до трансформатору напруги, що встановлений на шинах підстанції, а інша - до трансформатору струму, що встановлений на ЛЕП, що захищається. Взаємодія магнітних потоків, які збуджуються струмами, що протікають по обмотках, створює електромагнітний момент. Величина і знак електромагнітного моменту залежать від напруги U_p , струму I_p , що подається на обмотки реле, та кута зрушення φ_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, що 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 мінімальною потужністю спрацьовування і позначається $S_{ср.мін}$.

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

1.2.2.2 Конструкція та принцип дії індукційних реле напрямку потужності

Конструкції індукційних реле потужності [1,2,3,4] виконуються з рухливою системою у виді циліндричного ротора (рис. 1.5). Реле має чотиріполюсний магнітопровід 1. У вікні магнітопроводу знаходиться циліндричний ротор. Для зменшення магнітного опору в міжполюсному просторі на осі циліндричного ротору встановлений циліндр з феромагнітної сталі 2. Під впливом магнітних потоків алюмінієвий ротор 3 може обертатися. При цьому відбувається замикання чи розмикання контактів реле 6.

Для утримання ротору у нейтральному положенні або його повернення і контактів у початкове положення передбачається спіральна протидіюча пружина 7.

На обмотку 4 подається напруга з трансформатора напруги $U_p = U_c/n_n$, а обмотка 5 приєднана вторинних виводів трансформатора струму - $I_p = I_c/n_m$ (де U_c і I_c - напруга і струм в елементі, що захищається, n_n , n_m – коефіцієнти трансформації трансформаторів струму та напруги). Струм в обмотці 4 $I_n = U_p/z_n$, збуджує магнітний потік Φ_n . Струм I_p в обмотці 5 збуджує магнітний потік Φ_m .

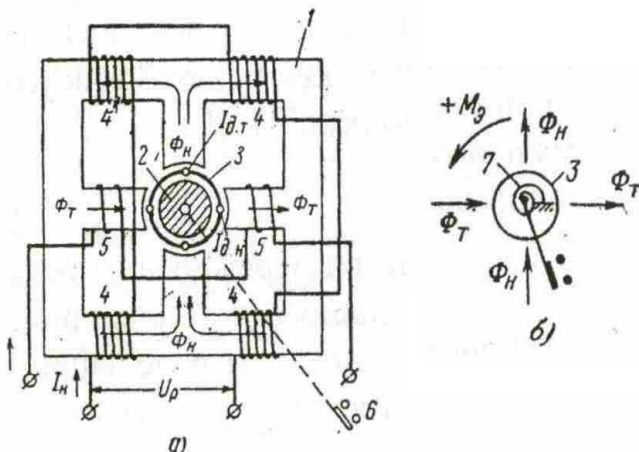


Рисунок 1.5 – Реле напрямку потужності
 а) схема реле напрямку потужності
 б) магнітні потоки та електромагнітний момент

На рисунку 1.6 показана векторна діаграма магнітних потоків Φ_H і Φ_T . Побудова векторної діаграми починається з вектору напруги U_p . Струм I_n зсунутий по фазі щодо напруги U_p на кут α , який визначається параметрами обмотки 4. Кут φ_p визначається струмом та напругою в електричній мережі..

Так як магнітна система має повітряні зазори, магнітні потоки Φ_H і Φ_T по напрямку практично співпадають з струмами, що їх створюють, I_n і I_p .

Таким чином кути між потоками Φ_H і Φ_T , а також і струми I_n і I_p , зміщені по фазі на кут $\psi = \alpha - \varphi_p$ і що кут ψ залежить від кута φ_p .

Магнітні потоки Φ_H і Φ_T пронизують циліндричний ротор і наводять у ньому вихрові струми $I_{\partial H}$ і $I_{\partial T}$. Вихрові струми збуджують магнітне поле, яке взаємодіє з магнітними потоками Φ_H і Φ_T та створюється електромагнітний момент M_3 :

$$M_3 = k \cdot \Phi_H \cdot \Phi_T \cdot \sin \psi . \quad (1.10)$$

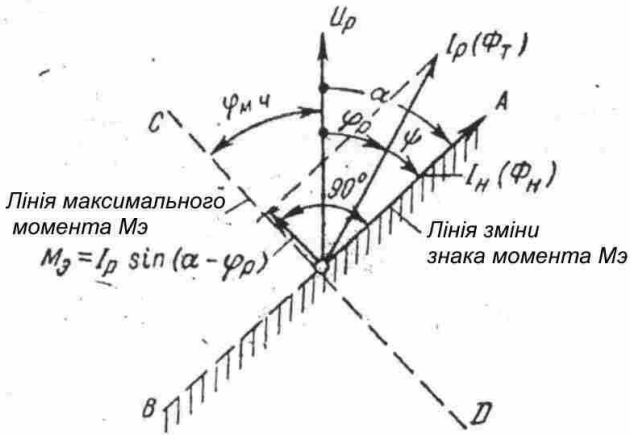


Рисунок 1.6 – Векторна діаграма реле напрямку потужності

Так як, магнітні потоки пропорційні струмам в обмотках реле, а струм в обмотці 4 пропорційний напрузі реле U_p , то електромагнітний момент:

$$M_z = k_1 \cdot U_p \cdot I_p \cdot \sin(\alpha - \varphi_p) = k_1 \cdot S_p. \quad (1.11)$$

Як видно із отриманого виразу, електромагнітний момент, що діє на ротор реле пропорційний напрузі реле U_p та струму реле I_p , а його знак залежить від значення кута φ_p та визначається знаком $\sin(\alpha - \varphi_p)$.

Значення $\sin(\alpha - \varphi_p)$, а отже, і електромагнітного моменту M_z , позитивні, коли кут φ_p знаходиться в межах від 0 до 180°, і негативний, якщо φ_p міняється від 180 до 360°. На рис. 1.9 зона негативних моментів заштрихована. За позитивний напрямок моменту M_z прийнята його дія – повертання ротора на замикання контактів (проти годинникової стрілки). На рис. 1.9 це незаштрихована частина діаграми (де Φ_m випереджає Φ_n на кут ψ і його синус мають позитивний знак).

Якщо напруга в реле U_p недостатня, або кут $\varphi_p = \alpha + i \varphi_p = \alpha + 180^\circ$,

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

реле не буде спрацьовувати.

Таким чином розглянута конструкція реле напрямку потужності реагує на величину напруги та струму, що на нього подається та кут між ними.

1.2.3 Індукційне реле струму

Реле струму серії РТ-80 і РТ-90 [1,2,3,4] складається з двох елементів: індукційного та електромагнітного. Індукційний елемент має обмежено залежну характеристику витримки часу, а електромагнітний елемент діє миттєво (струмова відсічка). Конструкція реле струму серії РТ-80 показана на рис. 1.7.

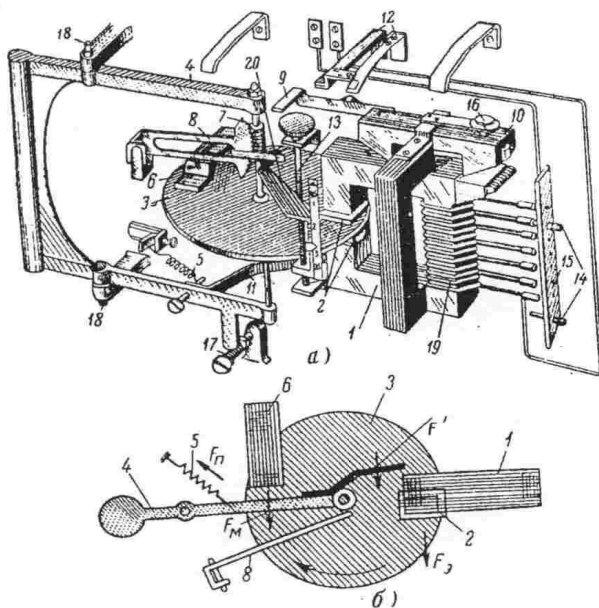


Рисунок 1.7 – Конструкція реле струму серії РТ-80

На рис. 1.8 показана характеристика витримки часу реле струму РТ-80. При струмах, що більше струму спрацьовування електромагнітного елемента $I_{с.р}$ реле спрацьовує без витримки часу.

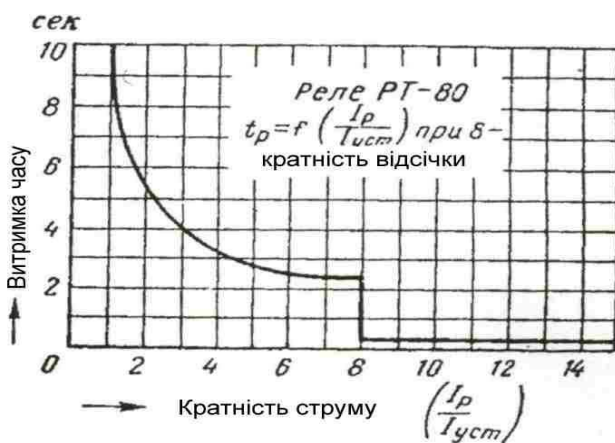


Рисунок 1.8 – Характеристика спрацьовування реле типу РТ-80

Індукційний та електромагнітний елементи мають електромагніт 1. Частина перетину електромагніту оховачена коротко замкнутими витками 2. У вікні магнітопроводу знаходиться алюмінієвий диск 3, що закріплений на осі. Струм в обмотці індукційного елемента 19 збуджує магнітний потік, що пронизує диск 3. В диску виникають вихрові струми та створюється своє магнітне поле, яке взаємодіє з магнітними потоками в частинах магнітопроводу, які оховачені та неоховачені коротко замкнутими витками. Виникає обертаючий момент та диск обертається навколо осі, що установлена на рухливій рамці 4. Рамка 4 має свою вісь обертання 18, що укріплена на корпусі реле. Пружина 5 притягає рамку до упору 17. На осі диска є черв'ячна різьба 7, що обертається разом з віссю і диском. Зубчастий сегмент 8 та черв'ячна різьба 7 керують роботою

контактів реле 12. При неспрацьованому стані реле вони не зчеплені. Для повороту рамки необхідно щоб електромагнітна сила F_{Σ} була більше сили протидіючої пружини F_n 5. При струмі в реле, рівному 20-30% струму спрацьовування індукційного елемента $I_{i.c.p}$ диск починає обертатися. При взаємодії з магнітним потоком постійного магніту 6 у диску наводяться струми "різання", які створюють силу F_m , що перешкоджає обертанню диска. Коли струм в реле більше струму спрацьовування реле $I_p > I_{i.c.p}$ сума електромагнітних моментів M_{Σ} і M_m перевищує момент протидіючої пружини. Рамка переміщається, черв'як 7 зчіплюється з зубчастим сегментом 8. Після зчеплення черв'яка із сегментом диск продовжує обертатися і за допомогою черв'яка 7 піднімає сегмент 8. При повороті рамки збільшується момент протидіючої пружини 5, але при цьому спеціальна сталева скоба 11 притягується до електромагніту 1 і виникає додаткова сила F' , яка забезпечує надійне зчеплення черв'яка із сегментом. В результаті піднімається коромисло 9 до замикання контактів реле 12. Унаслідок зменшення зазору якір 10 притягується до електромагніту 1, забезпечуючи щільне замикання контактів 12. Повертання реле у початковий стан здійснюється коли момент пружини 5 переборює електромагнітний момент, і рамка повертається в початкове положення, розчіплюючи черв'яка із сегментом. Сегмент падає на упор 20. Контакти реле розмикаються.

Струм спрацьовування реле виставляється за допомогою штепселя 14, який переставляється в гніздах планки 15, і змінює число витків обмотки реле 19. Час дії реле виставляється шляхом зміни початкового положення сегмента 8 гвинтом 13. Електромагнітний елемент працює наступним чином. Якір електромагнітного елемента знаходиться під дією потоків розсіювання електромагніта 1. Він притягується до електромагніту 1 при струмах, що перевищують струм спрацьовування індукційного елемента в 4-8 разів. Замикання контактів реле 12 здійснюється миттєво. Струм спрацьовування електромагнітного елемента регулюється зміною повітряний зазор між якорем і електромагнітом за допомогою гвинта 16.

1.2.4 Питання для самоперевірки

1. На які параметри мережі реагує реле напрямку потужності?
2. Які функції виконують реле напрямку потужності в схемах релейного захисту?
3. Скільки обмоток мають реле напрямку потужності?
4. Яким параметром визначається чутливість реле напрямку потужності?
5. Як конструктивно виконані реле напрямку потужності?
6. Що таке "мертва зона" дії реле напрямку потужності?
7. Від чого залежить напрямок розвороту рамки реле напрямку потужності?
8. З яких двох елементів складається реле типу РТ-80? Які їх функції?
9. Яке призначення протидіючої пружини у реле РТ-80?
10. Як виставляється струм спрацювання індукційного елемента реле РТ-80?
11. Як виникає сила , що приводить до обертання диску реле РТ-80?
12. Який струм приводить до спрацювання електромагнітного елемента реле РТ-80

1.3. Реле з трансформаторами, що насичуються

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, що встановлені з обох кінців об'єкта, що захищається, з'єднуються так, щоб у нормальному режимі та при зовнішніх к.з. (рис. 1.9 а) в обмотці реле була різниця струмів- $I_p = I_1 - I_2 = I_{нб}$ ($I_{нб}$ - струм небалансу).

Тоді при к.з. у зоні, що захищається (рис. 1.9 б), струм у реле буде дорівнювати сумі вторинних струмів трансформаторів струму $I_p = I_1 + I_2$ і реле спрацює.

Так навіть у нормальному режимі роботи вторинні струми трансформаторів струму I_1 не рівні між собою, то для компенсації цього струму небалансу в реле повинен бути 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 зрівняльних обмоток цього трансформатора струму шляхом зміни кількості їх витків [1,2,3,4].

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 диференційному ланцюзі з'являється або в результаті протікання струмів намагнічування трансформаторів струму при зовнішніх к. з. в перехідних режимах, або від кидка струму намагнічування силових трансформаторів (автотрансформаторів) при включенні їх під напругу. Кидки намагнічуючого струму перевищують в 5-8 разів номінальне значення струму трансформатора. Тому в реле проміжний трансформатор струму виконується з

магнітопроводом, що швидко насичується та дозволяє автоматично закрутити реле при наявності в струмі аперіодичної складової. Аперіодична складова насичує магнітопровід цього проміжного трансформатора струму (НТС) і погіршує трансформацію змінного струму у вторинний ланцюг, де встановлений виконавчий орган. У результаті виконавчий орган не спрацює.

Таким чином, застосування в реле НТС спрямовано на забезпечення вимог, пропонує до реле струму для диференціальних захистів: компенсується нерівність струмів у плечах захисту в сталому режимі та при зовнішньому к.з., у широких межах регулюється струм спрацьовування реле і здійснюється відстройка від аперіодичної складової струму.

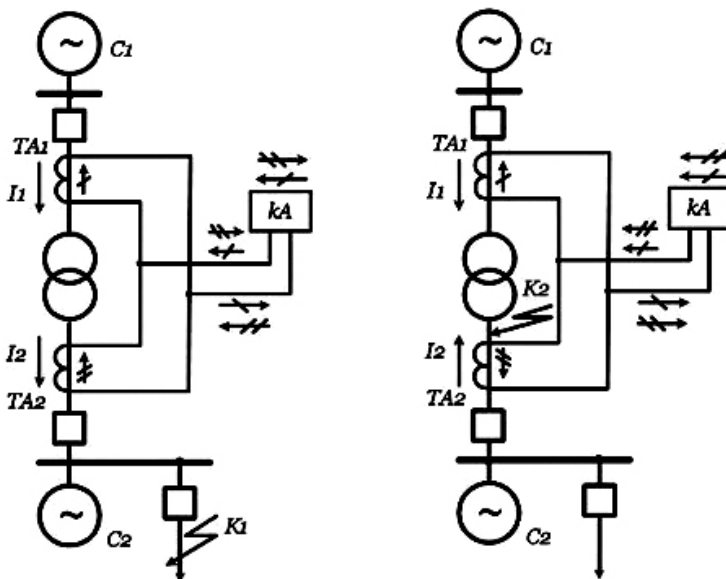


Рисунок 1.9 – Принцип дії диференціального струмового захисту

а) зовнішнє к.з.; б) к.з. у зоні дії;

Максимальне значення індукції магнітопроводу НТС в умовах спрацьовування - B_{cp} , при усталеному вхідному струмі є визначаючим параметром реле, а для відбудови від аперіодичної складової цю індукцію бажано мати більшою, щоб насичення НТС відбувалося при меншому струмі. Але тоді при к.з. у зоні, що захищається, струм у виконавчому органі реле буде знижуватись, а при цьому може знижуватись надійність спрацьовування реле.

Розрахункові співвідношення елементів реле з НТС і аперіодичної складової вхідного струму складні. При наближеному аналізі електромагнітних процесів можна вважати, що виконавчий орган реагує на середнє значення за період, яке пропорційно арифметичній сумі індукції магнітопроводу НТС за кожний з перших двох напівперіодів. Тоді е.р.с., що індуктується, визначається:

$$E_2 = 1/T \omega_2 S(|\Delta B_1| + |B_2|). \quad (1.12)$$

На рис. 1.10 показана залежність 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 індукції магнітопроводу НТТ, а отже, і е.р.с. E_2 . У результаті відбувається загрублення реле при наявності аперіодичної складової струму. При аперіодичній складовій $I_a = I_m$ найбільша вторинна з.р.с. НТТ може виникнути в несприятливому випадку в перший півперіод, якщо залишкова індукція НТТ ($-B_r$) має 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 тобто зміна індукції: $\Delta B_1 = B_r + B_s$, а у другий півперіод індукція змінюється від $+B_s$ до $+B_r$, а $\Delta B_2 = B_s - B_r$. Підставляючи значення ΔB_1 і ΔB_2 у (1.12), одержуємо середнє значення з.р.с. за період:

$$E_{2нач} = 2/T \cdot \omega_2 \cdot S \cdot B_S. \quad (1.13)$$

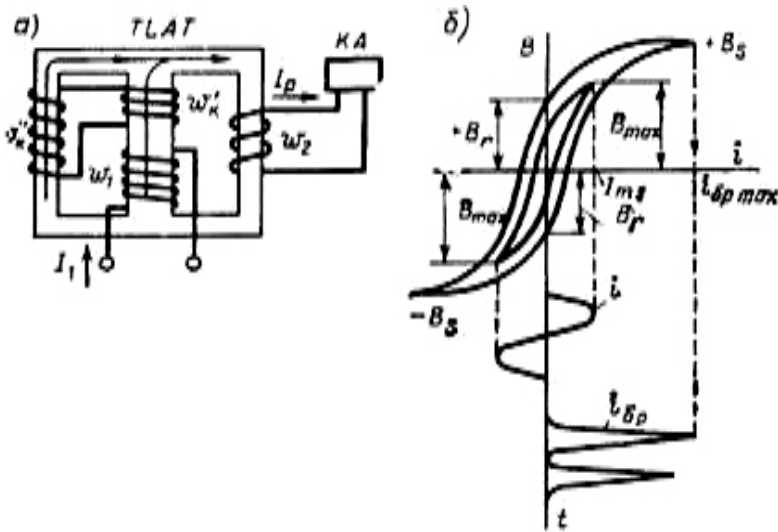


Рисунок 1.10 – Реле РНТ-565 (а) та залежність індукції трансформатора, що насичується при наявності та відсутності аперіодичної складової (б).

При відсутності аперіодичної складової в умовах спрацьовування зміна індукції за кожен напівперіод $\Delta B_1 = \Delta B_2 = 2\Delta B_{1спр}$. Підставляючи його в (1.12), одержуємо:

$$E_{2спр} = 4/T \cdot \omega_2 \cdot S \cdot B_{спр}. \quad (1.14)$$

Для того, щоб реле не спрацьовувало при наявності аперіодичної складової струму, необхідно, щоб $E_{2нач}$ було менше $E_{2спр}$, тобто з урахуванням (1.13) і (1.14) повинна виконуватися умова $B_{спр} > 0,5 B_S$. Приймаючи для сталі Э-330 $B_S = 1.8$ Тл, отримуємо, що для надійної відбудови від аперіодичної складової, максимальне значення індукції НТС в умовах спрацьовування без аперіодичної складової $B_{спр}$ повинно бути не

менше 1 Тл. У магнітопроводі реле ця індукція дорівнює 1,35 Тл. При цьому коефіцієнт надійності при двократному вхідному струмі більше 1.2, а при п'ятикратному струмі - більше 1.35.

Дослідження показали, що відбудова від аперіодичної складової залежить також від кута опору виконавчого органа (оптимальне значення $55-65^\circ$). Тому якщо в реле РТ-40 звичайного виконання при повному заповненні вікна обмотки кут дорівнює приблизно 77° , то у виконавчого органа цих реле обмотки заповнені не цілком, тим самим знижений кут опору до бажаного значенням.

У ряді випадків струм небалансу при зовнішніх к. з. може досягати великих значень, що спричиняє хибну дію реле. Це може бути при неповному вирівнюванні струмів через неможливість установки на реле розрахункового числа витків, а також різної похибки трансформаторів струму, а також при регулюванні напруги силового трансформатора під навантаженням шляхом зміни його коефіцієнта трансформації, а це приводить до розбалансування захисту. Для виключення помилкової роботи захисту застосовується реле типу РНТ-565 та ДЗТ-11. У реле типу ДЗТ-11 завдяки гальмовим обмоткам автоматично відбудовується відстройка від струмів зовнішніх к.з. Ці обмотки включаються так, щоб при зовнішніх к.з. по ним проходив струм, пропорційний струму к.з., а магнітні потоки, які вони збуджують у магнітопроводі були направлені в одну сторону та складувались. Від аперіодичної складової первинного струму відбудова здійснюється завдяки насиченню магнітопроводу НТС.

Спрощена схема реле показана на рис. 1.13.. Первинні обмотки - диференційна $\omega_{\text{диф}}$ та зрівняльні $\omega_{\text{ур}}$, розташовані на середньому стрижні. Вторинна обмотка що складається з двох однакових секцій $\omega'_{\text{р2}}$ і $\omega''_{\text{р2}}$ розташовані на крайніх стрижнях. Виконавчий орган - реле струму КА підключено до частини витків вторинної обмотки, а резистор $R_{\text{ш}}$, що використовується для плавного регулювання струму спрацьовування, підключений

до повного числа витків цієї обмотки. Гальмова обмотка реле також складається з двох однакових секцій ω'_T і ω''_T розташованих на крайніх стрижнях. На регульовальній 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. Перетин крайніх стрижнів трансформатора НТТ у 2 рази менше середнього і при приведенні гальмової обмотки до середнього стрижня, на якому розташована обмотка $\omega_{\text{диф}}$, число витків гальмової обмотки виявляється рівним числу витків її однієї секції ω'_T і ω''_T .

Гальмовий струм I_T створює в трансформаторі НТС гальмовий потік Φ_T , що замикається тільки по крайніх стрижнях. Магнітні потоки від секцій гальмових обмоток ω'_T і ω''_T у середньому стрижні взаємно компенсуються. Магнітний потік, що створюється струмом в гальмових обмотках – Φ_T , наводить у секціях вторинної обмотки ω'_2 і ω''_2 однакові по абсолютним значенням потоки, але протилежні по фазі е.д.с. В результаті сумарна е.д.с. на вторинній обмотці дорівнює нулю і струм у реле КА від струму гальмових обмоток відсутній. Призначення гальмових обмоток полягає в насиченні і збільшенні магнітного опору крайніх стержнів магнітопроводу НТТ при зовнішніх к.з..

Робочий струм I_p створює в середньому стрижні робочий потік Φ_p , що замикається по крайніх стрижнях магнітопроводу. Пропорційно цьому потоку в секціях вторинної обмотки ω'_2 і ω''_2 наводяться однакові по абсолютним значенням і співпадаючі по фазі е.д.с., а їх сумарна е.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 Φ_T , що створюється гальмівним струмом, збільшує магнітний опір крайніх стрижнів магнітопроводу, тим самим зменшуючи значення робочого потоку при даній м.д.с. робочої

обмотки. Цим досягається автоматичне загрузлення реле при зовнішніх к.з. Це загрузлення оцінюється коефіцієнтом гальмування:

$$k_T = \sqrt{\frac{I_{cp}^2 + I_{cp0}^2}{I_T}}, \quad (1.16)$$

де I_T – гальмівний струм;

I_{cp0} - струм спрацьовування при відсутності гальмового струму;

I_{cp} - струм спрацьовування при наявності гальмового струму.

При великому значенні гальмового струму ($I_{cp} > I_{cp0}$) коефіцієнт гальмування може розраховуватися:

$$k_T = I_{cp}/I_T. \quad (1.17)$$

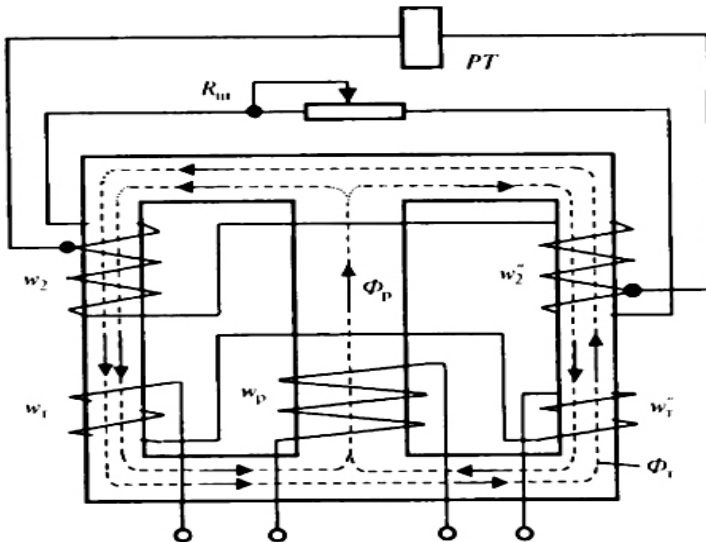


Рисунок 1.11 – Принципова схема реле ДЗТ-11

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 струму небалансу і може різні значення. При неповному вирівнюванні струмів у плечах 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° . Тому гальмові характеристики задаються двома кривими. Нижня крива визначає зону обов'язкового гальмування, верхня - зону обов'язкового спрацьовування. У проміжку між цими кривими спрацьовування реле залежить від кута між гальмовим і робочим струмом. Зона спрацьовування реле в залежності від кута між гальмовим і робочим струмами мінімальна при індукції сердечника, рівної приблизно 1,4 Тл. У реле ДЗТ ця індукція, обрана за умови надійної роботи при к.з. у зоні і відбудовування від аперіодичної складової при зовнішніх к. з. складає 1.35 Тл. Коефіцієнт надійності і час спрацьовування реле залежать від коефіцієнта гальмування. Надійна робота реле серії ДЗТ гарантується при коефіцієнті гальмування, рівному 0,35.

1.3.3 Питання для самоперевірки

1. Чому реле у диференційному захисті спрацьовує тільки при к.з. в зоні дії захисту?
2. Чому виникають струми небалансу в диференційному захисті?
3. Призначення трансформаторів, що насичуються.
4. Принцип дії реле типу РНТ-565.
5. Принцип дії реле типу ДЗТ-11

1.4. Реле часу

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 селективної дії [1,2,3,4]. Витримка часу створюється годинниковими механізмами [1,2,3]. Пристрій реле з годинниковим механізмом схематично показані на рис. 1.12.

Електромагніт реле складається з магнітопроводу 3, обмотки 4 і циліндричного якорю, що втягується, 2. Для отримання оптимальної тягової характеристики нижній кінець якоря має конічну форму і при втягуванні входить у конічне поглиблення на сердечнику, що знаходиться у середині обмотки. Для виключення залипання якоря в притягнутому положенні на його нижньому кінці є 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 якір під дією поворотної пружини 1 піднімає до упору заводний важіль 21 годинного механізму, розтягує робочу пружину механізму 11, зубчастий 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 електромагніту якір втягується, миттєві контакти замикаються (або розмикаються), а також звільнюється важіль 21 годинникового механізму. Під дією робочої пружини вихідний вал механізму разом з рухливими контактами 15 починає повертатися. У момент початку руху вихідного валу включається фрикційна муфта 9, що розташована усередині шестірні 8, і пускає в хід анкерний пристрій.

Пристрій фрикційної муфти показано на рис. 1.12 б. Між обіймою муфти 9Г та укріпленої на вихідному валу зірочкою 9А

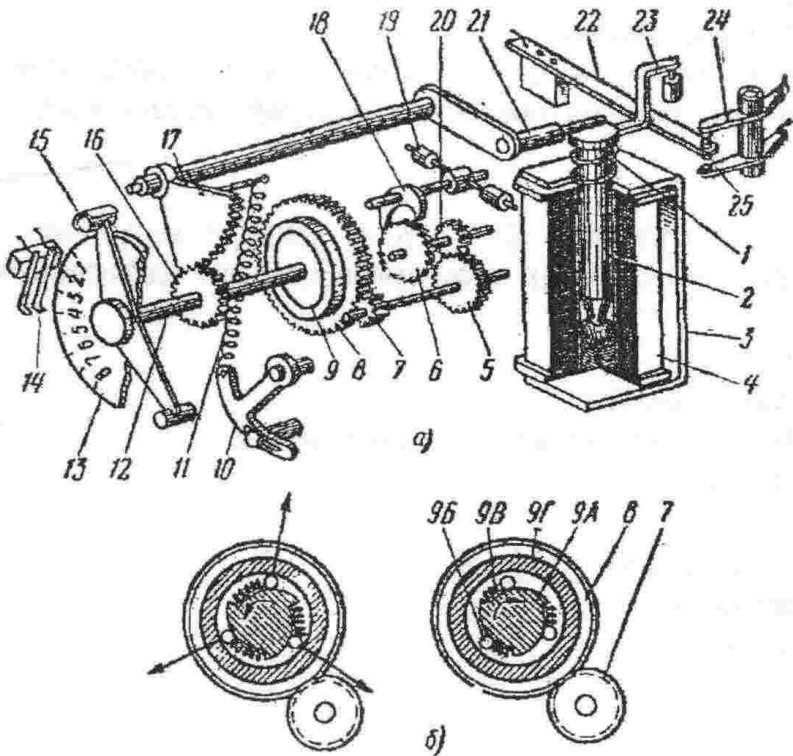


Рисунок 1.12 Пристрій годинникового механізму в реле часу серії ЭВ-100 та ЭВ-200

знаходяться кульки 9Б. При обертанні валу проти годинної стрілки (спрацьовування реле) утримувані пружинками 9В кульки заклинюються в пазах між зірочкою й обоймою, шестірня 8 виявляється зчепленої з ведучим валом. При обертанні валу по годинній стрілці (повернення реле) заклинення кульок не відбувається.

Шестірні 8, 7, 5 і 20 передають зусилля робочої пружини на анкерне колесо 6, зчеплене з анкером 18 і балансиrom 19. Під

впливом анкерного колеса анкер починає коливатися. При кожнім коливанні анкерне колесо повертається на один зуб; період коливання анкера регулюється положенням вантажу на балансірі. Обертання вихідного вала відбувається доки місток рухливого контакту 15 не замкне кінцеві нерухомі контакти 14 і не торкнеться упору, що мається на пластмасовій колодці кінцевих контактів.

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

Зміна уставок часу спрацьовування проводиться переміщенням нерухомих контактів по шкалі 13 (рисунок 1.15).

Реле має поворотну пружину, розраховану на завод годинникового механізму, тому обмотка електромагніту споживає значну потужність та 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 підключений дугогасний 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. Дугогасний контур у таких реле не ставиться.

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. Технічні характеристики реле приведені в таблиці 1.2.

Реле призначено для використання в схемах захисту в електроустановках напругою 35-220 кВ.

Таблиця 1.2 – Характеристики реле часу

Реле	Годин- никовий механізм	Діапазон установк, с	Контакти		Термічна стійкість при $1,1U_{ном}$
			З витрим- кою часу	миттєвий	
ЭВ-112	214ЧП	0,1-1,3	Кінцевий та контакт, що прослизас	Перемика ючий	Не більш 2 хвилин
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	Замикаю чий	Довготривал а
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	Перемика ючий	Не більш 2 хвилин
ЭВ-124	213ЧП	0,25-3,5			
ЭВ-132	212ЧП	0,5-9,0			
ЭВ-144	218ЧП	1,0-20			

1.4.2 Питання для самоперевірки

- 1 Принцип дії реле часу ЭВ-100.
- 2 Конструкція реле часу ЭВ-100.
- 3 Яке призначення ланцюга R-C в схемі реле часу?
- 4 Які типи контактів є в реле часу?

2. РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ НА БАЗІ ІНТЕГРАЛЬНИХ МІКРОСХЕМ

2.1 Реле на базі інтегральних мікросхем

У відмінності від електромеханічних реле, реле на базі інтегральних мікросхем неможливо розглядати як окремий апарат. Правильно його можна назвати органом шафи або панелі комплекту захисту. В основу органів комплектів захисту активні елементи – операційні підсилювачі (ОП) з зовнішніми елементами: активними та реактивними опорами на вході та в зворотному зв'язку [5, 7]. Поєднання ОП з цими елементами утворює вирішальний підсилювач. Якщо на вході та в оберненому зв'язку установлені активні опори то проводиться математична операція множення на постійний коефіцієнт (рисунок 2.1,а), а якщо у ОП декілька вхідних активних опорів то виконується операція підсумовування (рисунок 2.1,б). На рисунках 2.1,в та 2.1г показані вирішальні підсилювачі для проведення математичних операцій інтегрування та диференціювання. Крім того для створення органів (реле) струму, напруги, витримки часу, напрямку потужності та інших, широко використовують вирішальні підсилювачі з багатоконтурним зворотним зв'язком та вхідними опорами з складною передаточною функцією (наприклад різні фільтри, компаратори).

Вирішальні підсилювачі виконані у вигляді інтегральних мікросхем та разом з активними та реактивними опорами на вході та в зворотному зв'язку виконані електронній платі.

На вході та в зворотному зв'язку виконані електронній платі.

Стислі відомості про комплекти релейного захисту шафи типу ШДЕ 2801 (ШДЕ 2802).

Шафа типу ШДЕ 2801 містить основний комплект релейного захисту, до складу якої входять триступінчатий дистанційний захист, чотириступінчатий струмовий захист нульової послідовності від замикань на землю і струмової відсічки від

Блок живлення БРЕ2310			П0210	Р119	Р119	
Е1	Е2	Е3	Е4	Е5	Е6	

А2

	Л103	К104	Б101	С101	С101	С101	Д102 Е7			И102 Е8	Е9
	Е1	Е2	Е3	Е4	Е5	Е6		Е10	Е11	Е12	Д103 Е13

А3

	М101	Л102	Л101		В0122	В0111	Т101						Т104
					Е4	Е5	Е6						Е7
Е1	Е2	Е3			Р101	Р102	И101		Н106	Т1032	Т102	Т1031	Д105
					Е8	Е9	Е10	Е11	Е12	Е13	Е14	Е15	Е16

А4

П0110		П0210				Р115	В0123	Л108	Л109	В0111	М104	Т1031	Д105
Е1		Е2				Е3	Е4	Е5	Е6	Е7	Е8	Е9	Е10
	И106	И106	С106	С106	С106	С107	С107	С107	Д113				Д112
	Е11	Е12	Е13	Е14	Е15	Е16	Е17	Е18	Е20				Е20

Рисунок 2.2 – Розташування блоків у шафі ШДЕ 2801

2.2 Струмовий чотириступінчатий захист нульової послідовності

2.2.1 Принцип дії

Пристрій чотириступінчатого струмового спрямованого захисту нульової послідовності від коротких замикань на землю виконано на основі інтегральних мікросхем і входить у комплект шаф типу ШДЕ 2801 і ШДЕ 2802, призначених для захистів ліній електропередач на напруги 110-330 кВ.

Струмові спрямовані захисти – це захисти що, реагують на значення струму і напрямку потужності к.з., спрямовані струмові захисти крім виміррювального органу, органу витримки часу і виконавчого органу, мають орган, що визначає напрямку потужності – реле напрямку потужності.

Напрямок потужності визначається кутом між струмами к.з. і залишковою напругою. Ланцюги струму органу нульової послідовності підключаються до фільтру струмів нульової послідовності, а ланцюги напруги підключається до фільтру напруги нульової послідовності.

Перший ступінь захисту являє собою струмову відсічку без витримки часу і вибирається за умовами відбудови від потроєного значення періодичної складової струму нульової послідовності ($3 \cdot I_0$), що проходить у місці встановлення захисту при замиканні на землю на шинах протилежної підстанції:

$$I_{ocz}^I \geq K_{omc} \cdot 3 \cdot I_{ocz}, \quad (2.1)$$

а також при короткочасному неповнофазному режимі ($3 \cdot I_{0nen}$):

$$I_{ocz}^I \geq K_{omc} \cdot 3 \cdot I_{0nen}, \quad (2.2)$$

де K_{omc} – коефіцієнт відбудови, що враховує похибку реле, похибку розрахунку, вплив аперіодичної складової і необхідний запас, $K_{omc}=1,3$.

Умова (2.2) може не враховуватися, якщо час спрацьовування захисту більше часу можливого неповнофазного режиму, що виникає при неодночасності включення фаз вимикача.

Якщо на лінії, що захищаються, встановлюється пристрій однофазного АПВ, то струм спрацьовування першого ступеню захисту визначається за умовою (2.2), у якому $3 \cdot I_{0\text{нен}}$ – максимальне значення потроєного струму нульової послідовності, що проходить у місці встановлення захисту у неповнофазному режимі.

Другий ступінь захисту являє собою струмову відсічку з витримкою часу. Струм спрацьовування другого ступеню вибирається за наступними умовами:

- відбудова від потроєного струму нульової послідовності, що протікає в місці встановлення захисту при замиканні на землю на стороні суміжної напруги автотрансформатора, що підключений до шин протилежної підстанції;

- узгодження з першим ступенем захисту суміжної лінії;

- відстройка від потроєного струму нульової послідовності, що проходить у місці встановлення захисту у неповнофазному режимі, який виникає в циклі однофазного АПВ на лінії, що захищається або на суміжній лінії;

- відстройка захисту по останній умові не потрібна, якщо витримка часу спрацьовування другого ступеню захисту перевищує час неповнофазного режиму або передбачений вивід з дії розглянутого захисту на час циклу однофазного АПВ.

Витримка часу другого ступеню захисту повинна бути погоджена з витримками часу ступенів захистів попередніх елементів з якими виконується узгодження ліній (рис. 2.3 характеристики 1, 3, 5, 7) чи автотрансформаторів.

Струм спрацьовування другого ступеню захисту вибирається за наступними формулами (приймається значення більше з отриманих):

$$I_{\text{осз}}^{\text{II}} \geq K_{\text{отс}} \cdot 3 \cdot I_{\text{оз}}, \quad (2.3)$$

$$I_{\text{осз}}^{\text{II}} \geq K_{\text{отс}} \cdot 3 \cdot I_{\text{орас}}, \quad (2.4)$$

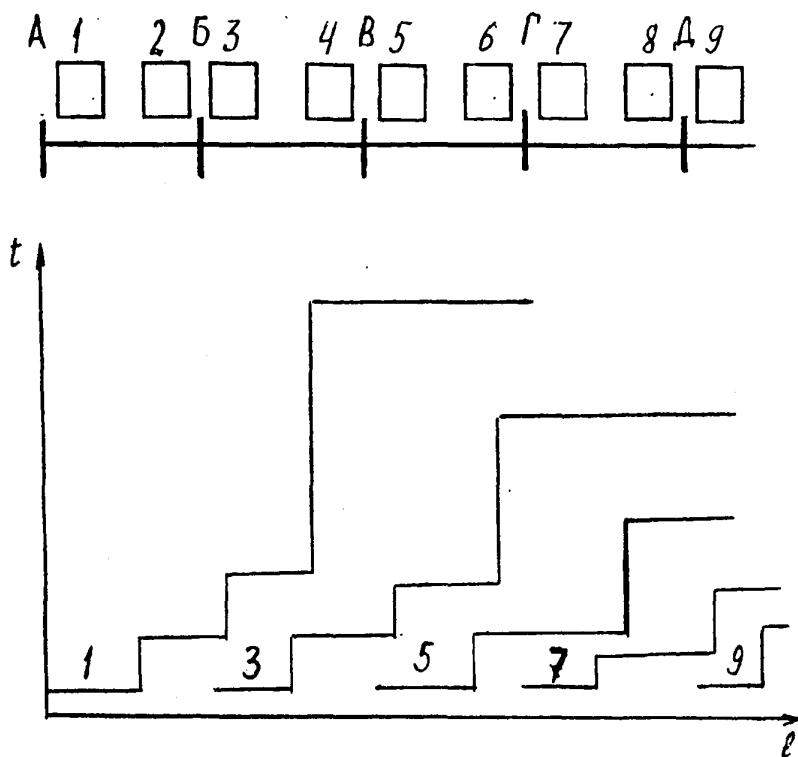


Рисунок 2.3 – Характеристики витримок часу струмового захисту

$$I_{осз}^{II} \geq K_{отс} \cdot 3 \cdot I_{оноп}, \quad (2.5)$$

де $3 \cdot I_{осз}$ – максимальне значення періодичної складової потроєного початкового струму нульової послідовності, що проходить у місці встановлення захисту при замиканні на землю за автотрансформатором протилежної підстанції на стороні, мережі з ефективно заземленою нейтраллю;

$3 \cdot I_{орасч}$ – розрахункове максимальне значення періодичної складової потроєного струму нульової послідовності, що

проходить у місці встановлення захисту при замиканні на землю наприкінці зони, що захищається першим ступенем захисту суміжного елемента;

$I_{0нел}$ – максимальне значення потроєного струму нульової послідовності, що проходить у місці встановлення захисту в неповнофазному режимі в циклі однофазного АПВ на лінії, що захищається чи суміжній лінії;

$K_{омс}$ – коефіцієнт відбудови:

$K_{омс} = 1,2$ для виразів (1.3) і (1.5)

$K_{омс} = 1,1$ для виразу (1.4)

Третій ступінь захисту, також як і другий, являє собою струмову відсічку з витримкою часу.

Струм спрацьовування третього ступеню захисту вибирається за умовами:

- узгодження з другим ступенем захисту суміжної лінії чи з другим ступенем захисту від замикань на землю автотрансформатора, чи з першим ступенем захисту від замикань на землю автотрансформатора, якщо другий ступінь розглянутого захисту відстроєний від замикань на землю на шинах цієї напруги;

- відстройка від потроєного струму нульової послідовності, що проходить у місці встановлення захисту при неповнофазному режимі, що виникають у циклі однофазного АПВ на лінії, що захищається чи суміжної лінії.

Витримка часу спрацьовування третього ступеню захисту повинна бути погоджена з витримками часу відповідних ступенів захистів суміжних ліній та інших елементів.

Струм спрацьовування третього ступеню захисту вибирається більшим з отриманих значень за формулами (2.4) і (2.5), але при цьому $3 \cdot I_{орас}$ – розрахункове максимальне значення періодичної складової потроєного початкового струму нульової послідовності, що проходить у місці встановлення захисту, при замиканні на землю наприкінці зони, що захищається третім ступенем захисту суміжного елемента.

Четвертий ступінь захисту представляє собою максимальний струмовий спрямований захист нульової послідовності.

Якщо витримка четвертого ступеню захисту дорівнює чи менше, ніж витримка часу захисту від замикань між фазами на пошкодженому елементі, то її струм спрацьовування відстроюється від струму небалансу в нульовому проводі трансформаторів струму при зовнішніх замиканнях між фазами:

$$I_{осз}^{IV} = K_{отс} \cdot K_{пер} \cdot I_{онбу}, \quad (2.6)$$

де $K_{отс}=1,25$;

$K_{пер}$ – коефіцієнт, що враховує збільшення струму небалансу в перехідному режимі: при витримках часу розглянутого ступеню:

$$t_{сз}^{IV} = 0,1; K_{пер}=2; \text{ при } t_{сз}^{IV} = 0,3 \text{ с};$$

$$K_{пер}=1,5; \text{ при } t_{сз}^{IV} = 0,5 \div 0,6 \text{ с}; K_{пер}=1;$$

$I_{онбу}$ – струм небалансу в нульовому проводі трансформаторів струму в усталеному режимі при розглянутих зовнішніх трифазних к.з.:

$$I_{онбу} = K_{нб} \cdot I_{роз}, \quad (2.7)$$

$I_{роз}$ – максимальне значення струму при трифазних к.з.;

$K_{нб}$ – коефіцієнт небалансу:

при $I_{роз} = (2 \div 3) \cdot I_{ном}$, $K_{нб} = 0,05$;

при $I_{роз} \leq 0,8 \cdot I_{к10}$ ($I_{к10}$ – струм граничної кратності ТТ)

$K_{нб} = 0,05 \div 0,1$ при $I_{роз} \geq 0,8 \cdot I_{к10}$, значення $K_{нб}$ визначається за спеціальною методикою розрахунку в кожному конкретному випадку.

Струм спрацьовування розглянутого ступеню захисту перевіряється за умовою відбудови від сумарного струму небалансу в нульовому проводі трансформаторів струму в максимальному навантажувальному режимі:

$$I_{осз} = \frac{K_{отс}}{K_6} \cdot (I_{онб} + 3 \cdot I_{онр}), \quad (2.8)$$

де $I_{онб}$ – струм небалансу в нульовому проводі трансформаторів струму в максимальному навантажувальному режимі розрахований по (2.7), при цьому $I_{роз}$ – розрахунковий струм режиму максимального навантаження;

$3 \cdot I_{онр}$ – потроєний струм нульової послідовності, що обумовлений несиметричним режимом в енергосистемі;

K_6 – коефіцієнт повернення реле.

Дозволяюче реле напрямку потужності, що використовується в розглянутому захисті відбудовується від напруги небалансу нульової послідовності в реле при хитаннях, асинхронному режимі, несинхронному включенні, трифазних к.з. за трансформаторами (автотрансформаторами) підстанцій даного і протилежного кінців лінії. Напряга спрацьовування реле напрямку потужності відбудовується від сумарної напруги небалансу в нормальному навантажувальному режимі:

$$U_{осз} = \frac{K_{отс}}{K_6} \cdot (U_{онб} + 3 \cdot U_{онр}), \quad (2.9)$$

де $U_{онб}$ – напруга небалансу на реле в розглянутому режимі, приведене до обмотки високої напруги трансформатора напруги;

$3 \cdot U_{онр}$ – потроєне значення напруги нульової послідовності, що обумовлена несиметрією.

Витримка часу спрацьовування четвертого ступеню вибирається по ступінчатому принципу та узгоджується з витримкою часу третього ступеню захисту суміжної лінії.

2.2.2 Орган струму струмового захисту нульової послідовності блоку типу Т103.

На рисунку 2.4 показана структурна схема органу струму:

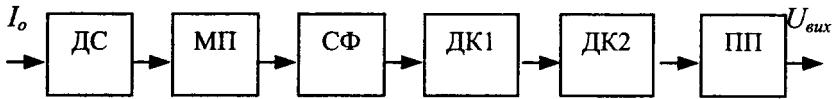


Рисунок 2.4 – Структурна схема органу струму

У схемі прийняті наступні позначення:

ДС – датчик струму нульової послідовності;

МП – масштабний підсилювач;

СФ – селективний фільтр;

ДК1, ДК2 – двопорогові компаратори;

ПП – підсилювач потужності.

Сигнал від датчика струму подається на вхід масштабного підсилювача, виконаного на основі операційного підсилювача (ОП) А1 (рис. 2.5). Регулювання уставки органу по струму спрацьовування забезпечується зміною вхідного опору ОП і опору його зворотного зв'язку.

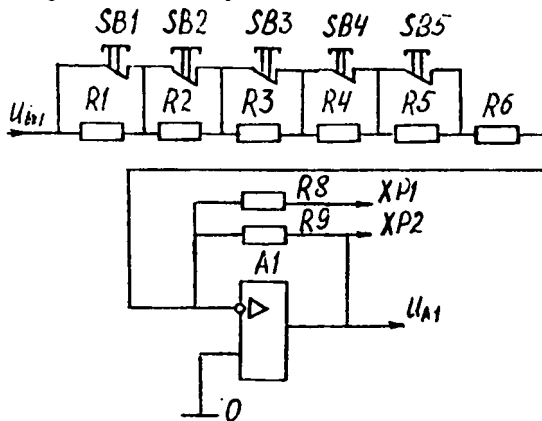


Рисунок 2.5 – Масштабний підсилювач

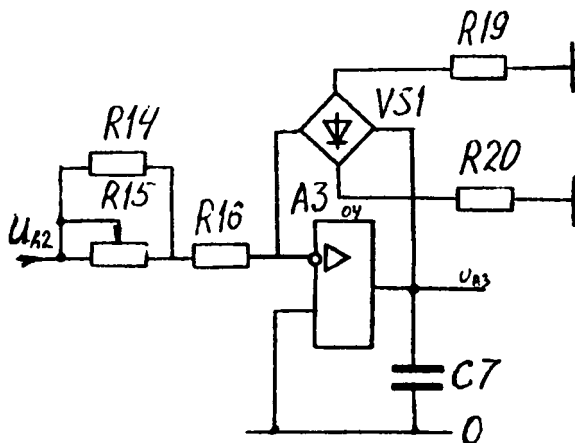


Рисунок 2.6 – Перший двопороговий компаратор ДК1

Сигнал з масштабного підсилювача – U_A надходить на вхід селективного фільтра, виконаного на основі ОП А2. За допомогою фільтра проводиться відбудова органу струму від аперіодичної і вищих гармонійних складових.

З виходу фільтра сигнал надходить на вхід двопорогового компаратора, виконаного на ОП А3 (рис. 2.6), у ланцюзі зворотного зв'язку знаходиться випрямний міст VS1. Дія компаратора заснована на порівнянні струму i_p , що протікає через опори на вході ОП А3 (R14, R15, R16) з струмом i_{on} , що протікає по діодам випрямного моста VS1 через опори R19 і R20. При $i_{on}^{om} < i_p < i_{on}^n$ усі діоди VS1 відкриті, опір зворотного зв'язку ОП $R_{oc} \approx 0$. Напруга на виході ОП $U_{A3} \approx 0$. Якщо ця умова перестає виконуватися, то діоди випрямного моста VS1 закриваються - опір зворотного зв'язку ОП різко зростає, а напруга на виході ОП досягає максимально можливого значення (рис. 2.7).

До виходу ОП А3 підключений двопороговий компаратор на ОП А4 (рис. 2.8), що здійснює перетворення двополярних сигналів в однополярні.

При $U_{A3} \approx 0$ усі діоди випрямного моста VS2 відкриті під дією струмів, що протікають через опори R22 і R23.

Напруга на конденсаторі С8 дорівнює падінню напруги на відкритих діодах VS2 і має позитивну полярність відносно неінвертуючого входу ОП А4, отже напруга на виході ОП А4 максимально можлива по абсолютному значенню негативного знаку. З появою імпульсу на вході VS2, він закривається і конденсатор С8 перезаряджається через R17 і одержує негативну полярність відносно неінвертуючого входу ОП А4.

Опори резисторів ($R_{22}=R_{23} \gg R_{17}$) підібрані таким чином, що зворотна зміна полярності напруги на конденсаторі С8 може відбутися тільки в тому випадку, якщо її тривалість більше 10 мс (половина періоду основної частоти): $U_{A3} \approx 0$. Тому з появою імпульсів на виході ОП А3 протягом кожного напівперіоду (умова спрацьовування струмового органу) на виході ОП А4 напруга буде мати стійку позитивну полярність.

З виходу ОП А4 напруга подається на базу транзистора VT, що виконує функцію підсилювача потужності (рисунк 2.9).

При негативній полярності напруги на виході ОП А4 транзистор VT закритий. При позитивній полярності напруги транзистор VT відкривається і через світлодіод VD6 протікає струм і він загоряється.

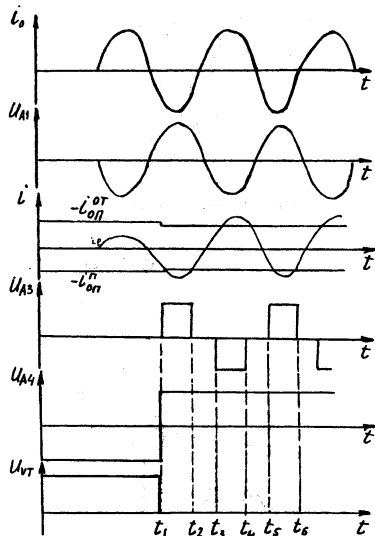


Рисунок 2.7 – Часові діаграми органу струму

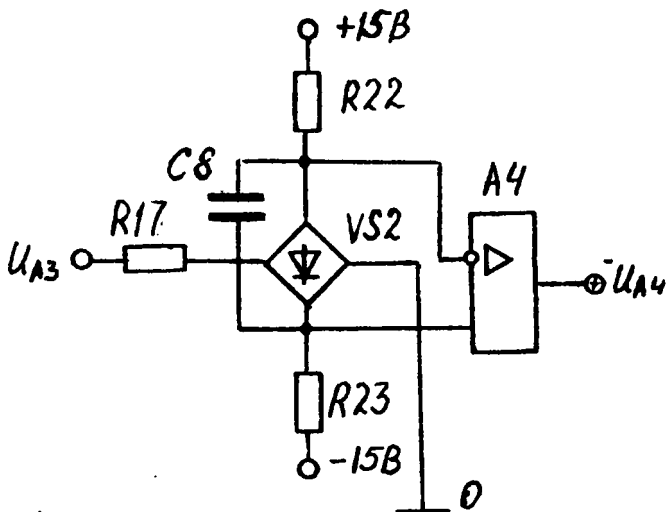


Рисунок 2.8 – Другий двопороговий компаратор ДК2

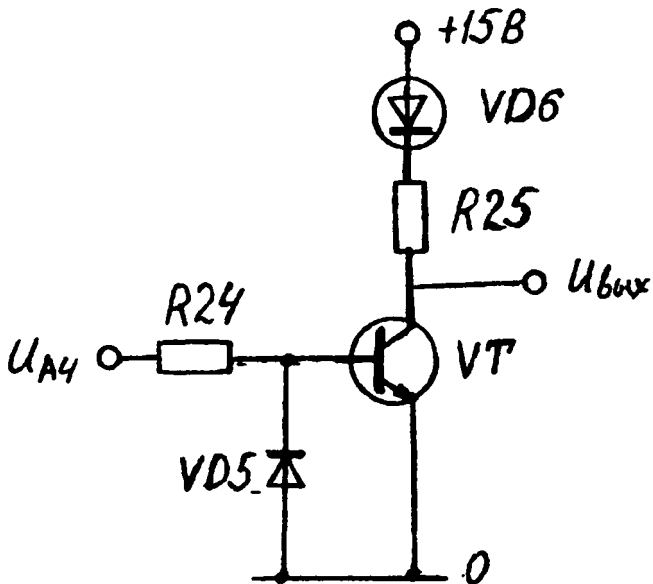


Рисунок 2.9 – Підсилювач потужності

При закритому положенні транзистора VT (орган струму у неспрацьованому стані) напруга на виході струмового органу $U_{вих} \approx 15 \text{ В}$, а при відкритому транзисторі VT (орган струму у спрацьованому стані) $U_{вих} \approx 0$.

Діод VD5 обмежує негативну напругу на базі транзистора VT.

2.2.4 Проведення тестових перевірок струмового спрямованого захисту нульової послідовності

Блок тестових перевірок U1011 переставляється в положення для проведення перевірок. Включається автомат живлення панелі захисту SF1 і блок живлення. На блоці H1061 загоряється світлодіод "Відсутнє $3 \cdot U_0$ ".

Для перевірки захисту по першому тесту натиснути кнопку 1 на блоці U1011. При цьому повинні загорітися такі світлодіоди: на блоках витримки часу T1031, T1021, T032 – спрацьовування вимірювальних органів першого, другого, третього і четвертого ступенів захисту; на блоці M1011 – "P" спрацьовування органу напрямку потужності дозволяючого реле на блоці L1010 – "2T", "1T" – спрацьовування першого і другого ступенів захисту, "УТ" – прискорення другого і третього ступенів при відключенні вимикача, "тест испр "; на блоці L1020 – ШТ", "IVT" – спрацьовування третього і четвертого ступенів, "УТП" – прискорення при спрацьовуванні захисту паралельної лінії, "ВЧТ" – прискорення при подачі сигналу по каналах високочастотного зв'язку, $У_{п.р.}$ – прискорення при виникненні неповнофазних режимів.

Для перевірки захисту по другому тесту натиснути на кнопку 2 на блоці U1011. При цьому на блоці M1011 гасне світлодіод "P" і загоряється "B" - спрацьовування блокуючого реле напрямку потужності.

Для перевірки захисту по третьому тесту натиснути кнопку 3 на блоці U1011. При цьому гаснуть світлодіоди на блоках витримки часу T1031, T1021, T1032 та H1061.

Після проведення тестового контролю кнопки на блоці U1011 повертаються у початкове положення шляхом повторного

натискання, крім того гаситься світлова сигналізація. Блок U1011 переставляється в робоче положення.

2.2.5 Виставлення уставок спрацьовування струмового спрямованого захисту нульової послідовності

Виставити уставку по струму спрацьовування першого ступеню:

$$I_{уст}^I = K_1 \cdot (1 + \sum n_i), \quad (2.10)$$

де K_1 – коефіцієнт, виставлений на блоці перетворювача струму і напруги Д1051 $K_1=0,35; 1,05; 3,5$;

$\sum n_i$ – сума коефіцієнтів виставлених на блоці реле струму Т1031 (для першого ступеню): $n_1 = 0,1; n_2 = 0,2; n_3 = 0,4; n_4 = 0,8; n_5 = 1,6$. Підібрати значення K_1 і $\sum n_i$ щоб одержуване значення струму спрацьовування було найближче до розрахункового значення, а потім виставити їх на блоках Д1051 і Т1031, відповідно.

Виставити уставку по струму спрацьовування другого ступеню:

$$I_{уст}^{II} = K_2 \cdot (1 + \sum n_i), \quad (2.11)$$

де K_2 – коефіцієнт, що виставляється на блоці Д1051:

$K_2 = 0,15; 0,45; 1,5$;

$\sum n_i$ – сума коефіцієнтів, що виставляються на блоці реле струму Т1031 (для другого ступеню) $n_1 = 0,1; n_2 = 0,2; n_3 = 0,4; n_4 = 0,8; n_5 = 1,6$.

Підбір значень K_2 і $\sum n_i$ здійснюється аналогічно першому ступеню.

Виставити уставку по струму спрацьовування третього ступеню:

$$I_{уст}^{III} = K_3 \cdot (1 + \sum n_i), \quad (2.12)$$

де K_3 – коефіцієнт, що виставляється на блоці Д1051:

$K_3=0,1; 0,3; 1,0;$

$\sum n_i$ – сума коефіцієнтів, що виставляються на блоці реле струму Т1021: $n_1 = 0,1; n_2 = 0,2; n_3 = 0,4; n_4 = 0,8; n_5 = 1,6$. Добрівка значень K_3 і $\sum n_i$ здійснюється аналогічно першому ступеню.

Виставити уставку по струму спрацьовування четвертого ступеню:

$$I_{уст}^{IV} = K_4 \cdot (1 + \sum n_i), \quad (2.12)$$

де K_4 – коефіцієнт, що виставляється на блоці Д1051: $K_4 = 0,05; 0,15; 0,5;$

$\sum n_i$ – сума коефіцієнтів, що виставляються на блоці реле струму Т1032: $n_1 = 0,1; n_2 = 0,2; n_3 = 0,4; n_4 = 0,8; n_5 = 1,6$.

Виставити уставки спрацьовування за часом на блоці витримки часу В0111 для першого і другого ступенів

$$T = 0,05 + \sum t_i, \quad (2.13)$$

і В0122 для третього і четвертого ступенів

$$T = 0,01 + \sum t_i, \quad (2.14)$$

де $\sum t_i$ – сума витримок часу, що виставляється на вищевказаних блоках для першого і другого ступенів:

$t_i = 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6$.

для третього і четвертого ступенів:
 $t_i = 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2$.

Виставити уставки спрацьовування дозволяючого реле напрямку потужності (РНП). Напряга спрацьовування:

$$U_{cp} = 0,5 \cdot (1 + \sum n_i), \quad (2.15)$$

де $\sum n_i$ – сума коефіцієнтів, що виставляються на блоці М1011 (для напрямку потужності дозволяючого реле)

$$n_i = 0,5; 1,0; 2,0$$

Струм спрацьовування:

$$I_{cp} = K_M \cdot (1 + \sum m_i), \quad (2.16)$$

де K_M – коефіцієнт, виставлений на блоці перетворювачів струму Д1051, $K_M = 0,04$

$\sum m_i$ – сума коефіцієнтів, що виставляються на блоці П1011 (для дозволяючого реле),

$$m_i = 0,5; 1,0; 2,0.$$

Підібрати значення $\sum n_i$ і $\sum m_i$ такими, щоб одержуване значення струму спрацьовування і напруги спрацьовування реле були найближчі до розрахункового значення, потім виставити їх на блоці М1011.

Виставити уставки спрацьовування блокуючого реле напрямку потужності аналогічно дозволяючого реле на блоці М1011.

2.2.6 Питання для самоперевірки

1. Принцип дії струмового захисту нульової послідовності.
2. Структурна схема органу струму струмового захисту нульової послідовності.
3. Часові діаграми органу струму.
4. Масштабний підсилювач.

5. Перший двопороговий компаратор.
6. Другий двопороговий компаратор.
7. Підсилювач потужності.
8. Вибір параметрів спрацьовування першого ступеню струмового захисту нульової послідовності та виставлення уставок спрацьовування.
9. Вибір параметрів спрацьовування першого ступеню струмового захисту нульової послідовності та виставлення уставок спрацьовування.
10. Вибір параметрів спрацьовування другого ступеню струмового захисту нульової послідовності та виставлення уставок спрацьовування.
11. Вибір параметрів спрацьовування третього ступеню струмового захисту нульової послідовності та виставлення уставок спрацьовування.
12. Вибір параметрів спрацьовування четвертого ступеню струмового захисту нульової послідовності та виставлення уставок спрацьовування.

2.3 Дистанційний захист ліній електропередач

2.3.1 Принцип дії

У складних електричних мережах струмові та струмові спрямовані захисти не завжди забезпечують вимоги по селективності, швидкодії і чутливості. У багатьох випадках доцільно застосовувати дистанційний захист.

Дистанційний захист реагує на зміни відношення напруги до струму в місці встановлення захисту. Це співвідношення називається опором на затискачах реле опору. При включенні реле опору на міжфазну напругу і різницю струмів однойменних фаз цей опір при усіх видах міжфазних к.з. пропорційний відстані від місця встановлення захисту до місця к.з.

Захист приходить у дію при зниженні напруги і збільшенні струму, що має місце при к.з. Основним вимірjuвальним органом дистанційного захисту є реле опору.

Дистанційний захист виконується триступінчатим. Параметрами кожного ступеню є довжина зони, що захищається, і час спрацьовування. На лініях із двостороннім живленням захист виконується спрямованим, а витримки часу виконуються по зустрічно-ступінчатому принципу.

Пристрій дистанційного захисту виконано на основі інтегральних мікросхем і входить у комплект шаф типу ШДЕ 2801 і ШДЕ 2802, що призначені для захисту ліній електропередач на напругу 110-330 кВ.

Основними органами захисту є: дистанційні (вимірjuвальні) органи та органи витримки часу.

Для запобігання спрацьовування дистанційного захисту при виникненні хитань передбачається блокування.

Для запобігання помилкової дії захисту при несправностях у ланцюгах змінної напруги також передбачається спеціальне блокування.

При побудові реле опору застосований принцип порівняння величин по фазі, що забезпечує відбудову від помилкових дій спрямованих реле опору при відсутності однієї з величин.

Принцип дії реле опорів пояснюється на основі узагальненої структурної схеми на рис. 2.10

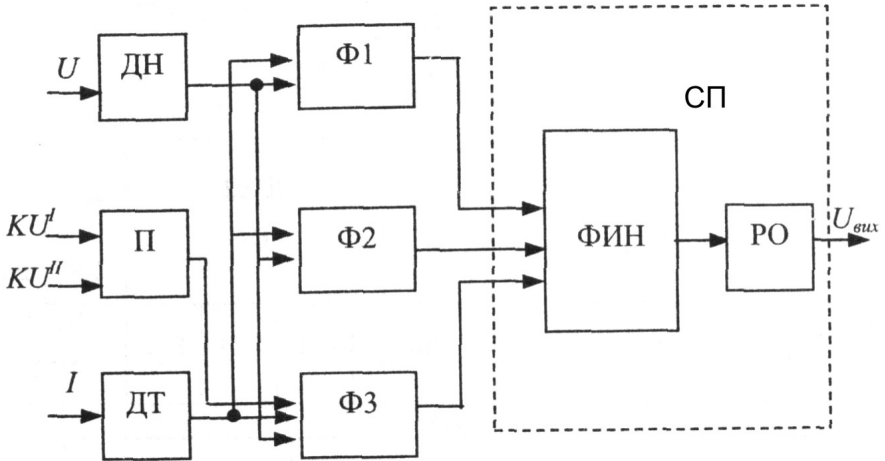


Рисунок 2.10 – Структурна схема реле опорів

U, I – міжфазна напруга та різниця фазних струмів, які підводяться до реле опорів;

KU^I, KU^{II} – напруги, які підводяться до блока пам'яті Π , пропорційні міжфазним напругам інших фаз;

$U_{вих}$ – вихідний сигнал реле;

$\text{ДН}, \text{ДТ}$ – датчики (перетворювачі) напруги та струму;

$\Phi 1, \Phi 2, \Phi 3$ – формувачі порівнювальних величин синусоїдальних напруг E_1, E_2, E_3 ;

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= K_{11} \cdot U + K_{12} \cdot I, \\ E_2 &= K_{11} \cdot U + K_{22} \cdot I, \\ E_3 &= K_{11} \cdot U + K_{32} \cdot I \end{aligned} \right\} \quad (2.18)$$

де K_{11} – коефіцієнт передачі по ланцюгам напруги;

K_{12}, K_{22}, K_{32} – комплексні коефіцієнти передачі по ланцюгам струму для формування особливих точок Z_1, Z_2, Z_3 характеристики реле опорів;

ФИН – формувач імпульсів незбіжності;
 РО – реагуючий орган;
 СП – схема порівняння величин $E_1 - E_3$ по фазі, що складається з ФИН і РО.

Реле опору першого ступеню.

Характеристика спрацьовування реле опору першого ступеню (рис. 2.11) формується шляхом порівняння фаз трьох напруг:

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= K_{11} \cdot I \cdot (Z - Z_1), Z_1 = -\frac{K_{12}}{K_{11}}, \\ E_2 &= K_{11} \cdot I \cdot (Z - Z_2), Z_2 = -\frac{K_{22}}{K_{11}}, \\ E_3 &= K_{11} \cdot I \cdot (Z - Z_3), Z_3 = -\frac{K_{32}}{K_{11}}, \end{aligned} \right\} \quad (2.19)$$

де K_n – комплексний коефіцієнт передачі блоку пам'яті, який забезпечує збіг фази величин $K_{11}ZI$ і K_nU_ϕ і запам'ятовування на якийсь час величини $E_n = K_nU_\phi$;

U_ϕ – напруга фази до якої не підключене реле опору.

Величини E_1, E_2, E_3 сформовані відповідно до (2.19) на виході формувачів Φ_1, Φ_2, Φ_3 (рис. 2.11) надходять на вхід – формувача імпульсів незбіжності ФИН і перетворюються наступним чином: при збігу по знаку всіх порівнюваних величин виходить позитивний імпульс, а при їх розбіжності – негативний імпульс. Реагуючий орган РО інтегрує сигнали, що поступають з ФИН, і спрацьовує при перевищенні інтегральним значенням величини e_u значення граничної напруги U_n .

На рис. 2.11а показані криві величин E_1, E_2, E_3 , імпульси на виході ФИН і їхні інтегральні значення при к.з. поза зоною дії, а на рис. 2.11б – при к.з. у зоні дії.

Умова спрацьовування реагуючого органу: $e_u > U_n$.

$$\frac{\tau_3}{\tau_p} = \frac{t_{nc}}{t_c} > K, \quad (2.20)$$

де τ_3, τ_p – постійні часу, відповідно, заряду і розряду інтегруючого елемента реагуючого органа;

K – коефіцієнт, що визначає уставку спрацьовування реагуючого органу;

$$t_{nc} = \frac{\alpha}{\omega}, t_c = \pi - \frac{\alpha}{\omega},$$

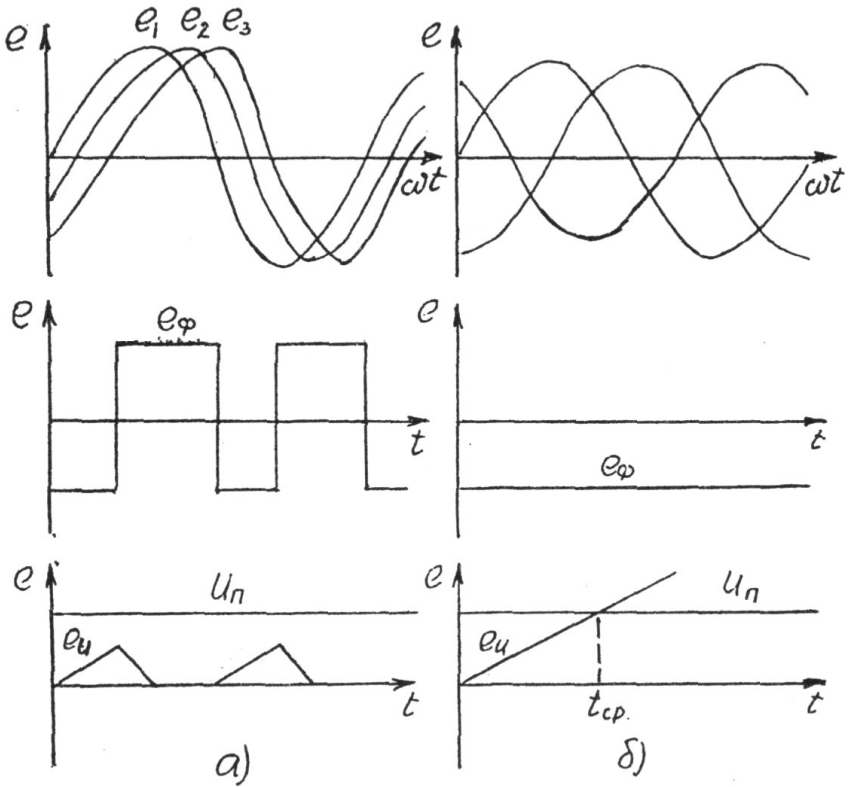
де α – найбільше значення кута між векторами E_1, E_2, E_3 .

Граничний кут спрацьовування:

$$\alpha_{cp} \geq \frac{K \cdot \pi}{1 + K}.$$

На рис. 2.12 показана область спрацьовування реле опору першого ступеню, що представляє собою окружність, на якій знаходяться три характерні точки Z_1, Z_2, Z_3 .

При трьох порівнюваних величинах E_1, E_2, E_3 у трикутнику $Z_1Z_2Z_3$ виходить більш висока швидкодія, чим в іншій частині кола, тому що в цій зоні має місце безперервна розбіжність напруг E_1, E_2, E_3 . Кут спрацьовування $\alpha_{cp} = 2\pi/3$, як видно з рис 2.11 при $Z=Z' - \alpha_{cp} < \alpha'$, при $Z=Z'' - \alpha_{cp} < \alpha''$. Мінімальний час спрацьовування реле 6,7 мс. Для надійності роботи обраний час спрацьовування 10 мс. Для реле опору першого ступеню застосовується реагуючий орган другого виду, що порівнює час розбіжності фаз напруг E_1, E_2, E_3 з часом збігу.



а) – к.з. поза зоною дії; б) – к.з. у зоні дії
 Рисунок 2.11 – Часові діаграми роботи схеми порівняння

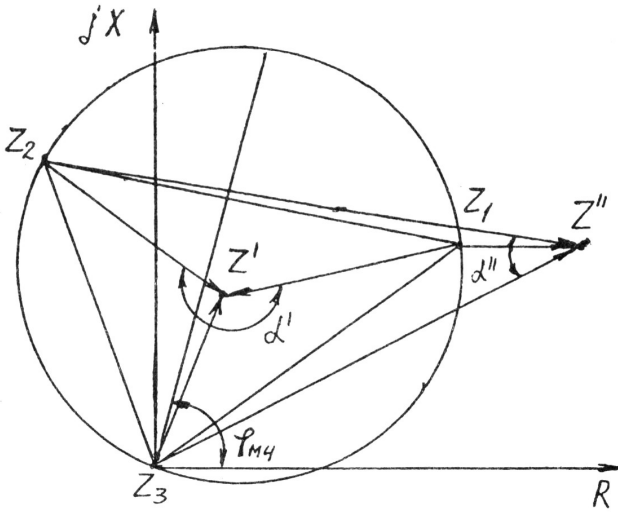


Рисунок 2.12 – Характеристика спрацювання реле опору першого ступеню

Реле опору другого ступеню.

Характеристика спрацювання реле опору другого ступеню формується шляхом порівняння фаз чотирьох величин:

$$\left. \begin{aligned}
 E_1 &= K_{11} \cdot I \cdot (Z - Z_1), Z_1 = -\frac{K_{12}}{K_{11}}, \\
 E_2 &= K_{11} \cdot I \cdot (Z - Z_2), Z_2 = -\frac{K_{22}}{K_{11}}, \\
 E_3 &= K_{11} \cdot I \cdot (Z - Z_3), Z_3 = -\frac{K_{32}}{K_{11}}, \\
 E_4 &= K_{11} \cdot I \cdot (Z - Z_4), Z_4 = -\frac{K_{42}}{K_{11}}.
 \end{aligned} \right\} \quad (2.21)$$

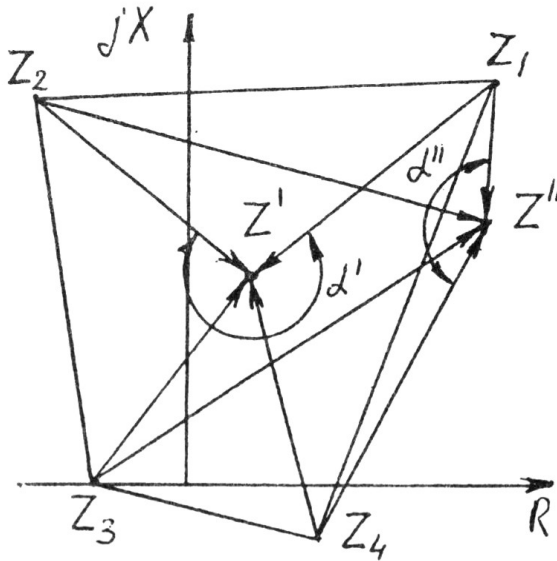


Рисунок 2.13 – Характеристика спрацьовування реле опору другого ступеню

Для реле опору другого ступеню використовується реагуючий орган першого виду, що забезпечує порівняння часу розбіжності з заданим значенням і використовується для формування багатокутних характеристик. Характеристика спрацьовування реле опору другого ступеню має форму чотирикутника, що охоплює початок координат (для надійного спрацьовування при близьких к.з.) – рис. 2.13.

При ушкодженні в зоні, що захищається, $Z=Z'$ кут $\alpha_{cp} < \alpha'$, а при ушкодженні поза зоною, що захищається, $Z=Z''$ кут $\alpha_{cp} < \alpha''$.

Напруги $E_1 \div E_4$, отримані на виходах формувачів $\Phi_1 \div \Phi_4$ поступають на вхід формувача імпульсів незбіжності ФИН – формується імпульсний сигнал e_ϕ . Реагуючий орган інтегрує сигнал протягом часу розбіжності і порівнює його з заданим значенням. Спрацьовування відбувається при перевищенні значення граничної напруги U_n при $t_{nc}=10$ мс, що відповідає

$\alpha_{cp} = \pi$. Уставка спрацьовування по тривалості обрана 15 мс, що поліпшує стабільність характеристик реле опору.

Реле опору третього ступеню.

Характеристика спрацьовування реле опору третього ступеню формується шляхом порівняння по фазі трьох величин і являє собою трикутник (рис. 2.14) з наступними нахилами сторін до осі R: $Z_2Z_3 - 115 \pm 5^\circ$, $Z_1Z_3 - 47 \pm 5^\circ$, Z_1Z_2 – від 15° до 0° . При цьому використовується реагуючий орган першого виду. Кут спрацьовування $\alpha_{cp} = \pi$, витримка часу 20 мс.

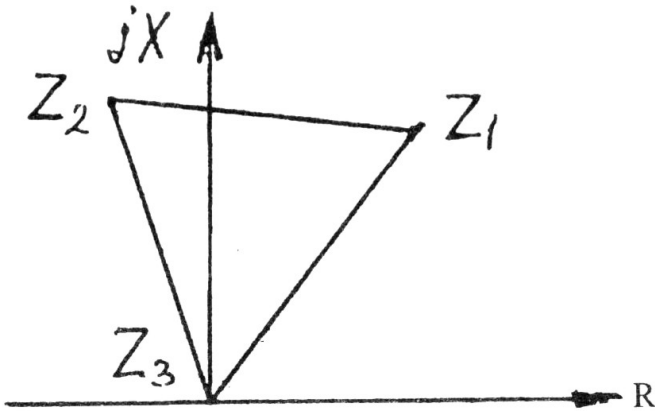


Рисунок 2.14 – Характеристика спрацьовування реле опору третього ступеню

2.3.2 Вибір параметрів спрацьовування захисту зі ступінчатою характеристикою.

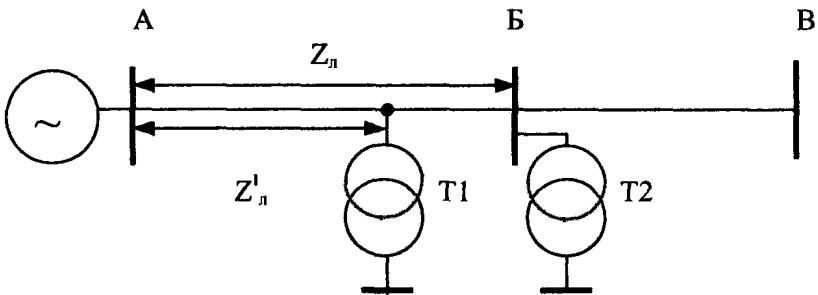


Рисунок 2.15 – Вибір параметрів спрацьовування ступенів дистанційного захисту

Перший ступінь.

Опір спрацьовування захисту вибирається:

- за умовою відстроювання від к.з. на шинах підстанції Б (рис. 2.15):

$$Z'_{cз} = K_n \cdot Z_l ; \quad (2.22)$$

- за умовою відстроювання від к.з. за трансформатором Т1:

$$Z'_{cз} = K_n \cdot (Z'_l + Z_{T1}) , \quad (2.23)$$

де Z_l – опір лінії, що захищається (АБ);

Z'_l – опір ділянки лінії від підстанції А до місця підключення трансформатора Т1;

$K_n = 0,8 \div 0,85$ – коефіцієнт надійності (запасу);

Z_{T1} – опір трансформатора Т1.

Другий ступінь.

Опір спрацьовування другого ступіню захисту вибирається:

- за умовою узгодження з першим ступенем захисту суміжної лінії БВ (рис. 2.15):

$$Z''_{cзА} = K_n \cdot (Z_l + K'_n \cdot Z'_{cзБ}) = K_n \cdot (Z_l + K'_n \cdot Z'_{л(БВ)}) , \quad (2.24)$$

- за умовою відстроювання від к.з. за трансформатором Т2:

$$Z''_{cзА} = K_n \cdot (Z_l + Z_{T2}) , \quad (2.25)$$

де $K_n = 0,8$ – коефіцієнт надійності (запасу);

$Z_{л(БВ)}$ – опір лінії БВ.

Опір спрацьовування вибирається найменшим з отриманих значень і перевіряється за коефіцієнтом чутливості:

$$K''_ч = \frac{Z''_{cзА}}{Z_l} \geq 1,25 . \quad (2.26)$$

Якщо ця умова не задовольняється, то значення Z''_{c3A} збільшується.

Витримка часу спрацьовувань другого ступеню захисту вибирається на ступінь селективності (Δt) більше, ніж час спрацьовування першого ступеню захисту підстанції Б:

$$t''_A = t'_B + \Delta t, \quad (2.27)$$

де $\Delta t = 0,5$ с; $t'_B = 0$.

Третій ступінь.

Опір спрацьовування третього ступеню вибирається з умови відбудови від мінімально можливого опору мережі в робочому режимі з урахуванням запуску електродвигунів:

$$Z'''_{c3} = \frac{U_{роб.мин}}{\sqrt{3} \cdot I_{роб.маx} \cdot K_n \cdot K_\theta \cdot K_{c3} \cdot \cos(\varphi_{роб} - \varphi_{pмаx})}, \quad (2.28)$$

де $U_{роб.мин}$ – мінімальна робоча напруга мережі;

$I_{роб.маx}$ – максимальний робочий струм;

K_θ – коефіцієнт повернення реле, $K_\theta = 1,05$;

K_{c3} – коефіцієнт, що враховує самозапуск електродвигунів, $K_{c3} = 2,5$;

K_n – коефіцієнт надійності (запасу), $K_n = 1,2$;

$\varphi_{роб}$ – фазовий кут між $U_{роб.мин}$ і $I_{роб.маx}$;

$\varphi_{pмаx}$ – кут максимальної чутливості захисту (прийнятий рівним куту лінії).

Після визначення опорів спрацьовування захисту визначаються опори спрацьовування реле кожного ступеню:

$$Z'_{cp} = \frac{Z'_{c3} \cdot K_{TT}}{K_{TH}}, Z''_{cp} = \frac{Z''_{c3} \cdot K_{TT}}{K_{TH}}, Z'''_{cp} = \frac{Z'''_{c3} \cdot K_{TT}}{K_{TH}}, \quad (2.29)$$

де K_{TT} , K_{TH} – коефіцієнти трансформації трансформаторів струму та напруги.

2.3.3 Проведення тестових перевірок дистанційного захисту.

Блок для тестових перевірок захисту U1021 переставляється у комірку для проведення тестування. Включається блок живлення панелі. Тестова перевірка проводиться по кожному реле опору. По реле опору, що включено на фази А і В натиснути та повернути фішку АВ на блоці U1021. При цьому повинні загорятися наступні світлодіоди:

- на блоці K1040 – "Б" (швидкодіючий захист), "М" (захист повільної дії);

- на блоці реле опору фази АВ C1011 – "І", "ІІ", "ІІІ";

- на блоці Л1030 – "І_д", "І - І_д", "ІІ_д", "У_д", "тест испр.".

Після проведення тестового контролю фішка АВ на блоці U1021 піднімається і гаситься сигналізація (натисканням червоної кнопки на двері шафи). Тестова перевірка реле опорів в фазах ВС і СА проводиться аналогічно.

Після тестової перевірки блок U1021 переставляється в робоче положення.

2.3.4 Виставлення уставок спрацьовування реле опору.

Визначити число витків (у відсотках стосовно повного числа витків) проміжного трансформатора блоку перетворювача напруги для першого ступеню:

$$N = \frac{Z_{min}}{Z_{уст}} \cdot 100\%, \quad (2.30)$$

де Z_{min} – мінімальний опір спрацьовування реле опору першого ступеню, значення якого вибирається за коефіцієнтом KI :

$$\begin{array}{ll} KI = 1 & Z_{min} = 5 \text{ Ом}, \\ KI = 0,5 & Z_{min} = 2,5 \text{ Ом}, \\ KI = 0,25 & Z_{min} = 1,25 \text{ Ом}, \end{array}$$

$Z_{уст}$ – розрахунковий опір спрацьовування реле першого ступеню.

На блоці перетворювачів струму Д1031 виставляється обраний при розрахунках коефіцієнт KI .

На блоці перетворювачів напруги Д1020 виставляється значення N найближче більше до отриманого для I ступеню, що розраховане по формулі (2.30).

Після цього збирається схема для виставлення та перевірки уставок спрацьовування дистанційного захисту від випробувального стенду, використовуючи при цьому іспитові роз'єми замість робочих. Включаються ланцюги оперативного струму: автомат SF1 і тумблер на блоці живлення шафи релейного захисту Потім подеться живлення на випробувальний стенд.

При проведенні перевірки характеристик спрацьовування перемикачі S10 і S28 перевести в положення "ввім".

На випробувальному стенді виставляється кут максимальної чутливості – 75° , струм 1 А та напругу 100 В між фазами А і В.

При зниженні напруги перевіряється уставка спрацьовування реле опору I ступеню. Спрацьовування реле визначається по загорянню світлодіоду на лицьовій панелі відповідного блоку С101.

Опір спрацьовування розраховується за наступною формулою:

$$Z_{cp} = \frac{U_{cp}}{2 \cdot I}. \quad (2.31)$$

При тому же струмі I_{AB} визначається напруга при якій $Z_{cp}=Z_{уст}$:

$$U_{cp} = 2 \cdot I \cdot Z_{уст}, \quad (2.32)$$

та виставляється на випробувальному стенді. За допомогою елементів плавного регулювання на блоці С101 виставляється опір спрацьовування реле (по загорянню світлодіоду).

Після цього перевіряється уставка спрацьовування реле та опір повернення реле: підвищується напруга на випробувальному стенді до загасання світлодіоду на блоці С101 та визначити напругу (U_{cp}) та розраховується опір повернення реле:

$$Z_{ep} = \frac{U_{ep}}{2 \cdot I}, \quad (2.33)$$

та коефіцієнт повернення реле:

$$K_6 = \frac{Z_{ep}}{Z_{cp}} \leq 1.05. \quad (2.34)$$

Для отримання характеристики спрацьовування реле опору визначається опір спрацьовування реле при різних фазових кутах у межах від 0 до 360° відповідно.

Для реле опору, що включені на різницю фаз В і С та на різницю фаз С і А, на випробувальному стенді переключити S18 і S26 у положення “BC” або у положення “CA”, відповідно, та провести всіоперації аналогічно реле опору, що включене на різницю фаз А і В.

Для реле опору II ступеню за (2.13) (Z_{ycm} – розрахунковий опір спрацьовування реле II визначити число витків (у відсотках стосовно повного числа витків) проміжного трансформатора блоку перетворювача напруги за формулою (2.30) (Z_{ycm} – розрахунковий опір спрацьовування реле II ступеню). Вибір коефіцієнта KI аналогічний.

На блоці Д1041 виставляється коефіцієнт KI .

На блоці перетворювача напруги Д1020 (для II ступеню) виставляється значення N найближче більше до отриманого вище.

Уставка спрацьовування реле опору II ступеню та коефіцієнт повернення реле визначаються та перевіряються аналогічно реле опору I ступеню

Для реле опору III ступеню число витків (у відсотках стосовно повного числа витків) проміжного трансформатора блоку перетворювачів також визначаються за формулою (2.13). (де Z_{ycm} – розрахунковий опір спрацьовування реле III ступеню), але значення Z_{min} вибирається за наступними коефіцієнтами KI :

$$\begin{array}{ll} KI = 2 & Z_{min} = 10 \text{ Ом}, \\ KI = 1 & Z_{min} = 5 \text{ Ом}, \end{array}$$

$$Kl = 0,5 \quad Z_{min} = 2,5 \text{ Ом.}$$

На блоці Д1041 виставляється коефіцієнт Kl .

На блоці перетворювача напруги Д1020 (для III ступеню) значення N , найближче більше до отриманого в вище.

Уставки спрацьовування реле опору III ступеню, а також коефіцієнт повернення виставляються, визначаються та перевіряються аналогічно реле опору першого та другого ступенів.

Час спрацьовування першого ступеню дистанційного захисту виставляється на органі витримки часу - на блоці В0111 шляхом ступінчатого регулювання:

$$t'_{cp} = 0.05 + \sum t'_i, \quad (2.35)$$

де $\sum t'_i$ – сума проміжків часу, що виставляється на блоці В0111.

Час спрацьовування другого ступеню дистанційного захисту виставляється на органі витримки часу - на блоці В0112 також шляхом ступінчатого регулювання:

$$t''_{cp} = 0.05 + \sum t''_i, \quad (2.36)$$

де $\sum t''_i$ – сума проміжків часу, що виставляється на блоці В0112 для другого ступеню.

Час спрацьовування третього ступеню дистанційного захисту виставляється на органі витримки часу - на блоці В0112 також шляхом ступінчатого регулювання:

$$t'''_{cp} = 0.05 + \sum t'''_i \quad (2.37)$$

$\sum t'''_i$ – сума проміжків часу, що виставляється на блоці В0112 для III ступеню.

2.3.4 Питання для самоперевірки

1. Принцип дії дистанційного захисту
2. Реле опору на базі інтегральних мікросхем.
3. Структурна схема реле опору першого ступеню на базі інтегральних мікросхем.
4. Структурна схема реле опору другого ступеню на базі інтегральних мікросхем.
5. Структурна схема реле опору третього ступеню на базі інтегральних мікросхем.
6. Характеристика спрацьовування реле опору першого , другого та третього ступенів.
7. Вибір параметрів спрацьовування першого ступеню дистанційного захисту та виставлення уставок спрацьовування
8. Вибір параметрів спрацьовування другого ступеню дистанційного захисту та виставлення уставок спрацьовування
9. Вибір параметрів спрацьовування третього ступеню дистанційного захисту та виставлення уставок спрацьовування

3. МІКРОПРОЦЕСОРНІ ПРИСТРОЇ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ

3.1 Пристрій захисту, автоматики, контролю та керування приєднань 6-35 кВ МРЗС-05

Мікропроцесорний пристрій захисту, автоматики, контролю і керування з'єднань 6-35 кВ МРЗС-05 (Рис. 3.1) призначений для застосування на знижувальних підстанціях 220-35/10/6 кВ.



Рисунок 3.1 Мікропроцесорний пристрій захисту, автоматики, контролю і керування типу МРЗС-05

Функції релейного захисту:

- триступінчастий максимальний струмовий захист;
- захист від замикань на землю;

- захист максимальної напруги;
- захист мінімальної напруги.

На пристрої виконана індикація на семи світлодіодах (призначення шести світлодіодів програмується користувачем).

На рідино кристалічному дисплеї відображається наступна інформація: значення уставок та параметрів спрацьовування захистів, конфігурація системи, призначення дискретних входів, виходів і світлодіодних індикаторів, а також інформація про спрацьовування захистів і автоматики. Доступ до інформації на дисплеї виконаний за допомогою вбудованих кнопок і різноманітних меню.

Програмне забезпечення пристрою дозволяє зручно керувати індикацією і зміною уставок спрацьовування захистів, а також дає можливість зміни алгоритмів його роботи.

Функції автоматики:

- двократне або однократне автоматичне повторне включення АПВ);
- резервування відмови вимикача;
- автоматичне частотне розвантаження;
- автоматичне прискорення при включенні вимикача.

Пристрій забезпечує контроль і вимірювання наступних величин:

- трьох фазних напруг;
- трьох фазних струмів;
- струму нульової послідовності;
- частоти напруги в мережі.

Крім того, пристрій забезпечує виміри: у нормальному режимі:

- активної потужності;
- реактивної потужності;
- в аварійному режимі:
- максимального струму в uszkodженій фазі;
- мінімальної напруги на uszkodженій фазі.

Індикація і керування

Керування та конфігурування пристрою МРЗС-05 проводиться за допомогою вбудованих кнопок керування і рідино кристалічного дисплею, а також за допомогою ПЕОМ, що підключається через інтерфейс К.3232. Оперативна зміна

алгоритмів роботи пристрою проводиться через 8 дискретних оптронних входів. Їхнє призначення програмується користувачем.

Пристрій МРЗС-05 має сім дискретних виходів для видачі команд і сигналізації за допомогою "сухих" контактів реле (призначення шести виходів програмується користувачем).

Конфігурування МРЗС 05

Пристрій МРЗС-05 дозволяє задавати або виключати функції, ранжувати дискретні входи, виходи, світлові індикатори, задавати тривалість команд, задавати коефіцієнти трансформації трансформаторів струму та напруги.

При задані параметрів функцій захисту та автоматики пристрій дозволяє встановлювати:

- уставки спрацьовування;
- витримки часу;
- варіанти максимальних струмових захистів та їх характеристик;
- включати та відключати окремі види захисту та автоматики.

Інформація про конфігурації МРЗС зберігається в енергонезалежній пам'яті.

Самодіагностика

Пристрій МРЗС-05 забезпечує самодіагностику з виявленням несправностей. Формування керуючих впливів на включення і відключення комутаційних апаратів виробляється тільки після перевірки вірогідності необхідності виконання операції і справності каналів керування. Забезпечується безперервна перевірка справності програмного забезпечення (методом контрольних розрахунків). При включенні пристрою проводиться контроль справності пристрою з видачею повідомлення на дисплей.

Максимальний струмовий захист (МСЗ)

може бути двох виконань:

- триступінчастий МСЗ з незалежною від струму характеристикою витримки часу;
- триступінчастий МСЗ, де перший і третій ступені мають незалежну від струму характеристику витримки часу, а другий виконаний з обмежено залежною від струму витримкою часу.

Пристрій має також можливість включення та відключення МСЗ через дискретні імпульсні входи або блокування окремо кожний ступінь МСЗ через дискретний вхід.

Функція АПВ також може бути заблокована через імпульсний дискретний вхід.

Пристрій резервування відмовлення вимикача (ПРВВ)

Пуск ПРВВ здійснюється при спрацьовуванні МСЗ на відключення або від дискретного входу. ПРВВ має два ступені за часом спрацьовування. Є можливість робити включення і відключення ПРВВ через імпульсні дискретні входи.

Неспрямований захист від замикань на землю.

Захист підключений через фільтр першої гармоніки та реагує на струм нульової послідовності частотою 50 Гц. Є можливість включення та відключення захисту через дискретний імпульсний вхід.

Автоматичне частотне розвантаження (АЧР)

Діє на відключення споживачів при заданій частоті, не повертається Є можливість включення або відключення функції АЧР через імпульсні дискретні входи.

Захист максимальної напруги

Захист діє на відключення з витримкою часу. Контролює напругу у всіх трьох фазах. Є можливість включення і відключення захисту максимальної напруги через дискретні імпульсні входи.

Захист мінімальної напруги

Діє на відключення з витримкою часу. Контролює напругу у всіх трьох фазах. Є можливість включення та відключення захисту через дискретні імпульсні входи.

Автоматичне повторне включення вимикача (АПВ)

Пристрій має функції АПВ двократного або однократного виконання з витримкою часу. Є можливість виводу з роботи другого циклу АПВ, а також виходу в цілому АПВ. Спрацьовування АПВ реєструється. Пуск АПВ здійснюється після спрацьовування МСЗ або зовнішніх пристроїв.

Функція АПВ не діє:

- при відключенні вимикача через дискретний вхід;
- при відключенні захистом після включення через дискретний вхід;

- при відключенні функції АПВ;
- при забороні АПВ через дискретний вхід.

Прискорення при включенні вимикача

Вводиться по команді включення вимикача для другого і третього ступеню МСЗ. Є можливість включення і відключення прискорення роздільно 2-го і 3-го ступеню МСЗ.

Реєстрація.

Пристрій МРЗС-05 здійснює реєстрацію подій:

- усіх вхідних дискретних сигналів;
- спрацьовування всіх захистів;
- спрацьовування функцій автоматики;
- усіх видаваних дискретних сигналів.

Реєстрація всіх подій здійснюється з прив'язкою до поточного часу. Реєструються останні 25 подій.

Пристрій МРЗС-05 здійснює реєстрацію аварійних ситуацій із записом миттєвих значень струмів і напруг при аваріях з прив'язкою до поточного часу (зберігається інформація про п'ять останніх аварій) і з записом дискретних сигналів під час аварії (зберігається інформація про одну останню аварію).

Інформація про події та аварії зберігається в енергонезалежній пам'яті.

Зареєстровані події можна переглянути на рідино кристалічному дисплеї. Інформацію про події та аварії можна скопіювати на ПЕОМ, яка підключається через інтерфейс RS232.

Технічні характеристики пристрою МРЗС-05 приведені у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 Технічні дані МРЗС-05

Номинальні вхідні сигнали	Вхідний змінний струм фаз, Ін.	5 А або 1 А
	Вхідний змінний струм нульової послідовності	0,1 А
	Вхідна змінна лінійна напруга , Ун	100 В
	Частота змінного струму	50 Гц

Продовження таблиці 3.1

Електроживлення	Напруга оперативного постійного струму Напруга змінного струму мережі 50 Гц Потужність, що споживається - у режимі роботи -у режимі видачі команд Час автономної роботи при проваллі живильної напруги	від 150 до 250 В від 150 до 245 В не більше 10 Вт не більше 15 Вт не менше 50 мс
Вхідні аналогові ланцюги	Потужність, що споживається по вхідних ланцюгах при номінальних значеннях струму та напруги Дозволене перевантаження по струму по напрузі	не більш 0,5 ВА на фазу 3I _n довгостроково 30I _n протягом 1с 1,3U _n довгостроково
Вхідні дискретні сигнали	Кількість Рівень логічного "нуля" Рівень логічної "одиниці"	8 від 0 до 132В від 143 до 250 В
Вихідні дискретні сигнали	Кількість - командні програмувальні - сигнал несправності Комутаційна здатність контактів реле: - при замиканні та розмиканні ланцюгів змінного струму, - при замиканні ланцюгів постійного струму, - при розмиканні ланцюгів постійного струму при напрузі до 250 В, - допустимий струм	6 1 не менш 250В, 8 А, 1000 ВА не менш -250 В, 5 А, 1000Вт не менш 30 Вт 8 А довгостроково

Продовження таблиці 3.1

Світлодіодні індикатори	програмувальні (червоні) робота/несправність (зелений)	6 1
Час спрацьовування	Мінімальний час спрацьовування захистів по струму та напрузі Час повернення після зниження величини, що вимірюється, нижче заданого значення	не більш 0,035 с не більш 0,04 с
Готовність до роботи	Готовність пристрою до роботи після подачі на нього живлення	не більш 0,3 с
Відхилення параметрів спрацьовування	Відхилення параметрів спрацьовування по струму та по напрузі Похибка по часу спрацьовування: - при витримці до 5 с, - при витримці від 5 до 130 с	не більш 5 % не більше 0,01с не більше 0,05 с
Електрична міцність ізоляції	Між фазами ланцюгів струму, та до корпусу, ланцюгів напруги до корпусу, вхідних ланцюгів живлення до корпусу, - інших гальванічно розв'язаних ланцюгів Вхідні ланцюги струму і напруги стійкі до впливу: 1) імпульсів напруги, 2) високочастотного сигналу з амплітудою - при подовжній схемі включення - при поперечній схемі включення	2000 В змінного струму частотою 50 Гц протягом 1 хвилини 1500 В змінного струму частотою 50 Гц протягом 1 хвилини! 5кВ, 1,2/50 мкс, 3 позитивних, 3 негативних 2,5 кВ 1 кВ

Продовження таблиці 3.1

Кліматичні умови	<p>Граничне значення кліматичних факторів зовнішнього середовища при експлуатації</p> <p>Збереження і транспортування</p>	<p>За ГОСТ15543.1 і ГОСТ15150, виконання УХЛ, категорії 4, для країн з помірним кліматом, від -20 до +50 °С</p> <p>За ГОСТ 15543.1 і ГОСТ 15150 виконання УХЛЗ.1, від -40 до +70 °С</p>
Максимальний струмовий захист (МСЗ)	<p>МСЗ з незалежною від струму витримкою часу</p> <p>- діапазон уставок 1 ступеню по струму спрацьовування</p> <p>- діапазон уставок 2 і 3 ступеню по струму спрацьовування</p> <p>- діапазон уставок за часом спрацьовування</p> <p>МСЗ із залежної від струму витримкою часу</p> <p>- діапазон уставок по струму спрацьовування</p> <p>- види характеристик</p>	<p>від $2I_n$ до $30I_n$ з дискретністю $0,1I_n$</p> <p>від $0,6I_n$ до $8I_n$ з дискретністю $0,1I_n$</p> <p>від 0 до 32 с з дискретністю 0,01 с</p> <p>від $0,6I_n$ до $8I_n$ з дискретністю $0,1I_n$</p> <p>1) нелінійна (полога і крута)</p> <p>2) лінійна</p>
Не спрямований захист від замикань на землю	<p>- кількість ступенів за часом спрацьовування</p> <p>- діапазон уставок по струму спрацьовування (відхилення не більш $\pm 10\%$)</p> <p>- діапазон уставок за часом спрацьовування</p> <p>- час дії захисту</p>	<p>2</p> <p>від 0,005 до 0,3 А с дискретністю 0,005 А</p> <p>від 0 до 32 с з дискретністю 0,01с не більш 60 мс</p>

Продовження таблиці 3.1

Захист максимальної напруги	- діапазон уставок по напрузі спрацьовування - діапазон уставок за часом спрацьовування	від 0,4 до 1 ,5 УН з дискретністю 0,1 В від 0 до 32 с з дискретністю 0,01с
Захист мінімальної напруги	- діапазон уставок по напрузі спрацьовування - діапазон уставок по струму - діапазон уставок за часом спрацьовування	від 0,25 до 1,1Ін із дискретністю 0,1 В від 0,05 до 1,0Ін з дискретністю 0,05Ін від 0 до 32 с з дискретністю 0,01с
Автоматичне повторне включення вимикача (АПВ)	- діапазон уставок за часом першого циклу АПВ - діапазон уставок за часом другого циклу АПВ - діапазон регулювання часу блокування запуску першого циклу АПВ після його закінчення - діапазон регулювання блокування запуску АПВ після закінчення другого циклу АПВ - діапазон часу блокування запуску АПВ після включення вимикача через дискретний вхід	від 0 до 32 с з дискретністю 0,01с від 5 до 75 с з дискретністю 0,01 с від 5 до 80 с з дискретністю 0,01с від 0 до 32 с з дискретністю 0,01 с від 0 до 32 с з дискретністю 0,01 с
Пристрій резервування відмовлення відключення (ПРВВ)	- кількість ступенів за часом спрацьовування - діапазон уставок по струму - діапазон уставок за часом спрацьовування першого ступеню - діапазон уставок за часом спрацьовування другого ступеню	2 від 0,05 до 1Ін із дискретністю 0,05 Ін від 0 до 32 с з дискретністю 0,01с від 0 до 32с з дискретністю 0,01 с

Продовження таблиці 3.1

Автоматичне частотне розвантаження (АЧР)	- діапазон уставок спрацьовування АЧР і уставок повернення АЧР - діапазон уставок за часом спрацьовування	від 45 до 50 Гц із дискретністю 0,05 Гц від 0,1 до 120с з дискретністю 0,1с
Прискорення МСЗ при включенні вимикача	- діапазон уставок за часом уведення прискорення - діапазон уставок прискорення	від 0 до 32с з дискретністю 0,01с від 0 до 5с з дискретністю 0,01с
Включення / відключення вимикача	- діапазон уставок по тривалості команди включення - діапазон уставок по тривалості команди відключення	від 0,15 до 5с з дискретністю 0,01с від 0,15 до 5с з дискретністю 0,01с
Реєстрація	- кількість подій у реєстраторі подій - тривалість масиву аварійної ситуації	25 останніх 100 мс до моменту аварії + 1с після аварії

При застосуванні мікропроцесорних пристроїв, у порівнянні з традиційними, техніко-економічний ефект досягається за рахунок:

- зниження в 10 разів потужності споживання по ланцюгах змінного струму та напруги;
- зниження в 2 - 3 рази споживання по ланцюгах оперативного струму;
- зниження втрат електричної енергії і збитку при коротких замиканнях за рахунок зменшення ступеню селективності до 0,2 с;
- зменшення часу пошуку місця короткого замикання за рахунок забезпечення відображення струмів і напруг аварійного режиму;
- наявності декількох груп уставок і можливості їхньої дистанційної зміни;

- виконання, крім функцій релейного захисту та автоматики, функції телевимірювання, телесигналізації і телекерування в одному компактному пристрої;

- зниження витрат на технічне обслуговування за рахунок вбудованого автоматичного самоконтролю справності;

- зменшення розмірів релейних щитів (числа ланцюгів) у зв'язку з істотно меншими габаритами (інтегрування більшого числа функцій релейного захисту та автоматики в одному пристрої).

Крім того у пристрої МРЗС-05 є бібліотека схем по всіх змінах, що вводяться заміні обладнання розподільчих пристроїв, підстанцій та електростанцій.

3.2 Пристрій релейного захисту, автоматики та дистанційного керування приєднань 0,4 - 10 кВ

Пристрій типу УЗА-10М (рис.3.2) включає в себе наступні функції: двофазний двоступінчатий захист від міжфазних коротких замикань з АПВ та захист сигналізація (сигналізацію) від замикань на землю. За своїми функціональними можливостями і вартості, пристрій є оптимальним для установки на підстанціях, що проходять. Функції пристрою типу УЗА-10 приведені таблиці 3.2.



Рисунок 3.2 Пристрій релейного захисту, автоматики та дистанційного керування приєднань типу УЗА-10М

Застосування пристрою типу УЗА-10М:

- промислові та розподільні електричні мережі напругою 0,4 -10 кВ;
- підстанції середньої та низької напруги;
- трансформатори середньої та низької напруги.

За замовленням, можливо однокорпусне виконання пристрою, що включає функції закладені в додатковий блок.

Уставки спрацьовування пристрою типу УЗА-10 приведені у таблиці 3.3

Таблиця 3.2 – Функції пристрою типу УЗА-10

Функції	УЗА-10А	УЗА-10В	Дод.блок.
Двоступінчатий захист від міжфазних КЗ з незалежною характеристикою витримки часу	X	X	
Прискорення МСЗ при включенні	X	X	
Дистанційне керування		X	
Контроль положення вимикача	X	X	
Однократне АПВ	X	X	
Сигналізація замикання на землю (ЗНЗ)		X	
Дешунтування електромагніту відключення (за замовленням)			X
Логічний захист шин - ЛЗШ (за замовленням)			X
ПРВВ (за замовленням)			X
Вимір діючих значень фазних струмів (і струму $I_{3\phi}$ у версії В)	X	X	
Вхід для виміру одного фазного струму з підвищеною точністю		X	
Порт RS485 для підключення локальної мережі передачі інформації		X	
Кількість дискретних входів	2	2	1
Кількість вихідних контактів (2-х корпусне)	3	3	3

Уставки спрацьовування пристрою типу УЗА-10 приведені у таблиці 3.3, а у таблиці 3.4 його технічні характеристики

Таблиця 3.3 – Уставки спрацьовування пристрою типу УЗА-10

Функції пристрою УЗА-10	Уставки спрацьовування
Захист від міжфазних КЗ Ступінь 1: Ступінь 2:	уставка по струму: 2 - 16 А (для $I_n = 1A \Rightarrow I_y/5$) -Крок: 0,1-0,5 А; витримка часу $t >$: 0,1 - 5 с крок: 0,1с. уставка по струму 5 - 200 А (для $I_n = 1A \Rightarrow I_y/5$): крок: 1 А: витримка часу: 0.05 - 1,0 с; крок: 0,05с.
Прискорення МСЗ при включенні	Витримка часу: вводиться прискорення 0,5с протягом 1с після включення вимикача
Захист від замикань на землю (версія В)	Ступінь: $I_0 >$: уставка по струму: 0.02 - 2 А крок: 0.02 А; витримка часу $I >$: 0 - 10 с крок: 0,5с
Автоматичне повторне включення	Час підготовки: 0 - 120 с. Час спрацьовування: 0 - 10 с

Таблиця 3.4 - Технічні характеристики пристрою типу УЗА-10

№	Найменування	Технічні характеристики
1	Вхідні параметри пристрою	Номінальний струм: 5А або 1А; навантаження: < 3 ВА (5А); термічна стійкість: 40 I_n - 1 секунда; 2 I_n довгостроково.
2	Напруга живлення	На постійному або змінному струмі: 60 - 250 В. Навантаження: 2 Вт - 0.25 Вт на кожне спрацювання реле до 3 ВА при живленні змінним струмом. Допустиме відхилення напруги: $\pm 20\%$ Допустима перерва: 500 мс

Продовження таблиці 3.4

3	Дискретні входи	2 дискретних входи. Діапазон: напруга 110 або 220 В (за замовленням) постійною або змінного струму. Навантаження: 2 Вт на вхід при напрузі 220 В.
4	Вихідні реле	Термічна стійкість (0,2с) 20 А. Номінальний струм 5А.
5	Зв'язок (версія В)	- Тип: 2-х провідний RS 485, напівдуплекс, ізольована. Швидкість передачі: 300 - 9600 бод Протокол: MODBUS RTU По мережі передається інформація про відключення обома ступенями МСЗ, про роботу АПВ, положенні вимикача, забезпечується керування вихідними реле, передаються результати виміру струму навантаження однієї фази з підвищеною точністю, струму КЗ і сигналізація про спрацьовування.
6	Корпус	Пристрій призначений для монтажу з тильним підключенням і може складатися з двох блоків. Ступінь захисту: МЭК 529; IP 52 Вага: < 1,2 кг; додатковий блок - 1,5 кг Однокорпусний варіант - 2 кг. Підключення: затискачі пружинного типу (Wago)
7	Користувальницький інтерфейс	Дисплей: 4 знаки + 5 крапок. Світлодіоди: 5 (версія А - 4). Клавіатура: 5 клавіш.
8	Навколишнє середовище	Температура: МЭК 255-6: при експлуатації: -30°C + 55°C; при збереженні: -40°C + 70°C

3.3 Універсальний струмовий захист з живленням від струмових ланцюгів або і від ланцюгів струму і напруги

Універсальний струмовий захист з живленням від струмових ланцюгів або і від ланцюгів струму і напруги типу MiCOM P124 (рис. 3.3) призначений для захисту електричних мереж високої та середньої напруги (трансформатори, кабелі, потужні розподільні підстанції промислових підприємств)



Рисунок 3.3 Універсальний струмовий захист типу MiCOM P124

Джерела живлення пристроїв струмових захистів приведені таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Джерела живлення пристроїв струмових захистів

Коди ANSI	Пристрої струмових захистів	Версія з живлення від струмових ланцюгів	Версія з живленням від ланцюгів струму і напруги
50/51	Трифазний неспрямований МСЗ (3 ст.)	X	X
50N/51N	Трифазна неспрямований ЗНП (3 ст.)	X	X
49	Захист від перевантаження (2 ст.)	X	X
37	Захист мінімального струму		X (прим. 1)
46	МСЗ оберненої послідовності		X
	Виявлення обриву проводу (12/11)		X
	Логіка, що блокує		X (прим. 1)
	Селективна схема логіки реле		X (прим. 1)
	Скидання – підйом навантаження		X (прим. 1)
	Кількість груп уставок	1	2
	Призначувані входи/виходи		X (прим. 1)
79	АПВ (багатократне)		X (прим. 1)
	Відключення від конденсатора	X	X
	Контакт, що переключасться, для обмотки відключення	X	X
	Безтабільний магнітний вказівник для індикації відключення	X	X
	4 магнітних вказівника (за замовленням)		X
86	Замикання вихідних реле		X (прим. 1)
50 BF	ПРВВ	•	X
	Контроль вимикача		X

Продовження 3.5

	Виміри (діючі значення)	X	X
	Поточні і максимальні значення	X	X
	Записи подій		X (прим. 1)
	Записи пошкоджень	X	X
	Записи осцилограм		X прим. 1)
	Порт зв'язку RS-485 на задній стінці реле		X (прим. 1)
	Порт зв'язку RS-232 на лицьовій панелі	X	X

Технічні характеристики універсального струмового захисту типу МіСОМ Р124 приведені у таблиці 3.6

Таблиця 3.6 Технічні характеристики універсального струмового захисту типу МіСОМ Р124

№	Найменування	Технічні характеристики
1	Захист від міжфазних КЗ	<p>Ступені: 3 (I>.I>>,I>>>)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Уставка по струму 0.1 -40 Ін - I> IDMT характеристики. <p>МЭК 255-3: STI, CI. VI, EI, LTI IEEE/ANSI: MI. VI, EI. CO2, 38 Електромеханічна- RI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Витримка часу TO (I>. I>>. I>>>) <30 мс із попереднім струмом 0.2 Ін - Витримка часу (tI>. tI>>. I>>>): 0 - 180с
2	Захист від замикань на землю	<p>Ступені: 3(I₀>, I₀>>, I₀>>>)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Уставка по струму: 0.002 - 40 Ін -I₀> IDMT характеристики: <p>МЭК 255-3: STI, CI.VI. EI.UI IEEE/ANSI: MI, VI, EI. CO2. CO8 Електромеханічна: RI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Витримка часу TO (I₀>. I₀>> I₀>>>): <30 мс із попереднім струмом 0.2 Ін - Витримка часу (tI₀>. tI₀>>. tI₀>>>): 0 -

Продовження таблиці 3.6

3	Захист від перевантаження	Струмівий ступінь I0> - Діапазон: 0,2 - 3.2 x In - Тепловий стан (сигналізація та відключення): 50 + 200% x θ - Витримка часу: 1 * 200 хв.
4	МСЗ зворотної послідовності (версія з подвійним джерелом живлення)	- Ступінь I2<: 0.1 +40 In - 11 IDMT характеристик або незалежні характеристики з витримкою часу 0 - 150 с
5	Зміна уставок на час пуску (версія з живленням від струмових ланцюгів і від ланцюгів напруги)	Ступінь 20% - 500% x уставку МСЗ. ЗНЗ або уставку захисту від перевантаження - Витримка часу: 0.1 + 3600 с
6	Виявлення обриву проводу (версія з живленням від струмових ланцюгів і від ланцюгів напруги)	Ступінь I2/I1:20 - 100% -Витримка часу: 0 - 1440 с
7	Захист від відмовлення вимикача (версія з живленням від струмових ланцюгів і від ланцюгів напруги)	Уставка I<: 0 + 100 % In - Витримка часу: 10 мс - 10 с
8	Струмові входи	- Номінальний струм: 1 або 5 А - Стійкість: -1 секунда @ 100 x In - довготривало @ 4 x In - Навантаження: фазне 6 ВА (5А) нульової послідовності 6 ВА (5А)

Продовження таблиці 3.6

	Дискретні входи/виходи	<p>1 вихідне реле з контактами, що переключаються, для обмотки вимикача,</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 вихідне реле контролю справності з контактами, що переключаються. - Додаткові функції для версії з живленням від струмових ланцюгів і від ланцюгів напруги; - 5 програмувальних дискретних входів. - 5 програмувальних дискретних виходів.
10	Користувальницький інтерфейс	<p>Дисплей: 2x16 знаків, з підсвічуванням</p> <ul style="list-style-type: none"> - Клавіатура: 7 клавіш - Порт RS232 на лицьовій панелі - 1 світлодіод і 1 приваблюючий увагу індикатор для оповіщенні 06 відключенні. - Додаткові можливості для версії з живленням від струмових ланцюгів і від ланцюгів напруги: 7 світлодіодів, включаючи 4 програмувальних + 4 приваблюючих увагу індикатора
11	Зв'язок	<p>Тип: 2-х провідна RS 485. напівдуплекс, ізольована</p> <ul style="list-style-type: none"> - Протокол: MODBUS RTU, Courier або МЭК 60870-5-103
12	Напруга живлення	<ul style="list-style-type: none"> - 24 - 60В (=) +/- 20%. - 48-150В(=) +/-20%. - 130-250В {=} /100 - 250В (-) 50/60Гц +/-20%.

Продовження таблиці 3.6

13	Корпус	<p>Корпус: МІСОМ 30 ТІ, для монтажу на панелі або для утопленого монтажу з тильним підключенням</p> <ul style="list-style-type: none"> - Розмір (ШхВхГ). мм: 155x177x165 - При виїмці внутрішнього блоку струмові ланцюги закорочуються. - Ступінь захисту: МЭК 529' IP 52 ІК 07 -Вага 2 9 кг - Підключення:гвинтові затиски М4 / фостони
14	Стандарти	<p>Стандарти МЭК і ANSI</p> <ul style="list-style-type: none"> -Відповідає МЭК 947-1

3.4 Багатофункціональний захист ліній електропередач та трансформаторів

Застосування багатофункціонального пристрою захистів ліній електропередач та трансформаторів типу MiCOM P125, P126, P127 (рис.3.1):

- промислові електричні мережі
- розподільні електромережі
- підстанції високої та середньої напруги
- трансформатори високої, середньої та низької напруги



Рисунок 3.4 Багатофункціональний мікропроцесорний пристрій типу MiCOM P125 (P126, P127)

Функції універсальних пристроїв основного і резервного струмового захисту MiCOM P125, P126, P127 приведені в таблиці 3.

Таблиця 3.7 – Функції універсальних пристроїв основного і резервного струмового захисту

Коди ANSI	Функції	MiC OM P125	MiC OM P126	MiC OM P127
67N/50N /51N	Спрямований / неспрямований ЗНЗ (три ступені)	X	x	x
67/50/51	Спрямований/неспрямований МСЗ (три ступені)	-		X
50/51	Трифазна МСЗ (три ступені.)	-	X	-
32N	Захист по потужності (P _о або I _о cos) - два ступені	X	X	X
	Виявлення обриву проводу		X	X
37/37N	Захист мінімального струму		X	X
46	МСЗ зворотної послідовності	-	X	X
49	Захист від термічного перевантаження	-	X	X
27	Захист від зниження напруги (2 ст.)	-		X
59	Захист від підвищення напруги (2 ст.)			X
59N	Захист від підвищення напруги нульової послідовності (4 ст.)	X	X	X
79	Трифазне АПВ (4 цикли)	-	X	X
50BF	ПРВВ	-	X	X
	Контроль і керування вимикачем		X	X
	Логіка блокування	X	X	X
	Датчик початкового навантаження		X	X
	Селективна логіка		X	X
	Миттєвий вихід			
	Програмувальна логіка "И"	X	X	X
	Кількість груп уставок		X	X
	Вимірювання	1	2	2
	Реєстрація пошкоджень	X	X	X
	Реєстрація подій	-	X	X
	Реєстрація осцилограм	-	X	X
	Засоби тестування	-	X	X
	Самодіагностика	X	X	X

Продовження таблиці 3.7

	Підключення до мережі передачі інформації	X	X	X
	Порт на лицьовій панелі RS232	X	X	X
	Програмна підтримка (MiCOM S1)	X	X	X
	Число вихідних реле	6	8	8
	Число дискретних входів	4	7	7
	Габаритні розміри (ШxВxГ), мм	102x 177x 247,1	154,2 x 177x 247,1	154.2 x 177x 247,1
	Вага, кг	3.0	4,0	4,2

Технічні характеристики багатофункціональних захистів ліній електропередач та трансформаторів типів MiCOM P125, P126, P127 приведені у таблиці 3.8

Таблиця 3.8 Технічні характеристики багатофункціональних пристроїв захисту типів MiCOM P125, P126, P127

№	Найменування	Технічні характеристики
1	Струмові входи Фазний струм	Номінальний струм: 1 або 5 А - Навантаження: до 0.3ВА (5А) - Стійкість: - 1 секунда @ 100 x I _n , - 2 секунди @ 40 x I _n , - Довгостроково @ 2 x I _n .
2	Струм замикання на землю	Номінальний струм: 1 або 5 А - Навантаження: < 0.01ВА при 0.1I _o (5А) - Стійкість: -1 секунда® 100 x I _n - 2 секунди @ 40 x I _n - Довгостроково @ 2 x I _n
3	Виявлення обриву проводу (тільки P126, P127)	- Ступінь I2/I1: 20 - 100% - Витримка часу: 0 - 14400 с

Продовження таблиці 3.8

4	Напруга живлення	<p>Напруга живлення постійного струму: 24 - 250 В</p> <p>- Напруга живлення змінного струму: 110 - 250 В; 50/60 Гц</p> <p>- Навантаження: < 2 Вт + 0.25 Вт на кожен дискретний вхід</p> <p>До 5 ВА при живленні напругою змінного струму</p> <p>- Припустиме відхилення напруги: 0.8 - 1.2 U_{ном}</p> <p>- Припустима перерва напруги живлення постійного струму: 500 мс</p>
5	Вихідні реле	<p>Наявність реле контролю справності</p> <p>- Стійкість (0.2 с) 30 А</p> <p>- Номінальний струм 5 А</p>
6	Зв'язок	<p>Тип: 2-х провідна RS 485, статі напівдуплекс, ізольована</p> <p>Швидкість передачі; 300 + 38400 бод</p> <p>- Протокол: MODBUS RTU, Courier або МЭК 60870-5-103</p> <p>- Порт RS232 на лицьовій панелі для програмування</p>
7	Користувальницький інтерфейс	<p>Дисплей: 2x16 знаків, 3 підсвічуванням</p> <p>- Світлодіоди: 8 включаючи 4 програмні</p> <p>- Клавіатура: 7 клавіш</p> <p>- Мова: Російський, Англійський</p>
8	Корпус	<p>- для P125 виконання 20ТІ (102x158x247мм)</p> <p>- для P126 і P127 виконання 30ТІ (154x158x247мм)</p>
9	Навколишнє середовище	<p>Температура: МЭК 255-6</p> <p>Експлуатація: -25°C - 55°C</p> <p>Збереження: -25°C - 70°C</p> <p>- Вологість: МЭК 68-2-3 •</p>

Продовження таблиці 3.8

10	Технічні характеристики	<ul style="list-style-type: none"> - Діелектрична стійкість: МЭК 255-5 - Імпульсна напруга: МЭК 255-5 - Швидкий перехідний процес: МЭК 1000-4-4; ANSI C37.90.1 - Високочастотний імпульс: МЭК 1000-4-1, клас 3 - Радіочастотний імпульс: МЭК 1000-4-3; ANSI C37.90.2 - Електростатичне розвантаження: МЭК 1000-4-2 - Напруга живлення: МЭК 255-11, VDEW; пульсація: 12%, припустимий перерва напруги живлення постійним струму: 50 мс - Вібрація: МЭК 255-21-1, клас 2 - Струшування й удари: МЭК 255-21-11 Клас 1' - Сейсмостійкість: МЭК 255-21-3 Клас 1
11	Стандарти	Відповідає МЭК 947-1

3.5 Пристрої захисту та автоматики електродвигунів

Цифрові пристрої захисту та автоматики типів MiCOM P211, (рис.3.5), MiCOM P220, MiCOM P241 забезпечують більш ефективний та надійний захист і керування електродвигуном у порівнянні з традиційними електромеханічними реле, завдяки наступним своїм перевагам:

- висока швидкодія,
- гнучка конфігурація,
- наявність логічних функцій,
- висока точність вимірів і чутливість,
- точне визначення температури електродвигуна незалежно від змісту гармонік у струмі,
- висока швидкодія,
- гнучка конфігурація,
- наявність логічних функцій,
- висока точність вимірів і чутливість,
- точне визначення температури електродвигуна незалежно від змісту гармонік у струмі,
- можливість роботи з локальною мережею та EOM, а також можливість дистанційного керування,
- зниження вартості технічного обслуговування,
- реєстрація подій, аварій і осцилограм,
- малі габарити, висока надійність, що забезпечується постійним і циклічним самотестуванням та інше.



Рисунок 3.5 Пристрій захисту й автоматики типу MiCOM P211

Функції пристроїв захисту й автоматики для електродвигунів приведені в таблиці 3.9

Таблиця 3.9 – Функції пристроїв захисту й автоматики для електродвигунів

Коди ANSI	Функції	MiCO M P211	MiC OM P220	MiCO M P241
67N	Спрямований ЗНЗ	-	-	X
50N/51N	ЗНЗ	-	2 ст.	X
67	Спрямований МСЗ		-	X
50	Струмова відсічка		X	X
51	Трифазний МСЗ	1 ст.		2 ст.
32N/64N	Захист по потужності нульової послідовності			X
	Виявлення обриву проводу	X	-	X
37	Захист мінімального струму	1 ст.	X	X
46	МСЗ зворотної послідовності	-	2 ст.	2 ст.
49	Захист від термічного перевантаження	1 ст.	2 ст.	X
27	Захист від зниження напруги	-	-	2 ст.
59	Захист від підвищення напруги	-	-	2 ст.
59N	Захист від підвищення напруги нульової послідовності	-		2 ст.
81	Захист від зниження/підвищення частоти	-	-	2 ст.
	ПРВВ	-		X
	Контроль ресурсу і керування вимикачем		X	X
55	Захист від виходу із синхронізму	-		X
	Датчик початкового навантаження (пуск-підвищення)	-		X
	Логіка		X	X
	Миттєвий вихід		X	X
	Групи уставок	1	2	4
50S/51L R	Захист від заклинювання ротору	-	X	X
66	Обмеження числа запусків		X	X

Продовження таблиці 3.9

48/51	Тривалий запуск		X	X
27LV	Аварійний перезапуск	-	X	X
47	Контроль наявності напруги	-	.	X
86	Замикання вихідних реле		X	X
	Реєстрація подій, пошкоджень і осцилограм	-	X	X
	Запам'ятовування максимальних значень	-	X	-
	Підключення до мережі передачі інформації	X	X	X
26	Кількість температурних датчиків	1	6	10
	Кількість вихідних реле	2	6	8
	Кількість дискретних входів	2	5	8
	Габаритні розміри (ШхВхГ), мм	100,0. x 75,0x 116,0	155, 0x 177,0 x 164,9	206,0x 177,0x 270.0

3.6 Пристрої диференціального захисту збірних шин електричних підстанцій

Короткі замикання на збірних шинах розподільних підстанцій або підстанцій магістральних мереж бувають відносно рідко, але наслідки їх можуть бути дуже важкими з точки зору збитку, який наноситься устаткуванню. Так, наприклад, поділ шин на незалежні секції дає можливість перекладу частини навантаження на непошкоджену секцію при ушкодженні на сусідній секції. Однак такі міри можна розглядати лише в якості попереджувальних для ліквідації наслідків аварії. Вони ефективні тільки в тому випадку, якщо є устаткування захисту збірних шин, що повино відповідати наступним вимогам:

- швидкодія,
- селективність,
- чутливість до внутрішніх пошкоджень,
- стійкість до всіх зовнішніх пошкоджень.

Таким вимогам відповідає мікропроцесорний пристрій диференційного захисту збірних шин типу МіСОМ Р740 (рис. 3.6). Він може проводити виміри електричних величин (частота вибірки - 2400 МГц), має високу чутливість до внутрішніх пошкоджень на збірних шинах і зберігає стабільність в умовах зовнішніх ушкоджень.

Пристрій МіСОМ Р740 можна застосовувати для різних підстанцій, оскільки не існує обмеження рівня напруги:

- розподільні підстанції середньої та високої напруги,
- підстанції магістральних мереж високої і понад високої напруги.
- далеко розташовані підстанції залізничних мереж з 2-ма секціями шин,
- підстанції з глухо та ефективно заземленою нейтраллю або заземленою через опір,
- гідроакумуючі електростанції.



Рисунок 3.6 Пристрій диференціального захисту збірних шин типу MiCOM P740

З'єднання модулів пристрою виконане через оптоволоконний кабель. Кожен периферійний пристрій має один кабель для передачі, і один для одержання інформації.

До кожного головного пристрою можуть бути підключені до 32 пар оптоволоконних кабелів від периферійних пристроїв. Кожен головний пристрій має зв'язок з цифровою системою керування по протоколах - Courier, Modbus, МЭК 60870-5-103, DNP3.0, ICA2.0. Відстань від головного пристрою до периферійного пристрою, у випадку їх децентралізованого розташування, не повинне перевищувати 1 км.

MiCOM P740 забезпечує:
захист збірних шин,
максимальний струмовий захист,
захист у «мертвій зоні»,
ПРВВ,
програмувальну логіку,

контроль ланцюгів ТС,
контроль і своєчасне технічне обслуговування вимикача,
безперервний моніторинг стану вимикача,
вимір електричних величин,
реєстрацію подій і пошкоджень,
реєстрацію осцилограм.

Апаратне забезпечення головного пристрою - розмір 19 дюймів - 4U

8 дискретних входів,
8 вихідних реле,
8 плат передачі інформації,
4 периферійні пристрої на кожну плату передачі інформації,
1 плата основного мікропроцесора,
1 плата співпроцесора,
12 світлодіодів ЖКД із підсвічуванням.

Апаратне забезпечення головного пристрою - розмір 8 дюймів-4U:

дискретні входи: 16 для P742 і 24 для P743;
універсальні дискретні входи - програмувальна напруга акумулятора;
вихідних реле: 8 для P742 і 16 для P743;
струмові входи: 3 фазних + 1 струму нульової послідовності;
входи вимірювальних трансформаторів струму мають два номінали (1/5A) 1 плата основного мікропроцесору;
1 плата сопроцесору;
12 світлодіодів;
рідино кристалічний дисплей із підсвічуванням;
акумулятор: запам'ятовується точна копія схеми

3.7 Універсальний захист по частоті

Реле частоти у пристрої MiCOM P-940 забезпечує точний вимір частоти при її зниженні та відновленні. Великі функціональні можливості гарантують оптимальне використання для виконання функцій автоматичного частотного розвантаження (АЧР) та частотного автоматичного повторного включення (ЧАПВ) і захисту генераторів від ненормальних частотних режимів.

Реле серії MiCOM P-940 здійснює контроль частоти та забезпечує спрацьовування захисту по частоті і відключення навантаження для досягнення стійкості енергосистеми. Сполучення різних елементів захисту по частоті забезпечує правильну роботу у різних ситуаціях.

Захист забезпечує оптимальне відключення навантаження для підтримки стійкої частоти в системі.

Функції та технічні характеристики реле серії MiCOM P-940 приведені в таблиці 3.10

При швидкому зниженні частоти, схема відключення навантаження може бути доповнена пристроєм контролю швидкості зміни частоти (df/dt). Зниження частоти при розгойдуванні системи відслідковується за більш тривалий період часу з використанням середньої швидкості зміни частоти ($\Delta f/\Delta t$).

Навантаження може відключатися по двом принципам: відключення по категоріях споживачів; покрокове навантаження. Живлення споживачів автоматично відновлюється при відновленні допустимого рівня частоти.

Таблиця 3.10 – Функції та технічні характеристики пристроїв серії MiCOM P-940

Код	Функції та технічні характеристики	P941	P942	P943
	Точність краща, ніж 0,01 Гц	+	+	+
	Чотири незалежних вимірювальних органи частоти на ступінь			+
f + t	Контроль підвищення / зниження частоти з витримкою часу (6 ст.)	+		+
df/dt + l	Контроль швидкості зміни частоти з витримкою часу (6 ст.)	+		+
f + df/dt	Контроль частоти і швидкості її зміни (6 ст.)	+		+
f + Δf/Δt	Контроль частоти і середньої швидкості її зміни (6 ст.)			
	Аварійний захист генератора	+	+	+
	Нагромадження часу експлуатації генератора з аварійною частотою			+
81	Захист від зниження/підвищення напруги (2 ст.)			+
	Контроль справності ланцюгів напруги	+	+	+
	Користувач установлює блокування по зниженню напруги	+	+	+
	Програмувальна схема логіки		+	+
	Реєстрація подій, несправностей і осцилограм	+	+	+
	Порт зв'язку на лицьовій панелі RS232	+	+	+
	Порт зв'язку на задній стінці реле RS485	+	+	+
	Кількість груп уставок	4	4	4
	Кількість дискретних входів	8	8	16
	Кількість вихідних реле	7	14	
	Габаритні розміри (ШхВхГ). мм	206x 177x 270	206x 177x 270	309x 177x 270
	Маса, кг	5,4	5,8	7,0

3.8 Універсальна система керування у енергосистемах

Універсальна система MiCOM SIC спеціально розроблена для електричних підстанцій, які використовують цифрові реле й інші цифрові пристрої для захисту, спостереження і керування електричними системами.

Пристрій типу MiCOM S10 поєднує функції захисту та графічного зображення даних. Система легко конфігурується, тому можливо її застосування як для промислових, так і для розподільних мереж.

Доцільність застосування системи MiCOM SIC існує як для нових підстанцій, так і для підстанцій, що реконструюються. При цьому використовується високо надійний зв'язок, який дозволяє зчитувати і керувати даними для їх графічного представлення, керувати цифровими пристроями, а отже зв'язаною електричною системою MiCOM S10.

Універсальна система MiCOM S10 індивідуально конфігурується до кожної електричної системи та може використовуватися, щоб доповнювати або замінювати стандартні системи керування. Використання стандартних прототипів дозволяє системі пропонувати гнучкі і відкриті умови зв'язку.

Особливості інтерфейсу користувача.

Контроль об'єкту в режимі реального часу з показом лінійної діаграми, зв'язаної з положенням вимикачів. Логічне збільшення ділянок зображення.

Керування вимикачем захищено паролем

Виміри в режимі реального часу.

Обчислення активної і реактивної потужності

Підтвердження сигналізації.

Послідовний у часі список подій.

Реєстрація і печатка команд керування.

Архівація даних і динаміка їх змін.

Доступ оператора обмежений паролем.

Зчитування і зміна уставок у реле захисту.

Витяг осцилограм і їхній аналіз.

Спостереження і діагностика.

Важливою особливістю пристрою MiCOM S10 є гнучкість архітектури, що разом з використанням стандартних протоколів, дозволяє установку системи на підстанції з різною компоновкою. Це

також дає можливість одночасного зв'язку з різними мережами, протоколами і цифровими пристроями. Стандартна архітектура системи MiCOM S10 складається з інтерфейсу користувача, ліній зв'язку і пристроїв захисту. Один персональний комп'ютер (ПК) може використовуватися для забезпечення зв'язку з вісьма послідовними інтерфейсами зв'язку. Віддалений інтерфейс користувача може бути підключений за допомогою модемів. Можливості роботи з мережами пропонують просте розширення архітектури.

Незалежно від протоколу зв'язку і конструкції реле, система диспетчерського керування MiCOM S10, допускає інтеграцію пристроїв захисту від різних фірм.

Кілька рівнів конфігурації стандартної системи MiCOM S10 забезпечуються з базисного рівня. Це дозволяє швидко і просто виготовити більш розширену конфігурацію для нової підстанції або електростанції по технічних умовах замовника.

Ємність системи MiCOM S10:

- До 32000 елементів даних застосовуються на підстанції.
- ПК має до 8 мереж передачі даних.

Об'єднання цифрових пристроїв

- Modbus для реле MiCOM. MODN.
- Кур'єр для серій реле K і L.

Використання стандартних програм:

- PC / Windows NT.
- Локальна мережа Ethernet.
- Фактичні стандарти для мережі зв'язку ModBus або K-Bus/Courier.

Зв'язок здійснюється :

- RS485/MODBUS
- RS485 асинхронний режим. 2 проводу, напівдуплекс.
- 38 КБод/с.
- До 32 пристроїв у мережі зв'язку. K-Bus/Courier
- RS485 базується на синхронному режимі по 2 проводам.
- протокол Courier.
- 64 Кбит/с.
- До 32 пристроїв в одній мережі зв'язку.
- Зв'язок з верхнім рівнем керування по протоколі МЭК 60670-5-101

3.9 Питання для самоперевірки

1. Призначення мікропроцесорного пристрою МРЗС-05?
2. Які функції виконує мікропроцесорний пристрій МРЗС-05?
3. Які вимірювання забезпечує пристрій МРЗС-05?
4. Які релейні захисти і автоматичні функції може виконувати пристрій МРЗС-05?
5. Які події реєструє пристрій МРЗС-05?
6. Діапазон уставок по струму і часу МСЗ пристрою МРЗС-05?
7. Який економічний ефект досягається використанням цифрових пристроїв ALSTOM?
8. Технічна характеристика пристрою УЗА-10А(В)?
9. Призначення пристроїв МіСОМ Р124.
10. Переваги пристроїв МіСОМ Р211, 220, 241.
11. Призначення пристроїв МіСОМ Р740.
12. Призначення пристроїв МіСОМ Р940.
13. Призначення пристроїв МіСОМ S10.

Перелік посилань

1. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения/ В.А. Андреев. – М.: Высшая школа. – 2007. – 639 с.
2. Федосеев А. М., Федосеев М. А. Релейная защита электроэнергетических систем: Учеб. для вузов/А.М. Федосеев, М.А. Федосеев — 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Энергоатомиздат, 1992.— 528 с.
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. Бирг А.Н. Устройства дистанционной и токовой защит типов ШДЭ 2801 ШДЭ 2802/ А.Н. Бирг, Р.С. Нудельман, Э.К. Федоров. - М. : Энергоатомиздат, 1988.-96с
6. Стогний Б.С. Микропроцессорные системы в энергетике/ Б.С. Стогний, В.В. Рогоза, А.В. Кириленко. - Киев „Наукова думка”,1998г.-230с.
7. Ванин В.К., Павлов Г.М. Релейная защита на элементах вычислительной техники/ В.К. Ванин, Г.М. Павлов. - Л. :Энергоатомиздат, 1991.-336 с.
8. Яндульський, О. С. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем [Електронний ресурс] : навчальний посібник / О. С. Яндульський, О. О. Дмитренко ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 1,36 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 103 с.
9. Кідиба В. П Релейний захист електроенергетичних систем Навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. 504 с.
10. Колісник, М.О. Надійність програмних засобів мікропроцесорних пристроїв управління систем телекомунікації: навч. посібник / М.О. Колісник, І.В. Піскачова. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – 167 с.
11. Дьяченко М.Д. Цифровая защита (аппаратное и алгоритмическое обеспечение): Учебное пособие/ М.Д. Дьяченко, С.К. Поднебенная.–Мариуполь: ГВУЗ «ПГТУ», 2014. –304с.: ил. ISBN978-

966-604-146-6 образования и науки, молодежи и спорта Украины как учебное пособие для студентів.

12. Мельников М. А. Релейная защита и автоматика элементов систем электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие М.А. Мельников – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 218 с.

13. Надежность цифровых устройств релейной защиты. Показатели. Требования. Оценки .Захаров Олег Георгиевич. Издательство [Инфра-Инженерия](#) ISBN 978-5-9729-0073-2. - 2014. - 128с.

14. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита / Э.М. Шнеерсон. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 547 с.

15. В.Ф. Надин. Релейная защита и автоматика. Учебное пособие для вузов / Надин В.Ф., С.В. Петухов, Радюшин В.В. - Архангельск. – 2015. - 98 с.

Навчальне видання

**МАХЛІН Павло Вадимович
ШРАМ Олександр Анатолійович
ІВАНЕНКО Євгеній Пилипович**

КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИПИ ДІЇ РЕЛЕ НА РІЗНИХ ЕЛЕМЕНТНИХ БАЗАХ

Навчальний посібник

Комп'ютерний набір: *Махлін П.В.*
Комп'ютерна верстка: *Дяченко О.О.*

Підписано до друку 27.10.2020. Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 6,51.
Тираж 100 прим. Зам. № 1108.

Національний університет «Запорізька політехніка»
Україна, 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64
Тел.: (061) 769–82–96, 220–12–14

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6952 від 22.10.2019.