

Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електричних станцій і систем

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
завідувач кафедри ЕСС  
д.т.н., професор Лежнюк П. Д.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи  
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»

**ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУМІВ ТА НАПРУГ ПІД ЧАС ДВОХ ОДНОЧАСНИХ  
ЗАМКНЕНЬ В ЛЕП**

08-13.МКР.011.00.102 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу ОППП магістр,  
групи ЕС-18м  
галузь знань 14 «Електрична інженерія»  
спеціальності 141 – «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
освітня програма «Електричні станції»  
Лабенський М.С. \_\_\_\_\_

Керівник: к.т.н., ст. викладач каф. ЕСС  
Гулько І.О. \_\_\_\_\_

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

Рецензент: \_\_\_\_\_

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

Вінниця – 2019 року

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
завідувач кафедри ЕСС  
д.т.н., професор Лежнюк П.Д.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_ р.

## ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу на здобуття кваліфікації магістра зі спеціальності: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.  
Освітньо-професійна програма – Електричні станції  
(шифр – назва спеціальності)

Магістр групи ЕС-18м Лабенський Михайло Сергійович  
(назва групи) (прізвище, ім'я і по батькові)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Дослідження струмів та напруг під час двох одночасних замкнень в ЛЕП»

Початкові дані: 1. Яндюльський О.С. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту автоматики та управління електроенергетичних: навч. посіб. / О. С. Яндюльський – К.: НТУУ “КПІ”, 2016. – 102 с.; 2. Кідиба, В. П. Релейний захист електроенергетичних систем: навч. посіб. / В. П. Кідиба. – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2015. – 504 с.; 3. Чернин А.Б., Основы вычисления электрических величин для релейной защиты при сложных повреждениях в электрических системах / А.Б. Чернин, С. Б. Лосев. – 1970. – 437 с.; 4. Ананичева С. С., Мызин А.Л., Методы анализа и расчета замкнутых электрических сетей: Учебное пособие / С. С. Ананичева, А.Л. Мызин. 4-е изд., исправл. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 94 с.

Короткий зміст частин магістерської кваліфікаційної роботи:

1. Графічна: слайди, які відображають основні результати та зміст розрахунково-пояснювальної записки;
2. Текстова (пояснювальна записка): Вступ. 1 Аналіз пошкоджень електричних мереж 10-110 кВ; 2 Дослідження процесів в електричних мережах 10-110 кВ під час подвійних замкнень; 3 Визначення струмів і напруг при двох одночасних коротких замиканнях методом симетричних складових; 4 Розрахунок параметрів режиму при подвійному замиканні; 5. Економічна частина; 6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; Висновки. Список використаних джерел. Додатки

3. Консультанти з окремих розділів магістерської кваліфікаційної роботи:

Науковий керівник

\_\_\_\_\_

(підпис)

канд. техн. наук., ст. викл. кафедри ЕСС  
наук. ступінь, вчене звання (посада)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

І. О. Гунько

Економічна частина

\_\_\_\_\_

(підпис)

канд. техн. наук. доц., доцент кафедри ЕСС  
наук. ступінь, вчене звання (посада)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

В. В. Нетребський

(ініціали та прізвище)

Охорона праці та безпека  
в надзвичайних ситуаціях

\_\_\_\_\_

(підпис)

д-р. техн. наук. доц, професор кафедри ЕСС  
наук. ступінь, вчене звання (посада)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

Є. А. Бондаренко

(ініціали та прізвище)

Дата попереднього захисту роботи “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

Рецензент

\_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_

(наук. ступінь, вчене звання , посада)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

\_\_\_\_\_

(ініціали та прізвище)

Завдання видав

\_\_\_\_\_

(підпис)

канд. техн. наук, ст. викл. кафедри ЕСС  
наук. ступінь, вчене звання (посада)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

І. О. Гунько

(ініціали та прізвище)

Завдання отримав магістрант

\_\_\_\_\_

(підпис)

М. С. Лабенський

(ініціали та прізвище)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ .....	6
ANNOTATION .....	7
СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ .....	8
ВСТУП .....	9
1 АНАЛІЗ ПОШКОДЖЕНЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ 10-110 кВ .....	12
1.1 Режими електричних мереж 10-110 кВ.....	12
1.2 Аналіз причин пошкоджуваності обладнання мереж 10-110 кВ .....	13
1.2.1 Пошкоджуваність повітряних ліній електропередачі 10-110 кВ.....	13
1.2.2 Дослідження пошкоджуваності трансформаторних підстанцій та розподільних пунктів.....	16
1.3 Дослідження методів розрахунку процесів в електричних мережах під час пошкоджень .....	18
Висновки до першого розділу.....	20
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 10-110 кВ ПІД ЧАС ПОДВІЙНИХ ЗАМКНЕНЬ .....	21
2.1 Метод комплексних схем заміщення для визначення струмів та напруг при двох одночасних пошкодженнях .....	21
2.2 Застосування розширених схем прямої послідовності для розрахунку параметрів двох одночасних коротких замикань .....	25
2.2 Складання схем заміщення для несиметричних трифазних статичних елементів .....	30
Висновки до другого розділу .....	35
3 ВИЗНАЧЕННЯ СТРУМІВ І НАПРУГ ПРИ ДВОХ ОДНОЧАСНИХ КОРОТКИХ ЗАМИКАННЯХ МЕТОДОМ СИМЕТРИЧНИХ СКЛАДОВИХ... 36	36
3.1 Розрахункові вирази при заданих ЕРС генераторів .....	36
3.2 Замикання на землю фази В у точці К і фази С у точці L в мережі з великим струмом замикання на землю.....	38

3.3	Замикання на землю фази В у точці К і фази С у точці L в мережі з малим струмом замикання на землю .....	42
3.4	Замикання на землю фази А в точці К і фаз В і С в точці L в мережі з малим струмом замикання на землю.....	45
	Висновки до третього розділу.....	48
<b>4 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ПРИ ПОДВІЙНОМУ ЗАМИКАННІ .....</b>		
4.1	Визначення струмів при металевому замиканні на землю в мережі 110 кВ з великим струмом замикання на землю .....	50
4.2	Визначення струмів і напруг при металевому замиканні на землю при незаземлених нейтралях всіх трансформаторів .....	54
4.3	Визначення струмів при металевому замиканні на землю на лінії з двостороннім живленням при незаземлених нейтралях всіх трансформаторів .....	58
	Висновки до четвертого розділу .....	61
<b>5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....</b>		
5.1.	Загальні відомості про кошторисний розрахунок .....	62
5.2.	Типи кошторисних документів.....	63
5.3.	Основні методи розрахунку кошторисів .....	66
5.4.	Кошторисні розрахунки для проекту РЗА .....	68
	Висновки до п'ятого розділу .....	72
<b>6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....</b>		
6.1	Задачі розділу .....	73
6.2	Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта .....	74
6.2.1	Санітарно-гігієнічні вимоги до робочого середовища.....	74
	користувача ЕОМ.....	74
6.2.2	Заходи по забезпеченню електробезпеки .....	79
6.3	Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії .....	80
6.3.1	Мікроклімат .....	80
6.3.2	Склад повітря робочої зони.....	81
6.3.3	Виробниче освітлення .....	82

6.3.4 Виробничий шум.....	83
6.3.5 Електромагнітні випромінювання та поля .....	84
6.4 Пожежна безпека.....	86
6.5 Дослідження стійкості роботи лінії електропередачі 110 кВ в умовах дії загрозливих чинників надзвичайної ситуації .....	88
6.5.1 Дослідження стійкості роботи ЛЕП 110 кВ в умовах дії іонізуючих випромінювань .....	89
6.5.2 Дослідження стійкості роботи ЛЕП 110 кВ в умовах дії електромагнітного імпульсу.....	92
6.5.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи ЛЕП 110 кВ в умовах дії загрозливих чинників у надзвичайній ситуації .....	95
Висновки до шостого розділу .....	97
ВИСНОВКИ.....	98
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	100
ДОДАТОК А (Технічне завдання) .....	103
ДОДАТОК Б (Графічний матеріал).....	108

## АНОТАЦІЯ

Лабенський М.С. «Дослідження струмів та напруг під час двох одночасних замкнень в ЛЕП». Магістерська кваліфікаційна робота – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 102 с., табл.: 16, рис.: 27, бібліогр.: 25.

У магістерській кваліфікаційній роботі проведено аналіз причин пошкоджень обладнання електричних мереж 10-110 кВ. процеси в електричних мережах 10-110 кВ під час подвійних замкнень та метод симетричних складових для визначання струмів і напруг при двох одночасних КЗ.

В розрахунковій частині було виконано розрахунок параметрів режиму при подвійному замиканні.

В економічній частині магістерської кваліфікаційної роботи проведено кошторисний розрахунок вартості встановлення мікропроцесорного релейного захисту на ПС 10/110 кВ .

Ключові слова: подвійне коротке замикання, релейний захист та автоматика, коротке замикання, , електрична мережа, лінія електропередачі.

## ANNOTATION

Labensky MS "Investigation of currents and voltages during two simultaneous closures in transmission lines." Master's qualification work - Vinnytsia: VNTU, 2019. - 102 pp., Tab .: 16, fig .: 27, bibliogr .: 25.

In the master's qualification work the analysis of the causes of damage to the equipment of electrical networks 10-110 kV was carried out. processes in electrical networks 10-110 kV during double-circuits and method of symmetrical components for determination of currents and voltages at two simultaneous short circuits.

In the calculation part, the calculation of the parameters of the mode at double-circuit was performed.

In the economic part of the master's qualification work, an estimate of the cost of installing microprocessor relay protection on the 10/110 kV substation was carried out.

Keywords: double short circuit, relay protection and automatics, short circuit,, electrical network, transmission line.



## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

КЗ	–	Коротке замикання
ЕЕС	–	Електроенергетична система
ЕМ	–	Електрична мережа
ЕРС	–	Електрорушійна сила
ЛЕП	–	Лінія електропередачі
ПЛЕП	–	Повітряна лінія електропередачі
ПС	–	Підстанція
ПУЕ	–	Правила улаштування електроустановок
РЗА	–	Релейний захист та автоматика
РП	–	Розподільчий пристрій
ТП	–	Трансформаторна підстанція
ТС	–	Трансформатор струму

## ВСТУП

**Актуальність теми.** У трифазних електричних мережах можливі пошкодження електрообладнання і складні режими роботи. Причини виходу з ладу електрообладнання можуть бути різними, серед них пошкодження ізоляції, розрив проводів та кабелів, помилки персоналу при перемиканнях, що призводять до короткого замикання фаз між собою або на "землю".

При короткому замиканні в замкнутому контурі з'являється великий струм, збільшується падіння напруги на елементах обладнання, це призводить до загального падіння напруги в усіх точках мережі і порушення роботи споживачів. Складні режими роботи електричних мереж виникають, як правило, в результаті аварій або післяаварійних відключень обладнання, при перевантаженнях і відхиленнях напруги від номінальних значень. І хоча ці режими впродовж деякого часу вважаються допустимими, вони створюють передумови для різного роду пошкоджень електрообладнання та проблеми в роботі електромереж.

Для забезпечення нормальних умов роботи електричних мереж і попередження розвитку аварій необхідно швидко реагувати на зміну режиму роботи електричної мережі, миттєво відключити пошкоджене обладнання від справного і при необхідності включити резервне джерело живлення споживачів. Ці функції і виконують пристрої релейного захисту і автоматики.

Проте бувають такі складні пошкодження за яких пристрої релейного захисту спрацьовують не вірно або взагалі не спрацьовують. Згідно з інформацією [1] наданої персоналом служби релейного захисту був випадок, коли при короткому замиканні на шинах 10 кВ підстанції на одній фазі та короткому замиканні на фідері 10 кВ іншої фази, що рівносильно двофазному короткому замиканні (фази замкнулись через землю), а захист фідера не спрацював. Це призвело до пошкодження обладнання розподільних електричних мереж.

Отже, актуальною задачею є задача дослідження струмів та напруг при

двох одночасних замкненнях в ЛЕП, що дозволить надалі використати отримані результати для налаштування пристроїв релейного захисту та автоматики .

Отже, **мета роботи** полягає у дослідженні методів розрахунку струмів та напруг при двох одночасних коротких замиканнях.

Для досягнення мети магістерської кваліфікаційної роботи поставлені та розв'язані наступні наукові задачі досліджень:

- виконати аналіз вітчизняних та іноземних джерел в питанні причин пошкодження обладнання електричних мереж 10-110 кВ;
- дослідити процеси в електричних мережах 10-110 кВ під час подвійних замкнень;
- проаналізувати метод симетричних складових для визначання струмів і напруг при двох одночасних КЗ;
- виконати розрахунок параметрів режиму при подвійному замиканні;
- виконати кошторисний розрахунок вартості встановлення мікропроцесорного релейного захисту на ПС 10/110 кВ;
- дослідити заходи з безпечної експлуатації пристроїв релейного захисту та забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях.

**Предметом дослідження** є подвійні короткі замикання в мережах 10-110 кВ.

**Об'єктом дослідження** є струми та напруги, що протікають в електричних мережах під час подвійних замиканнях.

**Методи дослідження** Для аналізу х замикань використовувались методи теоретичних основ електротехніки; для розрахунку уставок релейних захистів використовувались методи теорій релейного захисту.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

- отримав подальший розвиток метод розрахунку параметрів режиму під час двох одночасних коротких замиканнях в мережі.

**Практичне значення одержаних результатів** в роботі полягає в наведеному прикладі розрахунку параметрів режиму для різних випадків

подвійних замкнень в мережі, а також виконано кошторисний розрахунок встановлення мікропроцесорного релейного захисту на підстанції 10/110 кВ.

**Особистий внесок здобувача.** Усі результати, які складають основний зміст магістерської роботи, отримані автором самостійно.

## 1 АНАЛІЗ ПОШКОДЖЕНЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ 10-110 кВ

### 1.1 Режими електричних мереж 10-110 кВ

Електроенергетична система (ЕЕС) – це сукупність електростанцій, електричних та теплових мереж, поєднаних між собою і пов'язаних режимом в безперервному процесі виробництва, перетворення, передачі та розподілу електричної та теплової енергії.

Режимом системи називається її стан, що визначається параметрами в будь-який момент часу або на певному інтервалі часу.

Режим визначається показниками, які називаються параметрами режиму, до них відносять:

- частоту;
- напругу в різних точках мережі;
- активну та реактивну потужність в елементах системи;
- величини струмів;
- величини кутів розходження векторів ЕРС та напруг та ін.

Розрізняють наступні режими роботи електричної мережі (ЕМ): нормальний, аварійний та післяаварійний.

За нормального режиму роботи ЕМ, параметри режиму, знаходяться в нормованих межах, тобто це стан системи, за якого забезпечується економічне та надійне електропостачання споживачів без перевантаження основних елементів ЕЕС.

Післяаварійний режим настає після аварійного відключення елемента, частини елементів або частини схеми. В цьому режимі система може працювати з погіршеними техніко-економічними характеристиками.

Аварійний режим характеризується різкою зміною параметрів внаслідок аварійної зміни в схемі живлячої системи.

До аварійних режимів відносять [2]:

- міжфазні замикання (трифазні та двофазні);

- міжфазні замикання на землю;
- однофазні замикання на землю в мережах з глухозаземленою нейтраллю;
- подвійні замикання на землю (замикання неоднойменних іаз на різних фідерах одного класу напруги).

До аномальних режимів відносять однофазні замикання на землю в мережах на клас напруг 6-10-35 кВ в мережах з ізольованою нейтраллю.

Відомо, що під час однофазних замикань на землю струми замкнень в фазах залежать від ємнісних струмів фаз на землю, тому релейні захисти, які реагують на зростання струмів несиметрії, а саме струми нульової послідовності, які також змінюються під час однофазних замикань, не завжди спрацьовують або працюють помилково. Те саме стосується захистів від подвійних замикань на землю в мережах з ізольованою нейтраллю.

Отже мета та задачі магістерської кваліфікаційної роботи є актуальними.

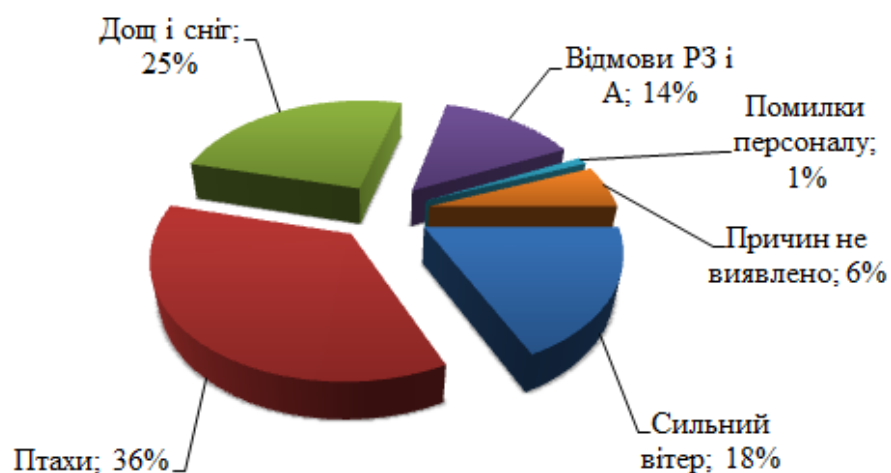
## **1.2 Аналіз причин пошкоджуваності обладнання мереж 10-110 кВ**

### **1.2.1 Пошкоджуваність повітряних ліній електропередачі 10-110 кВ**

Основною задачею електроенергетики є живлення споживачів електроенергією високої якості в необхідній кількості. Навіть при якісному проектуванні, будівництві та експлуатації ПЛЕП виникає ряд випадкових процесів, які стають причиною перерв в електропостачанні споживачів або зниженні якості електроенергії. Під непередбачуваними випадковими процесами розуміють не тільки технологічні порушення, а також природні фактори, такі як сильний вітер, дощ, різкі коливання температури навколишнього середовища.

Так аналіз іноземних джерел свідчить про те, що кількість відмов ПЛЕП набагато вище нормативного значення. Це пов'язано з тим, що елементи ПЛЕП

експлуатуються більше 35-40 років [3]. Основні причини відмов та їх представлені на діаграмах рис. 1.1.



а)



б)

Рисунок 1.1 – Причини відмов ПЛЕП 35-110 кВ:

а) лінії електропередачі 110 кВ, б) лінії електропередачі 35 кВ

Відповідно до [3] основною причиною, що викликає різке збільшення пошкоджуваності високовольтних ліній, є старіння матеріалу конструкції опор, проводів, арматур і ізоляторів. Лінії електропередачі піддаються старінню й зношуванню від корозії. По кількості відмов на першому місці стоять проводи

(52% з урахуванням грозових перенапруг і 37% без їх врахування), на другому місці ізолятори (відповідно 31% і 23%), на третьому місці опори (13% і 9%), на четвертому – арматура (4% і 3%). Грозові перенапруги становлять 28%. 3. По вазі відмов, що приводять до серйозних наслідків для ліній електропередачі (більші витрати на відновлення й недовідпуску електроенергії) на першому місці стоять опори, потім провода, арматура, ізоляція [3].

Окрім того, мають місце пошкодження та відмови масляних вимикачів ( майже 60 % від всіх несправностей електрообладнання розподільних підстанцій), відмови роз'єднувачів, відокремлювачів та короткозамикачів, пошкодження опорно-стрижневих ізоляторів та ін. В табл. 1.1 показані основні причини пошкодження обладнання РП.

Таблиця 1.1 – Число пошкоджень і відмов роз'єднувачів, відокремлювачів, короткозамикачів (100 апаратів на рік)

Причина пошкодження	Роз'єднувач	Відокремлювач	Короткозамикач	Роз'єднувач	Відокремлювач	Короткозамикач
	Напруга 35 кВ			Напруга 110 кВ		
1	2	3	4	5	6	7
Перекриття опорних ізоляторів	0,8	0,8	0,3	0,8	0,05	0,01
Пошкодження опорних ізоляторів	0,7	1	1	0,25	0,4	0,2
Пошкодження контактів	0,15	0,1	-	0,1	-	-
Дефект приводу	0,05	0,2	0,2	0,02	0,1	0,1
Дефекти пружинних та передаточних механізмів, обмерзання механізмів та контактів	-	0,3	0,05	-	0,1	0,02



продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7
Пошкодження ізоляційних вставок	-	-	-	-	-	0,07
Інші	0,1	0,2	0,2	0,1	0,15	0,12
Разом відмов	1,8	2,6	1,75	0,45	0,8	0,52
Зокрема з пошкодженням обладнання	1,7	2,2	1,6	0,4	0,6	0,4

### 1.2.2 Дослідження пошкоджуваності трансформаторних підстанцій та розподільних пунктів

Частка відмов електрообладнання ТП і РП становить всього 8,25 % від загальної кількості відмов. Ці відмови спричиняють великі матеріальні витрати (на ремонт та заміну пошкодженого обладнання), збитків, викликаних перервою в електропостачанні. Спрацьовування запобіжників призводять до відключення трансформаторів та до знеструмлення споживачів. Часто важко з'ясувати причину перегорання плавкої вставки запобіжника (наприклад, під час нестійкого короткого замикання або самоусувного короткого замикання) [4].

Одним із вартісних елементів електрообладнання ТП є силовий трансформатор. Основні причини пошкодження силових трансформаторів – це пошкодження шпильок, перемикачів (ПБЗ), обмоток. Більшість відмов в роботі трансформаторів викликана пошкодженням контактних з'єднань, які виникають через порушення цілісності та щільності контакту. Це призводить до перегорання шини, наконечника кабелю, шпильок трансформатора, високовольтних введів [4]. Приклади таких пошкоджень показані на рис. 1.2

Результати аналізу пошкоджень трансформаторних підстанції 10/0,4 кВ на досліджуваному РЕМ наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Причини пошкоджень ТП і РП напругою 10/0,4 кВ

Причина пошкодження	Кількість пошкоджень, од.	Відношення до загальної кількості пошкоджень, %
Перекриття рубильника	2	11,12
Перегорання високовольтних запобіжників	7	22,22
Пробій прохідних ізоляторів	1	0
Потрапляння води на обладнання	3	0
Пошкодження контактних з'єднань на шпильках трансформатора	3	11,12
Замикання в обмотках трансформатора	2	11,12
Інші причини	4	44,42



а)



б)

Рисунок 1.2 – Пошкодження вимірювальних трансформаторів напруги

### 1.3 Дослідження методів розрахунку процесів в електричних мережах під час пошкоджень

Сучасна електроенергетична система характеризується великою складністю як системоутворюючих, так і розподільчих мереж. При управлінні функціонуванням мереж необхідно знати такі параметри ustalених режимів електричних мереж як струми і потоки потужностей, напруги у вузлах мережі, втрати потужності в елементах електричних мереж. Розрахунки параметрів ustalених режимів зазвичай виконуються автоматично з допомогою ЕОМ, однак найчастіше для інженерної оцінки параметрів режиму потрібні і ручні розрахунки.

Розрахунок параметрів складнозамкнених мереж виконується на основі наступних основних методів [5].

Метод перетворення – призначений для еквівалентування (спрощення) мережі, зведення мережі до одноконтурної або розімкненої. Параметри спрощеної мережі розраховуються з використанням відомих методів, а потім необхідно виконати зворотне перетворення мережі до початкового стану. При використанні методу перетворення застосовуються прийоми розносу навантажень по кінцях ділянки мережі, об'єднання кінцевих джерел живлення і навантажень, перетворення пасивних частин схем електричної мережі. Метод перетворення повинен застосовуватися з дотриманням умови незмінності параметрів ustalеного режиму мережі, зовнішньої по відношенню до частини, що перетворюється. Крім того, при використанні прийомів перетворення необхідно обумовлювати заздалегідь всі прийняті припущення.

Метод контурних струмів – призначений для розрахунку струмів (перетоків без врахування втрат) в вітках схеми. Суть методу полягає в складанні та вирішенні системи контурних рівнянь і визначенні на їх основі параметрів режиму. Система контурних рівнянь може бути записана у формі

струмів або потужностей. Число незалежних контурних рівнянь відповідає числу незалежних контурів схеми. Складання контурних рівнянь базується на використанні I і II законів Кірхгофа.

Метод рівнянь вузлових напруг – дозволяє точно визначити напруги в вузлах схеми при заданих струмах навантаження. Суть методу полягає в складанні та вирішенні системи рівнянь вузлових напруг і визначенні на їх основі параметрів усталених режимів електричних мереж. Число незалежних комплексних рівнянь вузлових напруг дорівнює числу вузлів мережі без балансуєчого вузла ( $n-1$ ).

Метод коефіцієнтів розподілу – використовується для багаторазових розрахунків поточкорозподілу (поточкорозподілу без втрат) для одної мережі. Цей метод призначений для розрахунку усталеного режиму електричних мереж, в яких справедливий принцип накладення. Метод передбачає попереднє визначення коефіцієнтів розподілу мережі, які змінюються при зміні схеми заміщення мережі або її параметрів, і тому ефективний при численних розрахунках усталеного режиму мережі з незмінною схемою заміщення і змінним навантаженнями вузлів. Метод базується на використанні принципу накладення і тому при розрахунку реальних електричних мереж вимагає попереднього врахування шунтів схеми заміщення у вигляді додаткових навантажень у вузлах.

Метод розрізання контурів. Метод призначений для розрахунків параметрів усталених режимів складнозамкнених електричних мереж. Суть методу полягає в приведенні складнозамкненої мережі до вигляду розімкненої та розрахунку параметрів розімкнутої мережі. Простота алгоритму розрахунку розімкнутої мережі дозволяє використовувати метод розрізання контурів для розрахунків вручну параметрів режиму мереж невеликого обсягу та з допомогою ЕОМ мереж великої складності.

## Висновки до першого розділу

Аналіз вітчизняних та іноземних літературних джерел свідчить про, те що в мережах 10-110 кВ, експлуатується обладнання, що вичерпало свій ресурс. Кількість аварій та пошкоджень обладнання зростає. Найчастіше виходять з ладу повітряні лінії електропередачі. Відмови в роботі пристроїв релейного захисту та автоматики становлять майже 20 % пошкоджень ЛЕП .

Відомо, що під час однофазних замикань на землю струми замкнень в фазах залежать від ємнісних струмів фаз на землю, тому Під час подвійних замикань на землю в мережах з ізольованою нейтраллю релейні захисти, які реагують на зростання струмів несиметрії, а саме струми нульової послідовності, не завжди спрацьовують або працюють помилково.

Отже дослідження струмів на напруг під час двох одночасних КЗ є актуальною задачею.

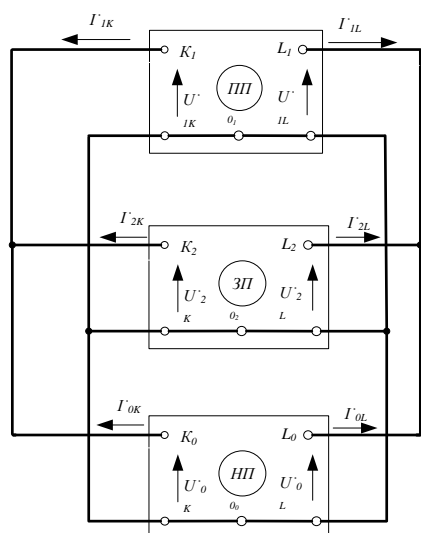
## **2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 10-110 кВ ПІД ЧАС ПОДВІЙНИХ ЗАМКНЕНЬ**

Існують різні системи складових, які можуть бути використані для спрощення розрахунків електричних величин при наявності однієї або кількох несиметрій і трифазній системі з нелінійними елементами. Симетричні складові дозволяють представити несиметричний режим в симетричних трифазних мережах як статичних, так і з обертовими машинами за допомогою схем окремих послідовностей, пов'язаних лише в місцях несиметрій.

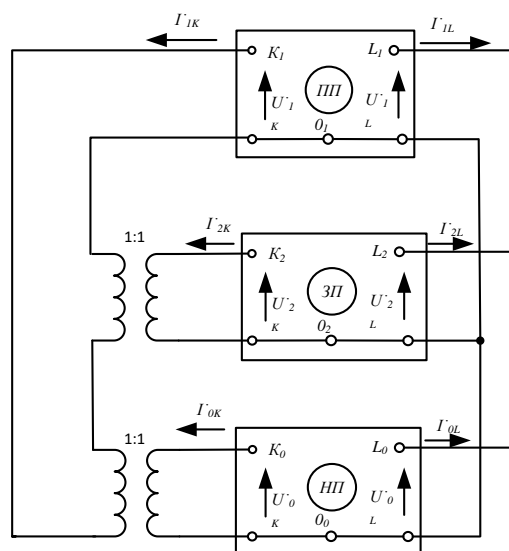
### **2.1 Метод комплексних схем заміщення для визначення струмів та напруг при двох одночасних пошкодженнях**

Комплексні схеми заміщення з електричними зв'язками для двох одночасних несиметрій в загальному випадку не можуть бути складені, оскільки при об'єднанні схем окремих послідовностей по обох місцях несиметрії можуть виникнути додаткові зв'язки з відповідним порушенням правильного струморозподілу у вказаних схемах. Такі схеми можуть бути отримані лише для деяких окремих випадків, наприклад при одночасному замиканні на землю однакових фаз (наприклад, В і С) в мережах з великим струмом замикання на землю (рис. 2.1, а).

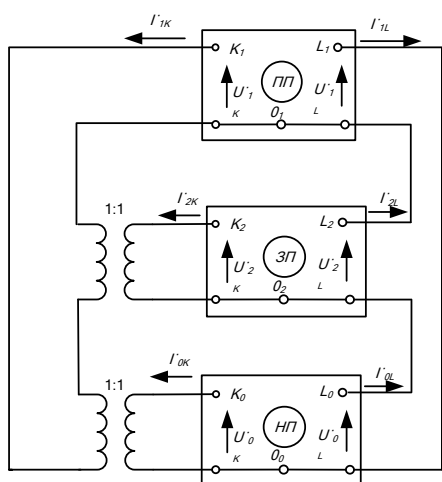
Комплексна схема заміщення при одночасних двох несиметриях може бути складена, якщо електричне з'єднання між схемами окремих послідовностей є тільки в одному місці несиметрії відповідно до граничних умов, а у іншому місці виконано з'єднання за допомогою проміжних трансформаторів. Такий метод розрахунку доцільно використовувати при використанні розрахункової моделі змінного струму. На рис. 2.1, б-г показані комплексні схеми заміщення для ряду випадків двох одночасних пошкоджень в точках К і  $L^*$ , що характеризуються фазою А.



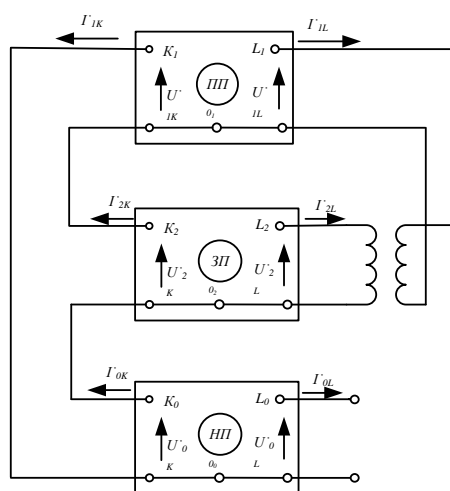
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2.1 – Комплексні схеми заміщення для випадків к.з в мережах з великим струмом замикання на землю: а) замикання на землю фаз В і С в точках К і L; б) замикання на землю фази А в точці К при замиканні в точці L на землю фаз В і С, в) – на землю фази А; г) – між фазами В і С.

Ідеальні проміжні трансформатори з коефіцієнтом трансформації 1 : 1 призначені для роз'єднання входів чотирьох полюсів для окремих послідовностей; при цьому забезпечується рівність струмів, що протікають в з'єднаннях до затискачів  $K_i$  і  $O_i$ ; а також  $L_i$  і  $O_i$  ( $i=1, 2, 0$ ).

Комплексні схеми заміщення на рис. 2.2, а-б можуть використовуватися для розрахунку складних пошкоджень в мережах з малим струмом замикання на землю. При цьому схема нульової послідовності є двополюсником із затискачами  $K_0$  і  $L_0$  і має опір  $Z_0$ . Відповідні комплексні схеми приведені на рис. 2.2, в яких враховується,  $I_{0K} = -I_{0L}$ .

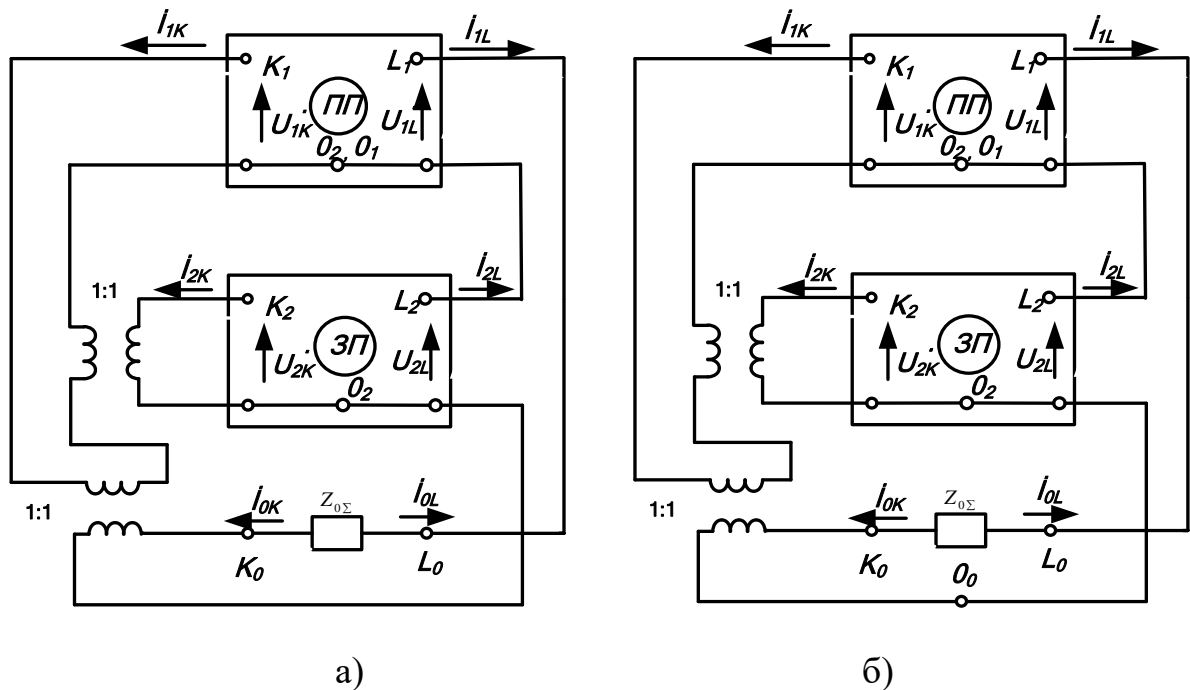


Рисунок 2.2 – Комплексні схеми заміщення для випадків к.з в мережі з малим струмом замикання на землю: а) при замиканні на землю фаз В і С в точці L; б) – замикання на землю фази А в точках К і L.

При неоднакових фазах, якщо одне місце несиметрії характеризується особливою фазою А, для забезпечення граничних умов, в другому місці несиметрії, що має особливу фазу В або С, відповідно до [6], необхідно використовувати ідеальні проміжні трансформатори, що мають можливість зсуву фаз двосторонньої дії, яка забезпечує поворот струму і напруги або / на  $+120^\circ$ , або / на  $-120^\circ$ .



У комплексній схемі заміщення (рис. 2.3) для випадку замикань на землю фази А в точці К і фази В в точці L для задоволення граничних умов (2.1 – 2.2) використовується ідеальний трансформатор:

$$\dot{U}_{1L} + a^2 \dot{U}_{2L} + a \dot{U}_{0L} = 0 \quad (2.1)$$

$$\dot{I}_{1L} = a^2 \dot{I}_{2L} = a \dot{I}_{0L} . \quad (2.2)$$

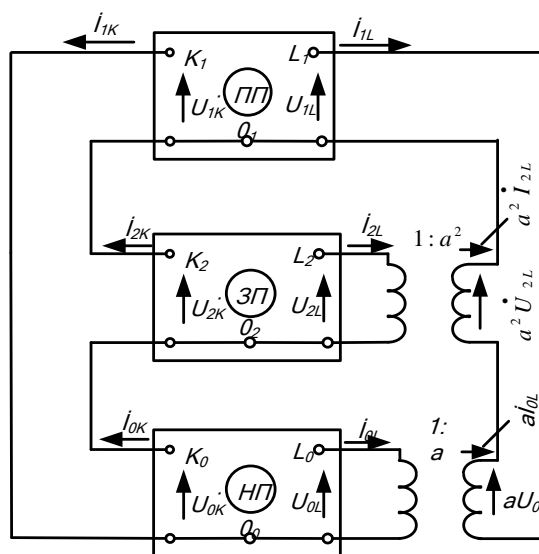


Рисунок 2.3 – Комплексна схема заміщення для випадку замикання на землю фази А в точці К і фази В в точці L

Ідеальний трансформуючий пристрій, приєднаний до входу  $L_2 - O_2$  схеми зворотної послідовності, повинен забезпечувати поворот струму  $\dot{I}_{2L}$  і напруги  $\dot{U}_{2L}$  на  $-120^\circ$ . Аналогічний пристрій, приєднаний до схеми нульової послідовності, повинен повертати  $\dot{I}_{0L}$  і  $\dot{U}_{2L}$  на  $+120^\circ$ . Слід зазначити, що до останнього часу розробка ефективних конструкцій вказаних пристроїв, що забезпечують поворот фаз, зустрічає ускладнення. При цьому перспективним для розрахунків складних пошкоджень на моделях змінного, а також постійного струму є застосування аналогової техніки для математичного моделювання граничних умов [7].

## 2.2 Застосування розширених схем прямої послідовності для розрахунку параметрів двох одночасних коротких замикань

Для розрахунку двох одночасних несиметричних к. з. може бути використана схема прямої послідовності, доповнена в місцях пошкоджень еквівалентною схемою, що складається з опорів зворотної і нульової послідовностей. За допомогою таких схем прямої послідовності, які називаються розширеними схемами прямої послідовності, струми і напруги прямої послідовності можуть бути визначені, як при трифазному к. з.

Для отримання еквівалентної схеми необхідно скласти так звані особливі (невласні) рівняння зв'язку (2.3) між струмами і напругами прямої послідовності в місцях несиметрій через параметри схем зворотної і нульової послідовностей:

$$\begin{cases} \dot{U}_{1k} = S_{kk}\dot{I}_{1k} + S_{1k}\dot{I}_{1L} \\ \dot{U}_{1L} = S_{Lk}\dot{I}_{1k} + S_{LL}\dot{I}_{1L} \end{cases} \quad (2.3)$$

Ці рівняння є рівняннями чотирьохполюсника. Коефіцієнти  $S_{KK}$  і  $S_{LL}$ , представляють собою власні, а  $S_{KL}$  і  $S_{LL}$  - взаємні опори чотирьохполюсника. При двох одночасних ушкодженнях, що характеризуються однією і тією ж особливою фазою А, в (2.4)

$$S_{KL} = S_{LK} = S_M \quad (2.4)$$

Схема заміщення, що відповідає цим рівнянням, може бути представлена у вигляді зірки {рис. 2.4, а). Приєднання її до схеми прямої послідовності в точках  $K_1$  і  $L_1$  виключає з останньої напруги в місцях пошкоджень  $U_{1K}$  і  $U_{1L}$  (рис. 2.4, а).

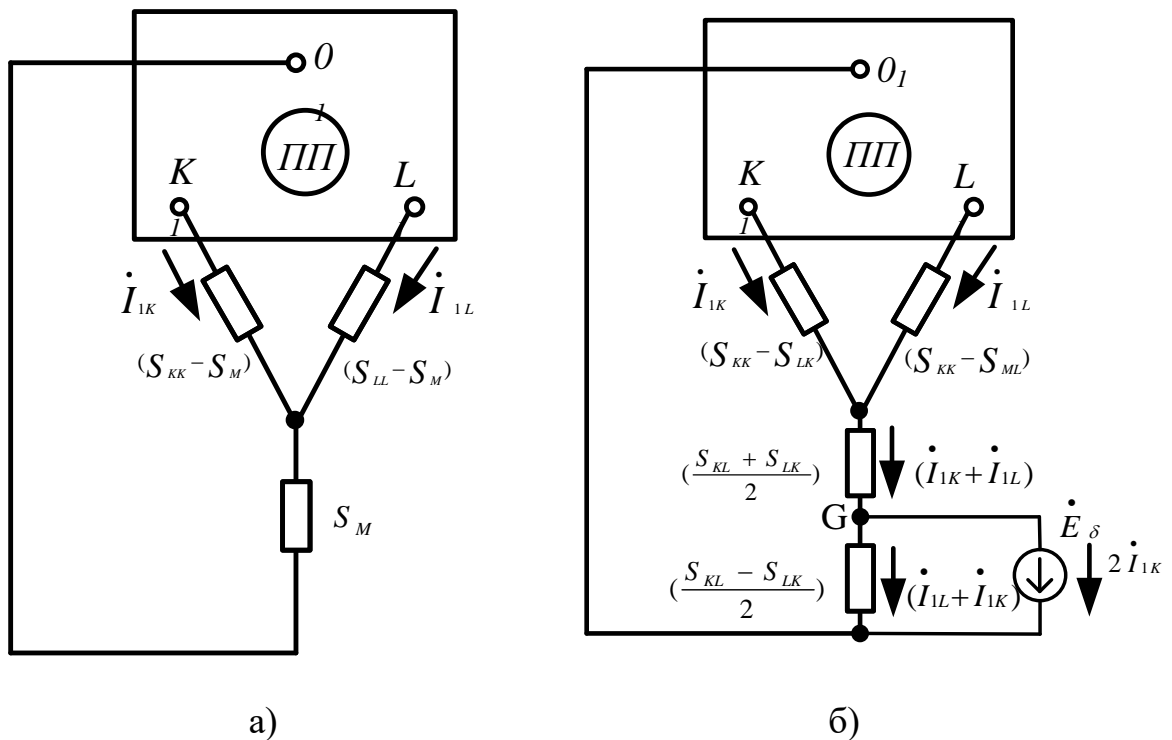


Рисунок 2.4 – Розширені схеми прямої послідовності при двох одночасних пошкодженнях: а) з однією і тією ж особливою фазою; б) з різними особливими фазами (б).

При двох одночасних пошкодженнях, що характеризуються різними особливими фазами, в (2.3)  $S_{KL} \neq S_{LK}$ . Для цього випадку може бути отримана схема заміщення показана на рис. 2.4, б [6]. У ній діє додаткове джерело із струмом  $2\dot{i}_{1K}$ . Замість джерела струму може бути прикладена ЕРС, значення і фаза якої мають бути вибрані так, щоб струм, що протікає по опору  $\frac{S_{KL} - S_{LK}}{2}$  був рівний  $\dot{i}_{1L} - \dot{i}_{1K}$ . Така схема може бути реалізована на моделі змінного струму шляхом регулювання ЕРС, так, щоб забезпечити потрібний розподіл струмів між точками G і  $O_1$ .

На підставі обчислених за схемами на рис. 2.4, а і б струмів і напруг прямої послідовності, враховуючи граничні умови для місць пошкоджень, визначаються струми і напруги інших послідовностей.

Коефіцієнти рівнянь (2.3), необхідні для розрахунку за допомогою розширених схем по рис. 2.4, дані в таблиці. 2.1 для різних видів к.з. у мережах

з великим струмом замикання на землю [8]. Ці коефіцієнти виражені через опори еквівалентних схем зворотної і нульової послідовностей по рис. 2.5.

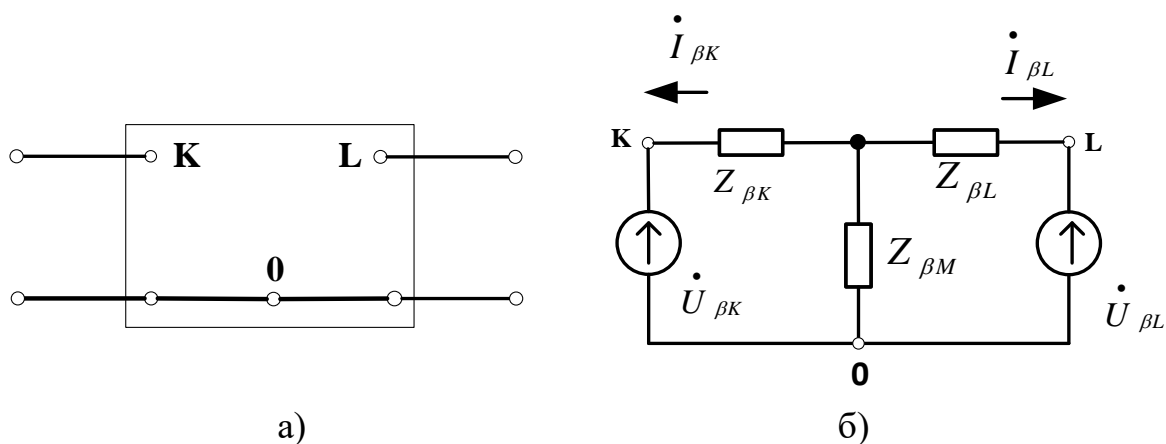


Рисунок 2.5 – Схема для зворотної і нульової послідовностей при к.з. у точках К і L: а) початкова схема; б) еквівалентна схема.

При цьому враховується, що

$$Z_{\beta KK} = Z_{\beta M} + Z_{\beta K} \quad (2.5)$$

$$Z_{\beta LL} = Z_{\beta M} + Z_{\beta L} \quad (\beta = 2,0) \quad (2.6)$$

В табл. 2.2 дані коефіцієнти рівнянь для мереж з малим струмом замикання на землю для тих випадків, коли ці коефіцієнти відмінні від приведених в таблиці 2.1; співвідношення, приведені в таблицю. 2.2, отримані із співвідношень таблиці. 2.1 при  $Z_{0M} = \infty$ .

Слід зазначити, що при замиканнях на землю однієї фази одночасно в двох точках мережі з малим струмом замикання на землю власні і взаємні опори нульової послідовності дорівнюють нескінченності (оскільки в еквівалентній схемі на рис. 2.5 опір  $Z_{0M}$ ).

Таблиця 2.1 – Коефіцієнти рівнянь прямої послідовності при різних видах к.з. в точках К та L в мережах з великим струмом замикання на землю

№	Вид к.з в точці		$S_{KK}$	$S_{KL}$	$S_{LK}$	$S_{LL}$
	К	L				
1	2	3	4	5	6	7
1	Замикання на землю фази А	Замикання на землю фази В	$Z_{2KK} + Z_{0KK}$	$aZ_{2M} + a^2Z_{0M}$	$a^2Z_{2M} + aZ_{0M}$	$Z_{2LL} + Z_{0LL}$
2	Замикання на землю фази А	Замикання на землю фаз А і В	$\frac{Z_{2KK} + Z_{0KK}}{L}$ $-\frac{Z_{2LL} + Z_{0LL}}{L}$	$-\frac{aZ_{2LL} + a^2Z_{0LL}Z_{2M}}{Z_{2LL} + Z_{0LL}}$	$-\frac{a^2Z_{2LL} + aZ_{0LL}Z_{2M}}{Z_{2LL} + Z_{0LL}}$	$\frac{Z_{2LL} + Z_{0LL}}{Z_{2LL} + Z_{0LL}}$
3	Замикання на землю фази А	Замикання між фазами А і В	$Z_{2KK} + Z_{0KK}$	$-a^2Z_{2M}$	$-aZ_{2M}$	$Z_{2LL}$
4	Замикання на землю фаз В і С	Замикання на землю фази В	$\frac{Z_{2KK} + Z_{0KK}}{Z_{2KK} + Z_{0KK}}$	$-\frac{a^2Z_{2KK}Z_{0M} + aZ_{0KK}Z_{2M}}{Z_{2KK} + Z_{0KK}}$	$-\frac{aZ_{2KK}Z_{0M} + a^2Z_{0KK}Z_{2M}}{Z_{2KK} + Z_{0KK}}$	$\frac{Z_{2LL} + Z_{0LL}}{L}$ $-\frac{Z_{2KK} + Z_{0KK}}{L}$
5	Замикання на землю фаз В і С	Замикання на землю фаз А і В	$\frac{ Z_2 Z_{0KK} +  Z_0 Z_{2KK}}{P_{20}}$	$\frac{a Z_2 Z_{0KK} + a^2 Z_0 Z_{2KK}}{P_{20}}$	$\frac{a^2 Z_2 Z_{0KK} + a Z_0 Z_{2KK}}{P_{20}}$	$\frac{ Z_2 Z_{0LL} +  Z_0 Z_{2LL}}{P_{20}}$
6	Замикання на землю фаз В і С	Замикання між фазами А і В	$\frac{Z_{2KK} + Z_{0KK}}{Z_{2KK} + Z_{0KK}}$	$\frac{a^2Z_{2M} + Z_{0KK}}{Z_{2KK} + Z_{0KK}}$	$\frac{aZ_{2M} + Z_{0KK}}{Z_{2KK} + Z_{0KK}}$	$\frac{Z_{2LL}}{L}$ $-\frac{Z_{2KK} + Z_{0KK}}{L}$

продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7
7	Замикання між фазами В і С	Замикання між фазами А і В	$Z_{2KK}$	$a^2 Z_{2M}$	$a Z_{2M}$	$Z_{2LL}$

Таблиця 2.2 – Коефіцієнти рівнянь прямої послідовності при різних видах к.з. в точках К і L в мережі з малим струмом замикання на землю

№	Вид к.з в точці		$S_{KK}$	$S_{KL}$	$S_{LK}$	$S_{LL}$
	К	L				
1	Замикання на землю фази А	Замикання на землю фаз А і В	$Z_{2KK} + Z_{2L} + Z_{0\Sigma}$	$-(aZ_{2L} + Z_{2M})$	$-(a^2 Z_{2L} + Z_{2M})$	$Z_{2LL}$
2	Замикання на землю фази А	Замикання на землю фаз В і С	$Z_{2K} + Z_{2L} + 4Z_{2M} + Z_{0\Sigma}$	$-(Z_{2L} + 2Z_{2M})$	$S_{KL}$	$Z_{2LL}$
3	Замикання на землю фаз В і С	Замикання на землю фаз А і В	$\frac{ Z_2  + Z_{0\Sigma} Z_{2KK}}{Z_{2K} + Z_{2L} + 3Z_{2M} + Z_{0\Sigma}}$	$-\frac{a Z_2  + a^2 Z_{0\Sigma} Z_{2M}}{Z_{2K} + Z_{2L} + 3Z_{2M} + Z_{0\Sigma}}$	$-aZ_{2M}$	$Z_{2LL}$
4	Замикання на землю фаз В і С	Замикання на землю фаз В і С	$\frac{ Z_2  + Z_{0\Sigma} Z_{2KK}}{Z_{2K} + Z_{2L} + Z_{0\Sigma}}$	$\frac{ Z_2  + Z_{0\Sigma} Z_{2M}}{Z_{2K} + Z_{2L} + Z_{0\Sigma}}$	$S_{KL}$	$\frac{ Z_2  + Z_{0\Sigma} Z_{2LL}}{Z_{2K} + Z_{2L} + Z_{0\Sigma}}$

В табл. 2.1 значення  $|Z_2| = Z_{2KK}^2 \cdot Z_{2LL} - Z_{2M}^2$ ;  $|Z_0| = Z_{0KK}^2 \cdot Z_{0LL} - Z_{0M}^2$ ;  $L = (Z_{2M} - Z_{0M})^2$  (при замиканні в точці L фази А на землю, а також фаз В і С на землю);  $L = Z_{2M}^2 + Z_{2M}Z_{0M} + Z_{0M}^2$  (в інших випадках)  $P_{20} = (Z_{2KK} + Z_{0KK})(Z_{2LL} + Z_{0LL}) - (Z_{2M} + Z_{0M})^2$  (при замиканні на землю в точці L фаз В і С);  $P_{20} = (Z_{2KK} + Z_{0KK})(Z_{2LL} + Z_{0LL}) - (Z_{2M}^2 + Z_{2N}Z_{0M}Z_{0M}^2)$  (при замиканні на землю в точці L фаз А і В або А і С).

В табл. 2.2:  $|Z_2| = Z_{2KK}Z_{2LL} - Z_{2M}^2$ ;  $Z_{0\Sigma} = Z_{0K} + Z_{0L}$ .

### 2.3 Складання схем заміщення для несиметричних трифазних статичних елементів

На рис.2. 6,а показаний трифазний статичний елемент з неоднаковим власним і взаємним опором віток окремих фаз.

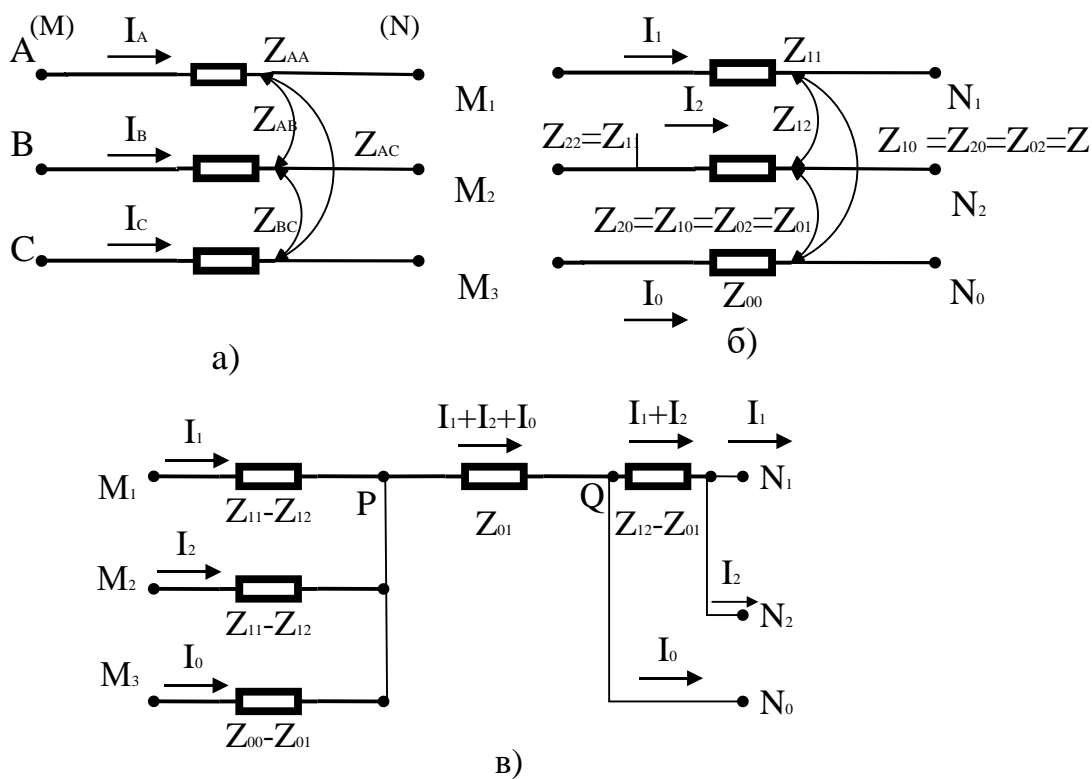


Рисунок 2.6 – Несиметричний трифазний статичний елемент (а) і його схема заміщення з фазою А при наявності електромагнітних зв'язків (б) і без них (в).

Фазні падіння напруг і струмів, що протікають у вказаному елементі, зв'язані співвідношенням,

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{U}_A \\ \Delta \dot{U}_B \\ \Delta \dot{U}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{MA} - \dot{U}_{NA} \\ \dot{U}_{MB} - \dot{U}_{NB} \\ \dot{U}_{MC} - \dot{U}_{NC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{AA} & Z_{AB} & Z_{AC} \\ Z_{AB} & Z_{BB} & Z_{BC} \\ Z_{AC} & Z_{BC} & Z_{CC} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_A \\ \dot{I}_B \\ \dot{I}_C \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

де опори з однаковими імпульсами являють собою власні опори, а з різними індексами – взаємні опори фаз.

Розкладемо фазові величини в (2.7) на симетричні складові. При цьому слід врахувати, що на відміну від симетричної системи, в якій симетричні складові струму викликають падіння напруги тієї ж послідовності, в даному випадку кожна симетрична складова струму викликає падіння напруги на всіх трьох послідовностях. У відповідності з цими рівняннями зв'язки між падіннями напруги  $\Delta U_i$  і струмами  $I_i$  ( $i=1,2,0$ ) у схемах окремих послідовностей мають вигляд:

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{U}_1 \\ \Delta \dot{U}_2 \\ \Delta \dot{U}_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{1M} - \dot{U}_{1N} \\ \dot{U}_{2M} - \dot{U}_{2N} \\ \dot{U}_{0M} - \dot{U}_{0N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{01} & Z_{02} & Z_{03} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dot{I}_0 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

В (2.8) величини  $\Delta \dot{U}$  і  $\dot{I}$  відносяться до фази А, прийнятої в якості основної. Опори  $Z_{ij}$  ( $i, j=1,2,0$ ) в (2.8) являють собою падіння напруг в  $i$ -й послідовності, обумовлені протіканням струму в  $j$ -й послідовності. Наприклад для визначення

$$Z_{11} = \frac{\Delta \dot{U}_1}{\dot{I}_1} \Big|_{\dot{I}_2 = \dot{I}_0 = 0}; Z_{21} = \frac{\Delta \dot{U}_2}{\dot{I}_1} \Big|_{\dot{I}_2 = \dot{I}_0 = 0}; Z_{01} = \frac{\Delta \dot{U}_0}{\dot{I}_1} \Big|_{\dot{I}_2 = \dot{I}_0 = 0}; \quad (2.9)$$



Передбачається, що в трифазній схемі протікають тільки складові струму прямої послідовності. При цьому на основі (1-2) необхідно враховувати протікання струмів [13,14]

$$i_A = i_1, i_B = a^2 i_1, i_C = a i_1$$

В результаті з (2.7) маємо

$$\Delta \dot{U}_{A1} \Big|_{i_2 = i_0 = 0} = (Z_{AA} + a^2 Z_{AB} + a Z_{AC}) i_1 \quad (2.10)$$

$$\Delta \dot{U}_{B1} \Big|_{i_2 = i_0 = 0} = (Z_{AB} + a^2 Z_{BB} + a Z_{BC}) i_1 \quad (2.11)$$

$$\Delta \dot{U}_{C1} \Big|_{i_2 = i_0 = 0} = (Z_{AC} + a^2 Z_{BC} + a Z_{CC}) i_1 \quad (2.12)$$

Підставивши (2.10-2.12), отримаємо для  $Z_{11}$ ,  $Z_{21}$ , і  $Z_{01}$ :

$$Z_{11} = \frac{1}{3} (Z_{AA} + Z_{BB} + Z_{CC}) - \frac{1}{3} (Z_{AB} + Z_{AC} + Z_{BC}) ; \quad (2.13)$$

$$Z_{21} = \frac{1}{3} (Z_{AA} + Z_{BB} + Z a^2 CC) + \frac{2}{3} (a^2 Z_{AB} + Z_{AC} + Z_{BC}) ; \quad (2.14)$$

$$Z_{01} = \frac{1}{3} (Z_{AA} + a^2 Z_{BB} + Z_{CC}) - \frac{1}{3} (a Z_{AB} + a^2 Z_{AC} + Z_{BC}) ; \quad (2.15)$$

Враховуючи в (2.7) протікання тільки струмів зворотної послідовності і тільки струмів нульової послідовності, аналогічно з (2.10-2.12) отримаєм вирази для визначення решти опорів (2.16-2.20):

$$Z_{22} = Z_{11} ; \quad (2.16)$$

$$Z_{20} = Z_{01}; \quad (2.17)$$

$$Z_{00} = \frac{1}{3}(Z_{AA} + Z_{BB} + Z_{CC}) + \frac{2}{3}(Z_{AB} + Z_{AC} + Z_{BC}) \quad (2.18)$$

$$Z_{12} = \frac{1}{3}(Z_{AA} + a^2 Z_{BB} + a Z_{CC}) + \frac{2}{3}(a Z_{AB} + a^2 Z_{AC} + Z_{BC}) \quad (2.19)$$

$$Z_{10} = \frac{1}{3}(Z_{AA} + a Z_{BB} + Z a^2 CC) - \frac{1}{3}(a^2 Z_{AB} + a Z_{AC} + Z_{BC}) \quad (2.20)$$

З (2.13-2.15) і (2.16-2.20) видно, що для розглядуваного випадку несиметричного статичного елемента

$$Z_{21} \neq Z_{12}; Z_{01} \neq Z_{10}; Z_{02} \neq Z_{20}$$

Тому матриця опорів в (2.8) не є симетричною відносно головної діагоналі. У зв'язку з цим рівняння (2.8) не можуть бути відображені електричною схемою, в якій елементи окремих послідовностей зв'язані опорами взаємоіндукції, оскільки співвідношення (2.13-2.15) і (2.16-2.20) не відповідають принципу взаємності.

Тільки при наявності фази А для несиметричного елемента (рис. 2.6,а), наприклад при  $Z_{BB}=Z_{CC}$  і  $Z_{AB}=Z_{AC}$ , є симетрія відносно головної діагоналі матриці опорів в (2.8), тобто задовольняється принцип взаємності з (2.13-2.15) і (2.16-2.20):

$$Z_{11} = Z_{22} = \frac{1}{3}(Z_{AA} + 2Z_{BB}) - \frac{1}{3}(2Z_{AB} + Z_{BC}); \quad (2.21)$$

$$Z_{00} = \frac{1}{3}(Z_{AA} + 2Z_{BB}) + \frac{2}{3}(2Z_{AB} + Z_{BC}); \quad (2.22)$$

$$Z_{12} = Z_{21} = \frac{1}{3}(Z_{AA} - 1Z_{BB}) + \frac{2}{3}(-Z_{AB} + Z_{BC}); \quad (2.23)$$

$$Z_{01} = Z_{10} = Z_{02} = Z_{20} = \frac{1}{3}(Z_{AA} + Z_{BB}) - \frac{1}{3}(-Z_{AB} + Z_{BC}); \quad (2.24)$$

В даному випадку зв'язок між схемами окремих послідовностей можна здійснити у відповідності з схемою на рис. 2.6,б, на основі якої можна скласти комплексну схему заміщення без електромагнітних зв'язків. Дійсно, з (2.9) при врахуванні (2.21-2.24) після відповідних перетворень отримаємо [9] наступні вирази (2.25-2.27):

$$\Delta \dot{U}_1 = (Z_{11} - Z_{13})\dot{I}_1 + (Z_{12} - 1Z_{01})(\dot{I}_1 + \dot{I}_2) + Z_{01}(\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0); \quad (2.25)$$

$$\Delta \dot{U}_2 = (Z_{11} - Z_{13})\dot{I}_2 + (Z_{12} - 1Z_{01})(\dot{I}_1 + \dot{I}_2) + Z_{01}(\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0); \quad (2.26)$$

$$\Delta \dot{U}_0 = (Z_{00} - Z_{01})\dot{I}_0 + Z_{01}(\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0); \quad (2.27)$$

Схема на рис. 2.6,в задовольняє ці співвідношення. Слід відмітити, що при наявності несиметрії в другій частині схеми об'єднання схем окремих послідовностей в співвідношенні зі схемою на рис. 2.6,в для розглянутого виду несиметрії забезпечує правильний струморозподіл лише при умові, що в другому місці несиметрії зв'язок між схемами окремих послідовностей здійснюється не безпосередньо, а через проміжні трансформатори.

При відсутності контуру для протікання струму нульової послідовності  $\dot{I}_0 = 0$  складові напруги  $Z_{10}\dot{I}_0$ ,  $Z_{20}\dot{I}_0$  і  $Z_{00}\dot{I}_0$  в (2.8) рівні нулю. У відповідності з цим в схемі на рис.2.6,в потрібно від'єднати вітки  $M_0P$  і  $N_0Q$  і враховувати що замість ділянок  $PQ$  і  $QR$  є одна ділянка з опором  $Z_{12}$ , по якому протікає сума струмів  $\dot{I}_1 + \dot{I}_2$ . Напряга нульової послідовності, що наводиться в схемі нульової послідовності, в співвідношенні з (2.8) рівний:

$$\Delta \dot{U}_0 = Z_{01}\dot{I}_1 + Z_{02}\dot{I}_2. \quad (2.28)$$

## Висновки до другого розділу

Для дослідження процесів в електричних мережах 10-110 кВ під час подвійних замкнень використовується метод комплексних схем заміщення для визначення струмів та напруг, проте його можна застосовувати лише для деяких окремих випадків, наприклад при одночасному замиканні на землю однакових фаз (наприклад, В і С) в мережах з великим струмом замикання на землю. Також застосовуються розширені схеми прямої послідовності для розрахунку параметрів двох одночасних коротких замикань, за допомогою яких, струми і напруги прямої послідовності можуть бути визначені, як при трифазному к. з.

## 3 ВИЗНАЧЕННЯ СТРУМІВ І НАПРУГ ПРИ ДВОХ ОДНОЧАСНИХ КОРОТКИХ ЗАМИКАННЯХ МЕТОДОМ СИМЕТРИЧНИХ СКЛАДОВИХ

### 3.1 Розрахункові вирази при заданих ЕРС генераторів

Розрахункові вирази для обчислення струмів і напруг при двох одночасних к.з. в мережах з великим і малим струмом замикання на землю можуть бути складені на основі заданих ЕРС генераторів, а також при використанні принципу накладання, за умови, що в якості вихідної приймається елементарна схема з двостороннім живленням з ЕРС генераторів  $E_I$   $E_{II}$  (рис. 3.1) та у вигляді зірки (рис. 3.2) при наявності ЕРС в окремих її вітках [10-12]. До вигляду схем на (рис.3.1) та (рис. 3.2) можуть бути приведені більш складні схеми при різних ЕРС генераторів.

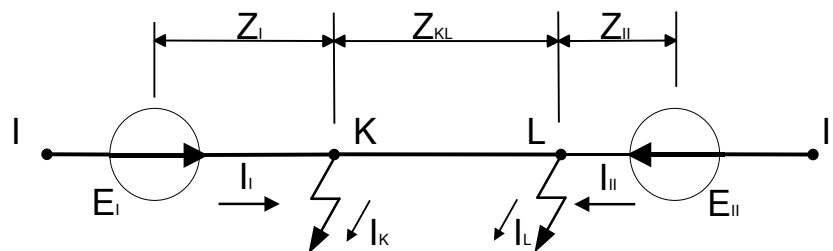


Рисунок 3.1 – Схема з двостороннім живленням при пошкодженнях в точках К та L

Зазначимо, що схема у вигляді трикутника з ЕРС  $E_a$ ,  $E_b$  і  $E_c$  (рис. 3.3) може бути загалом замінена схемою у вигляді зірки з ЕРС  $E_1$ ,  $E_2$  і  $E_3$  (рис. 3.4).

При цьому:

$$\dot{E}_3 - \dot{E}_2 = \frac{(Z_b + Z_c)\dot{E}_\sigma - (\dot{E}_b + \dot{E}_c)Z_c}{Z_a + Z_b + Z_c}, \quad (3.1)$$

$$\dot{E}_1 - \dot{E}_3 = \frac{(Z_c + Z_a)\dot{E}_b - (\dot{E}_c + \dot{E}_a)Z_b}{Z_a + Z_b + Z_c}, \quad (3.2)$$

$$\dot{E}_2 - \dot{E}_1 = \frac{(Z_a + Z_b)\dot{E}_c - (\dot{E}_a + \dot{E}_b)Z_c}{Z_a + Z_b + Z_c}, \quad (3.3)$$

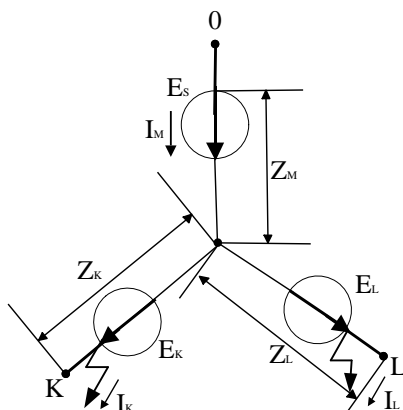


Рисунок 3.2 – Схема у вигляді зірки при пошкодженнях в точках К та L

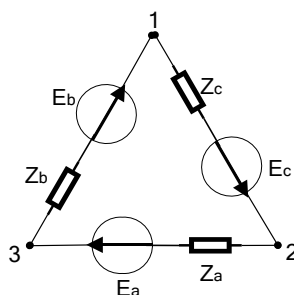


Рисунок 3.3 – Схема прямої послідовності в вигляді трикутника з ЕРС в його сторонах в загальному випадку

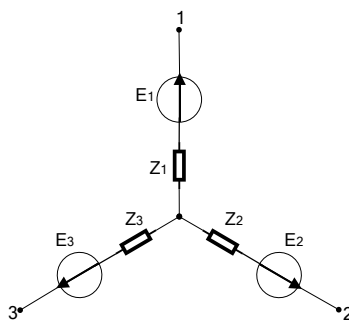


Рисунок 3.4 – Приведена схеми прямої послідовності рис.3.3 до зірки

Для переходу від схеми на рис.3.1 до зірки на рис. 3.2 потрібно в вирази (3.1)-(3.3) прийняти:

$$\begin{cases} \dot{E}_a = 0; \dot{E}_b = -\dot{E}_J; \dot{E}_c = \dot{E}_{JI}; \dot{E}_1 = -\dot{E}_S; \\ \dot{E}_a = \dot{E}_L; \dot{E}_3 = \dot{E}_K \\ Z_a = Z_{KL}; Z_b = Z_1; Z_c = Z_{II} \end{cases} \quad (3.4)$$

Вважаючи, що

$$\dot{E}_K = 0; \quad (3.5)$$

Отримаєм з (3.1) і (3.2) ЕРС  $E_S$  і  $E_L$  (рис. 3.2):

$$\dot{E}_S = \frac{(Z_{II}+Z_{KL})\dot{E}_1+Z_1\dot{E}_{II}}{Z_I+Z_{II}+Z_{KL}}. \quad (3.6)$$

$$\dot{E}_L = \frac{(\dot{E}_{II}-\dot{E}_I)Z_{KL}}{Z_I+Z_{II}+Z_{KL}}; \quad (3.7)$$

### 3.2 Замикання на землю фази В у точці К і фази С у точці L в мережі з великим струмом замикання на землю

На основі граничних умов та рис.3.5 маємо:

$$a^2 \dot{I}_{1K} = a \dot{I}_{2K} = \dot{I}_{0K}; \quad (3.8)$$

$$a \dot{I}_{1L} = a^2 \dot{I}_{2L} = \dot{I}_{0L}; \quad (3.9)$$

$$\begin{cases} \dot{I}_{1M} = a \dot{I}_{0K} + a^2 \dot{I}_{0L}; \dot{I}_{2M} = a^2 \dot{I}_{0K} + a \dot{I}_{0L}; \\ \dot{I}_{0M} = \dot{I}_{0K} + \dot{I}_{0L} \end{cases} \quad (3.10)$$

В (3.8)-(3.10) симетричні складові струмів відносяться до фази А, прийнятої за основну. Обходом контурів ONVO і ONWO схеми на рис. 3.5 отримаємо наступні вирази:

$$a^2 \dot{E}_{SA} + a^2 \dot{E}_{KA} = Z_{1M} \dot{I}_{1MB} + Z_{2M} \dot{I}_{2MB} + Z_{0M} \dot{I}_{0MB} + Z_{1K} \dot{I}_{1KB} + Z_{2K} \dot{I}_{2KB} + Z_{0K} \dot{I}_{0K}; \quad (3.11)$$

$$a \dot{E}_{SA} + a \dot{E}_{LA} = Z_{1M} \dot{I}_{1MC} + Z_{2M} \dot{I}_{2MC} + Z_{0M} \dot{I}_{0M} + Z_{1L} \dot{I}_{1LC} + Z_{2L} \dot{I}_{2LC} + Z_{0L} \dot{I}_{0L}. \quad (3.12)$$

$$a^2 (\dot{E}_{SA} + \dot{E}_{KA}) = Z_{KK\Sigma} \dot{I}_{0K} + a Z'_{M\Sigma} \dot{I}_{0L}; \quad (3.13)$$

$$a (\dot{E}_{SA} + \dot{E}_{LA}) = a^2 Z''_{M\Sigma} \dot{I}_{0K} + Z_{LL\Sigma} \dot{I}_{0L}; \quad (3.14)$$

В (3.13) та (3.14):

$$Z_{KK\Sigma} = Z_{1M} + Z_{2M} + Z_{0M} + Z_{1K} + Z_{2K} + Z_{0K}; \quad (3.15)$$

$$Z'_{M\Sigma} = Z_{1M} + Z_{2M} + a^2 Z_{0M}; \quad (3.16)$$

$$Z''_{M\Sigma} = Z_{1M} + a^2 Z_{2M} + a Z_{0M}; \quad (3.17)$$

$$Z''_{LL\Sigma} = Z_{1M} + Z_{2M} + Z_{0M} + Z_{1L} + Z_{2L} + Z_{0L}; \quad (3.18)$$

Спільне розв'язання (3.13) та (3.14) дає вираз (3.19):

$$\dot{I}_{0K} = \frac{(a^2 Z_{LL\Sigma} - a^2 Z'_{M\Sigma}) \dot{E}_{SA} + a^2 Z_{LL\Sigma} \dot{E}_{SA} - a^2 Z'_{M\Sigma} \dot{E}_{LA}}{Z_{KK\Sigma} Z_{LL\Sigma} + Z'_{M\Sigma} Z''_{M\Sigma}}; \quad (3.19)$$



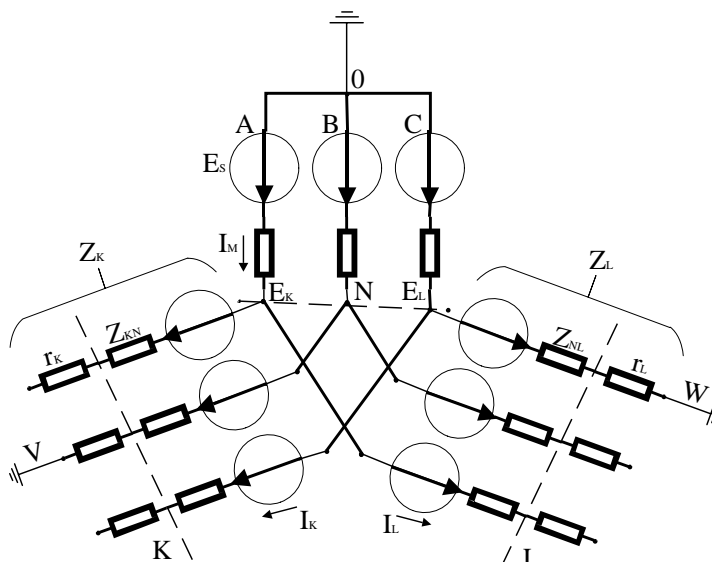


Рисунок 3.5 – Розрахункова схема з замиканням на землю фази В в точці К і фази С в точці L

$$\dot{i}_{0K} = \frac{(aZ_{KK\Sigma} - a^2Z''_{M\Sigma})\dot{E}_{SA} + aZ''_{M\Sigma}\dot{E}_{KA} - aZ_{KK\Sigma}\dot{E}_{LA}}{Z_{KK\Sigma}Z_{LL\Sigma} + Z'_{M\Sigma}Z''_{M\Sigma}}; \quad (3.20)$$

Якщо прийняти в схемі на рис. 3.5:  $E_K = E_L = 0$  і  $E_S = E_\Gamma$  (тобто ЕРС генераторів однакові), то (3.19) і (3.20) приймуть вигляд (3.21 – 3.22):

$$\dot{i}_{0K} = \frac{(a^2Z_{LL\Sigma} - a^2Z'_{M\Sigma})\dot{E}_{\Gamma A}}{Z_{KK\Sigma}Z_{LL\Sigma} + Z'_{M\Sigma}Z''_{M\Sigma}}; \quad (3.21)$$

$$\dot{i}_{0K} = \frac{(aZ_{KK\Sigma} - a^2Z''_{M\Sigma})\dot{E}_{\Gamma A}}{Z_{KK\Sigma}Z_{LL\Sigma} + Z'_{M\Sigma}Z''_{M\Sigma}}; \quad (3.22)$$

Виразимо струми по (3.21) і (3.22) через опір розрахункової схеми, з урахуванням (3.15)-(3.18) отримаємо:

$$\dot{i}_{0K} = \frac{[(a^2-1)Z_{2M} + (a^2-a)Z_{0M}] + a^2Z_{L\Sigma}\dot{E}_{\Gamma A}}{Z_{K\Sigma}Z_{L\Sigma} + Z'_{M\Sigma}(Z_{K\Sigma} + Z_{L\Sigma}) + 3(Z_{1M}Z_{2M} + Z_{1M}Z_{0M} + Z_{2M}Z_{0M})} \quad (3.23)$$

$$\dot{I}_{0K} = \frac{[(a^1-1)Z_{2M}+(a-a^2)Z_{0M}] + a Z_{K\Sigma} \dot{E}_{\Gamma A}}{Z_{K\Sigma}Z_{L\Sigma}+Z'_{M\Sigma} (Z_{K\Sigma} + Z_{L\Sigma}) + 3(Z_{1M}Z_{2M}+Z_{1M}Z_{0M}+Z_{2M}Z_{0M})} \quad (3.24)$$

В (3.23) та (3.24) прийняті позначення:

$$Z_{K\Sigma} = Z_{1K}+Z_{2K} + Z_{0K}; \quad Z_{L\Sigma} = Z_{1L}+Z_{2L} + Z_{0L}; \quad Z_{M\Sigma} = Z_{1M}+Z_{2M} + Z_{0M} \quad (3.25)$$

Для випадку коли опори прямої і зворотної послідовностей можуть бути прийняті рівними, розрахункові вирази значно спростяться. При цьому із (3.15)-(3.18) видно, що  $Z'_{M\Sigma}$  і  $Z''_{M\Sigma}$  значно менше  $Z_{KK\Sigma}$  і  $Z_{LL\Sigma}$ . Якщо знехтувати  $Z'_{M\Sigma}$  і  $Z''_{M\Sigma}$  з (3.21) і (3.22) отримаємо вирази (3.26) та (3.27):

$$\dot{I}_{0K} = a^2 \frac{\dot{E}_{\Gamma A}}{Z_{KK\Sigma}}; \quad (3.26)$$

$$\dot{I}_{0L} = a^2 \frac{\dot{E}_{\Gamma A}}{Z_{LL\Sigma}}; \quad (3.27)$$

У вказаному випадку при однакових кутах повних опорів  $Z_{KK\Sigma}$  і  $Z_{LL\Sigma}$  струми  $I_{0K}$  і  $I_{0L}$  зміщені на  $120^\circ$ . При цьому, як це впливає із (3.8) і (3.9) струми прямої послідовності в місцях пошкоджень, а отже і на окремих ділянках співпадають по фазі; струми зворотної послідовності зміщені на  $120^\circ$ .

Для схеми на рис.3.1 струми нульової послідовності в місцях пошкоджень можуть бути виражені через опори цієї схеми, якщо в (3.19) і (3.20) підставити величини які характеризують схему на рис.3.1 з урахуванням (3.5)-(3.7). При аналітичних розрахунках струми на окремих ділянках можуть бути знайдені розподілом струмів окремих послідовностей в місцях пошкоджень. При цьому доцільно знайти струми на окремих ділянках накладання двох систем: струму, отриманого розподілу струму замикання в точці К при відсутності замикання в точці L, і струму, отриманого розподілом струму замикання в точці L при відсутності замикання в К, якщо обмежитись визначенням суми струмів прямої

і зворотної послідовності, то при однакових опорах прямої і зворотної послідовностей розрахунки струмів на окремих ділянках значно спростяться. Це впливає з виразів (3.8)-(3.10):

$$\begin{cases} \dot{I}_{12KA} = \dot{I}_{1KA} + \dot{I}_{2KA} = -\dot{I}_{0K} \\ \dot{I}_{12KB} = \dot{I}_{1KB} + \dot{I}_{2KB} = 2\dot{I}_{0K} \\ \dot{I}_{12KC} = \dot{I}_{1KC} + \dot{I}_{2KC} = -\dot{I}_{0K} \end{cases} \quad (3.28)$$

$$\begin{cases} \dot{I}_{12LA} = \dot{I}_{1LA} + \dot{I}_{2LA} = -\dot{I}_{0L} \\ \dot{I}_{12LB} = \dot{I}_{1LB} + \dot{I}_{2LB} = -\dot{I}_{0L} \\ \dot{I}_{12LC} = \dot{I}_{1LC} + \dot{I}_{2LC} = 2\dot{I}_{0L} \end{cases} \quad (3.29)$$

Із (3.28) та (3.29) видно, що в місцях пошкоджень сумарні струми прямої і зворотної послідовностей співпадають по напрямку або зміщенні на  $180^\circ$  один до одного і до струмів нульової послідовності. У відповідності з цим, якщо визначати сумарні струми прямої і зворотної послідовностей окремих ділянок накладанням двох складових, а саме розподілом струмів, припадаючих до точки К при відсутності замикання в L, і струмів припадаючих до точки L при відсутності замикання в K, то для цих складових збережуться співвідношення (3.28) і (3.29), тобто із розрахунку зникнуть розрахунки з комплексними величинами.

### **3.3 Замикання на землю фази В у точці К і фази С у точці L в мережі з малим струмом замикання на землю**

Для випадку замикання на землю фази В у точці К і фази С у точці L в мережі з малим струмом замикання на землю використовується розрахункова схема показана на рис.3.5 при неврахуванні заземлення в точці О. Для струмів в місцях пошкоджень вирази (2-8) і (2-9) правильні з тією відмінністю, що в схемі на рис.3.5

$$\dot{I}_{KB} = -\dot{I}_{LC} \quad (3.30)$$

А отже,

$$a^2 \dot{I}_{1K} = a \dot{I}_{2K} = \dot{I}_{0K} = -a \dot{I}_{1L} = -a^2 \dot{I}_{2L} = -\dot{I}_{0L} \quad (3.31)$$

З 3.31 видно, що симетричні складові струмів в місцях пошкоджень К і L не незалежні. Для струмів, що проходять по ділянці ON (рис.3.5), маємо (3.32-3.34):

$$\dot{I}_{1M} = \dot{I}_{1K} + \dot{I}_{1L} = (a^2 - a)\dot{I}_{0K}; \quad (3.32)$$

$$\dot{I}_{2M} = \dot{I}_{2K} + \dot{I}_{2L} = (a^2 - a)\dot{I}_{0K}; \quad (3.33)$$

$$\dot{I}_{0M} = \dot{I}_{0K} + \dot{I}_{0L} = 0 \quad (3.34)$$

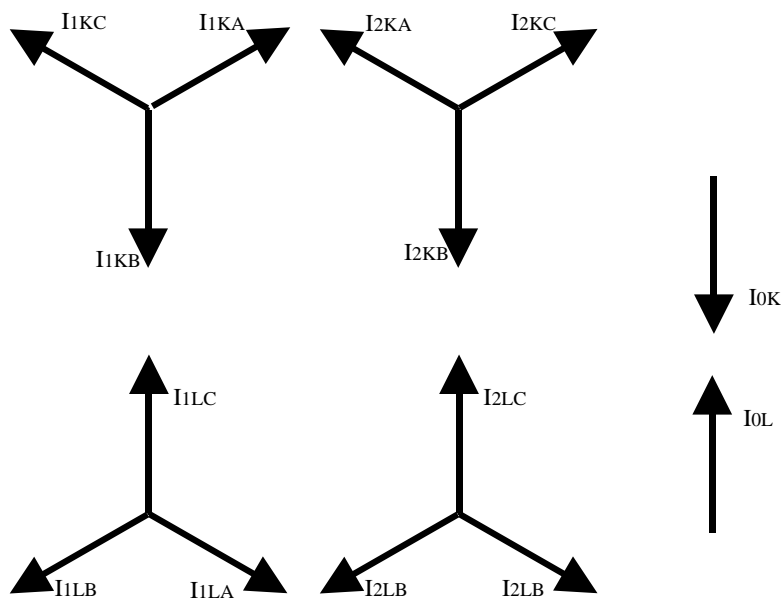


Рисунок 3.6 – Векторні діаграми окремих послідовностей в точках К і L схеми на рис. 3.5 при незаземленій нейтралі.

Таким чином струми нульової послідовності проходять тільки по ділянкам NV і NW.

На рис.3.6 побудовані векторні діаграми струмів окремих послідовностей в місцях замикань. У випадку обходу контуру в напрямку – ONVWNO (рис. 3.5) маємо:

$$a^2(\dot{E}_{SA} + \dot{E}_{KA}) - A(\dot{E}_{LA} + \dot{E}_{SA}) = \dot{Z}_{1M}\dot{I}_{1MB} + \dot{Z}_{2M}\dot{I}_{2MB} + \dot{Z}_{1K}\dot{I}_{1KB} + \dot{Z}_{2K}\dot{I}_{2KB} + \dot{Z}_{0K}\dot{I}_{0KB} - (\dot{Z}_{1L}\dot{I}_{1LC} + \dot{Z}_{2L}\dot{I}_{2LC} + \dot{Z}_{0L}\dot{I}_{0L} + \dot{Z}_{1M}\dot{I}_{1MC} + \dot{Z}_{2M}\dot{I}_{2MC}) \quad (3.35)$$

$$\dot{I}_{0K} = -\dot{I}_{0L} = \frac{(a^2-a)\dot{E}_{SA} + a^2\dot{E}_{KA} + a\dot{E}_{LA}}{3Z_{1M} + 3Z_{2M} + Z_{1K} + Z_{2K} + Z_{1L} + Z_{2L} + Z_{0\Sigma}} \quad (3.36)$$

Розв'язавши (3.35) для струмів нульової послідовності із врахуванням (3.31)-(3.34), отримаємо:

$$Z_{0\Sigma} = Z_{0K} + Z_{0L} \quad (3.37)$$

Для мережі складної конфігурації  $Z_{0\Sigma}$  ізначається як результуючий опір нульової послідовності між точками К і L. Вираз (3.36) може бути отриманий із (3.19) та (3.20) при підстановці  $Z_{0M} = \infty$ .

При відсутності розходження ЕРС систем по значенню і фазі в (3.36)  $E_K = E_L = 0$  та  $E_S = E_T$ , при цьому

$$\dot{I}_{0K} = -\dot{I}_{0L} = \frac{(a^2-a)\dot{E}_{TA}}{3Z_{1M} + 3Z_{2M} + Z_{1K} + Z_{2K} + Z_{1L} + Z_{2L} + Z_{0\Sigma}}. \quad (3.38)$$

Струми нульової послідовності в місцях пошкоджень на схемі на рис.3.1 можуть бути отримані із (3.36), якщо підставити величини, які характеризують цю схему з врахуванням (3.5)-(3.7). Визначивши струми окремих послідовностей в місцях пошкоджень з врахуванням (3.31), можна розподілом

цих струмів знайти струми на окремих ділянках схеми. При цьому визначення суми струмів прямої і зворотної послідовностей у відповідності з (3.28) і (3.29) значно спрощує розрахунок.

### 3.4 Замикання на землю фази А в точці К і фаз В і С в точці L в мережі з малим струмом замикання на землю

В розрахунковій схемі на рис.3.7 для струмів в місцях пошкоджень можна записати:

$$\dot{I}_{0K} = -\dot{I}_{0L} \quad (3.39)$$

$$\dot{I}_{1K} = \dot{I}_{2K} = \dot{I}_{0K} \quad (3.40)$$

$$\dot{I}_{1L} + \dot{I}_{2L} + \dot{I}_{0L} = 0 \quad (3.41)$$

$$\dot{I}_{1M} = \dot{I}_{1K} + \dot{I}_{1L} = \dot{I}_{0L} + \dot{I}_{2L} \quad (3.42)$$

$$\dot{I}_{2M} = \dot{I}_{2K} + \dot{I}_{2L} = -2\dot{I}_{0L} - \dot{I}_{1L} \quad (3.43)$$

$$\dot{I}_{0M} = \dot{I}_{0K} + \dot{I}_{0L} = 0 \quad (3.44)$$

Обходом контурів в напрямку OANVWNBO і OANVWNCO отримаємо:

$$(1 - a^2)\dot{E}_{SA} + \dot{E}_{KA} + a^2\dot{E}_{LA} = Z_{1M}\dot{I}_{1M} + Z_{2M}\dot{I}_{2M} + Z_{1K}\dot{I}_{1K} + Z_{2K}\dot{I}_{2K} + Z_{0K}\dot{I}_{0K} - \\ - (a^2Z_{1L}\dot{I}_{1L} + a Z_{2L}\dot{I}_{2L} + Z_{0L}\dot{I}_{0L} + 3r_{0L}\dot{I}_{0L} + a^2Z_{1M}\dot{I}_{1M} + a Z_{2M}\dot{I}_{2M} \quad (3.45)$$

$$(1 - a) \dot{E}_{SA} + \dot{E}_{KA} + a \dot{E}_{LA} = Z_{1M}\dot{I}_{1M} + Z_{2M}\dot{I}_{2M} + Z_{1K}\dot{I}_{1K} + Z_{2K}\dot{I}_{2K} + Z_{0K}\dot{I}_{0K} - \\ - (a Z_{1L}\dot{I}_{1L} + a^2Z_{2L}\dot{I}_{2L} + Z_{0L}\dot{I}_{0L} + 3r_{0L}\dot{I}_{0L} + a Z_{1M}\dot{I}_{1M} + a^2Z_{2M}\dot{I}_{2M} \quad (3.46)$$

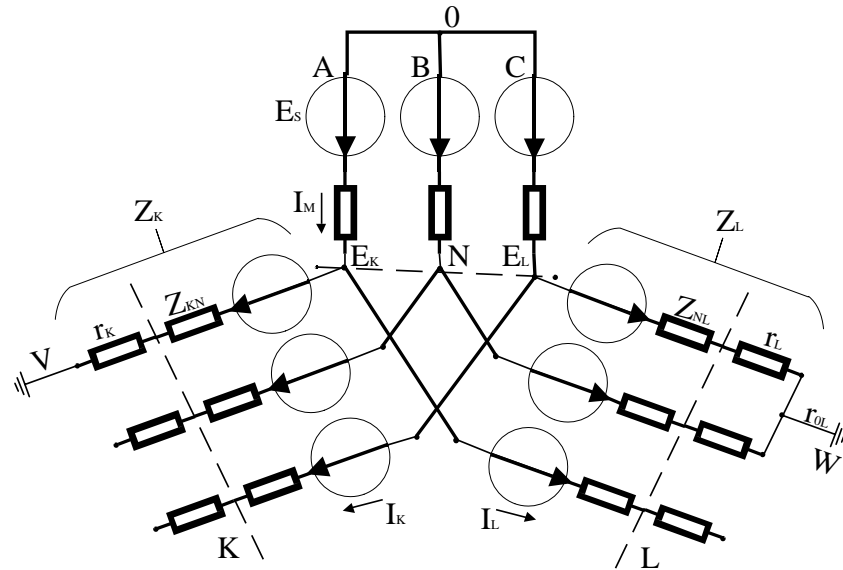


Рисунок 3.7 – Розрахункова схема з замиканням на землю фази А в точці К і фаз В і С в точці L в мережі з малим струмом замикання на землю

Перетворивши рівняння (3.45) і (3.46) із врахуванням (3.39)-(3.44) і (3.37) отримаємо:

$$(1 - a^2)\dot{E}_{SA} + \dot{E}_{KA} - a^2\dot{E}_{LA} = A\dot{I}_{1L} + B\dot{I}_{0L} \quad (3.47)$$

$$(1 - a)\dot{E}_{SA} + \dot{E}_{KA} - a^2\dot{E}_{LA} = C\dot{I}_{1L} + D\dot{I}_{0L} \quad (3.48)$$

де

$$A = (1 - a)Z_{1M} + (a^3 - 1)Z_{2M} - aZ_{1L} + a^2Z_{2L} \quad (3.49)$$

$$B = (a - 1)Z_{1M} + 2(a^3 - 1)Z_{2M} - Z_{1K} - Z_{2K} + a^2Z_{2L} - Z'_{0\Sigma 1} \quad (3.50)$$

$$C = (1 - a)Z_{1M} + (a^3 - 1)Z_{2M} - aZ_{1L} + a^2Z_{2L} \quad (3.51)$$

$$D = (a - 1)Z_{1M} + 2(a^3 - 1)Z_{2M} - Z_{1K} - Z_{2K} + a^2Z_{2L} - Z'_{0\Sigma} \quad (3.52)$$

В (3.50) і (3.52) прийнято:  $Z'_{0\Sigma} = Z_{0\Sigma} + 3r_{0L}$

Спільним розв'язанням рівнянь (3.47) і (3.48) отримаємо:

$$\dot{I}_{1L} = \frac{[(1-a^2)D-(1-a)B] \dot{E}_{KA} + (D-B)E_{KA} + (aB-a^2D)\dot{E}_{LA}}{AD-BC} \quad (3.53)$$

$$\dot{I}_{0L} = -\dot{I}_{0K} = \frac{[(1-a)A-(1-a^2)C] \dot{E}_{SA} + (A-C)E_{KA} + (a^2B-aD)\dot{E}_{LA}}{AD-BC} \quad (3.54)$$

Якщо в (3.53) і (3.54) прийняти  $E_K=E_L=0$  і  $E_S=E_\Gamma$  (ЕРС генераторів однакові) отримаємо:

$$\dot{I}_{1L} = \frac{[(1-a^2)D-(1-a)B] \dot{E}_{\Gamma A}}{AD-BC} \quad (3.55)$$

$$\dot{I}_{0L} = -\dot{I}_{0K} = \frac{[(1-a)A-(1-a^2)C] \dot{E}_{\Gamma A}}{AD-BC} \quad (3.56)$$

Виразимо струми за виразами (3.55) і (3.56) через опори розрахункової схеми, підставивши їх значення із (3.49)-(3.52):

$$\dot{I}_{1L} = \frac{Z_{1K}+Z_{2K}+6Z_{2M}+2Z_{2L}+Z'_{0\Sigma}}{P} \dot{E}_{\Gamma A} \quad (3.57)$$

$$\dot{I}_{1K} = \dot{I}_{1K} = -\dot{I}_{0L} = \frac{3Z_{2M}+Z_{1L}+2Z_{2L}}{P} \dot{E}_{\Gamma A} \quad (3.58)$$

де

$$P = Z_{1M}(9Z_{2M} + Z_{1K} + Z_{2K} + Z_{1L} + 4Z_{2L} + Z'_{0\Sigma}) + Z_{2M}(Z_{1K} + Z_{2K} + 4Z_{1L} + Z_{2L} + Z'_{0\Sigma})(Z_{1L} + Z_{2L})(Z_{1K} + Z_{2K}Z'_{0\Sigma}) + Z_{1L}Z_{2L} \quad (3.59)$$



Якщо прийняти рівність опорів прямої і зворотної послідовностей, то із (3.49)-(3.52) отримаємо:

$$A = (a - a^2)(Z_{1M} + Z_{1L}) \quad (3.60)$$

$$B = (a - 4)(Z_{1M} + Z_{1L})Z_{1M} + 2Z_{1K} + aZ_{1L} - Z'_{0\Sigma} \quad (3.61)$$

$$C = (a^2 - a)Z_{1M} - 2Z_{1K} + a^2Z_{1L} - Z'_{0\Sigma} = -A \quad (3.62)$$

$$D = (a^2 - 4)Z_{1M} - 2Z_{1K} + a^2Z_{1L} - Z'_{0\Sigma} = -A \quad (3.63)$$

$$AD - BC = A(B + D) = (a^2 - a)(Z_{1M} + Z_{1L})(9Z_{1M} - 4Z_{1K} + Z_{1L} - 2Z'_{0\Sigma}) \quad (3.64)$$

Розрахункові вирази (3.57) і (3.58) після перетворень отримують вигляд (3.65-3.66):

$$\dot{i}_{1L} = \frac{[6Z_{1M} + 2(Z_{1K} + Z_{1L}) + Z'_{0\Sigma}] \dot{E}_{ГА}}{(Z_{1M} + Z_{1L})(9Z_{1M} - 4Z_{1K} + Z_{1L} - 2Z'_{0\Sigma})} \quad (3.65)$$

$$\dot{i}_{0L} = -\dot{i}_{0K} = \frac{3 \dot{E}_{ГА}}{(9Z_{1M} - 4Z_{1K} + Z_{1L} - 2Z'_{0\Sigma})} \quad (3.66)$$

Інші величини в місцях пошкоджень знаходяться на основі відношень (3.40) і (3.41). Розподілом струмів в місцях пошкоджень вираховуються струми окремих послідовностей на інших ділянках заданої схеми.

### Висновки до третього розділу

Розрахункові вирази для обчислення струмів і напруг при двох одночасних к.з. в мережах з великим і малим струмом замикання на землю

можуть бути складені на основі заданих ЕРС генераторів, а також при використанні принципу накладання, за умови, що в якості вихідної приймається елементарна схема з двостороннім живленням з ЕРС генераторів  $E_I$   $E_{II}$  та у вигляді зірки при наявності ЕРС в окремих її вітках.

В розділі розглядаються методи розрахунку подвійних к.з. для таких випадків, як: замикання на землю фази В у точці К і фази С у точці L в мережі з великим струмом замикання на землю, замикання на землю фази В у точці К і фази С у точці L в мережі з малим струмом замикання на землю та замикання на землю фази А в точці К і фаз В і С в точці L в мережі з малим струмом замикання на землю

## 4 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ПРИ ПОДВІЙНОМУ ЗАМИКАННІ

### 4.1 Визначення струмів при металевому замиканні на землю в мережі 110 кВ з великим струмом замикання на землю

Для розрахунку струмів при металевому замиканні на землю в точках К (фаза В) і L (фаза С) в мережі 110 кВ з великим струмом замикання на землю (рис.4.1,*a*); ЕРС генераторів  $E_I$  і  $E_{II}$  приймається однаковими. Схеми заміщення окремих послідовностей з реактивними опорами приведеними до напруги 115 кВ, наведені на рис. 4.1,*б* і *в*. Так як опори прямої і зворотної послідовностей прийняті однаковими, то для схем цих послідовностей показана одна схема заміщення. Схема заміщення нульової послідовності показана для випадку часткового заземлення нейтралей трансформаторів. В результаті наведення схем окремих послідовностей отримаємо схеми у вигляді зірки, показані на рис.4.1,*б* і *в*. Струми  $I_{0K}$  і  $I_{0L}$  в місцях замикання на землю визначаються по (3.21) і (3.22) з попереднього розділу роботи 3, при цьому у відповідності з (3.15)-(3.18), отримаємо:

$$Z_{1KK\Sigma} = 2Z_{1M} + Z_{0M} + 2Z_{1K} + Z_{0K} = j(2 \cdot 20,6 + 27,7 + 2 \cdot 14,55 + 70) = j160 \text{ (Ом)} \quad (4.1)$$

$$Z'_{M\Sigma} = aZ''_{M\Sigma} = a^2(Z_{0M} - Z_{1M}) = ja^2(27,7 - 20,6) = ja^2168 \text{ (Ом)} \quad (4.2)$$

$$Z_{LL\Sigma} = 2Z_{1M} + Z_{0M} + 2Z_{1K} + Z_{0L} = j(2 \cdot 20,6 + 27,7 + 2 \cdot 7,65 + 11,2) = j95,4 \text{ (Ом)} \quad (4.3)$$

Підставивши вираховані величини в (3.21) і (3.22) і враховуючи (3.8) і (3.9) отримаємо:

$$\begin{aligned} i_{0K} = a^2 i_{1K} = a i_{2K} &= \frac{(-0,5-j0,866) \cdot 95,4 - (-0,5+j0,866) \cdot 7,1}{j(168 \cdot 95,4 - 7,1^2)} \cdot \frac{115000}{\sqrt{3}} = (-130 + j189)a = \\ &= 415a \angle 154 \end{aligned} \quad (4.4)$$

$$i_{0l} = a i_{1K} = -a^2 i_{2K} = \frac{(-0,5-j0,866) \cdot 95,4 - (-0,5+j0,866) \cdot 7,1}{j(168 \cdot 95,4 - 7,1^2)} \quad (4.5)$$

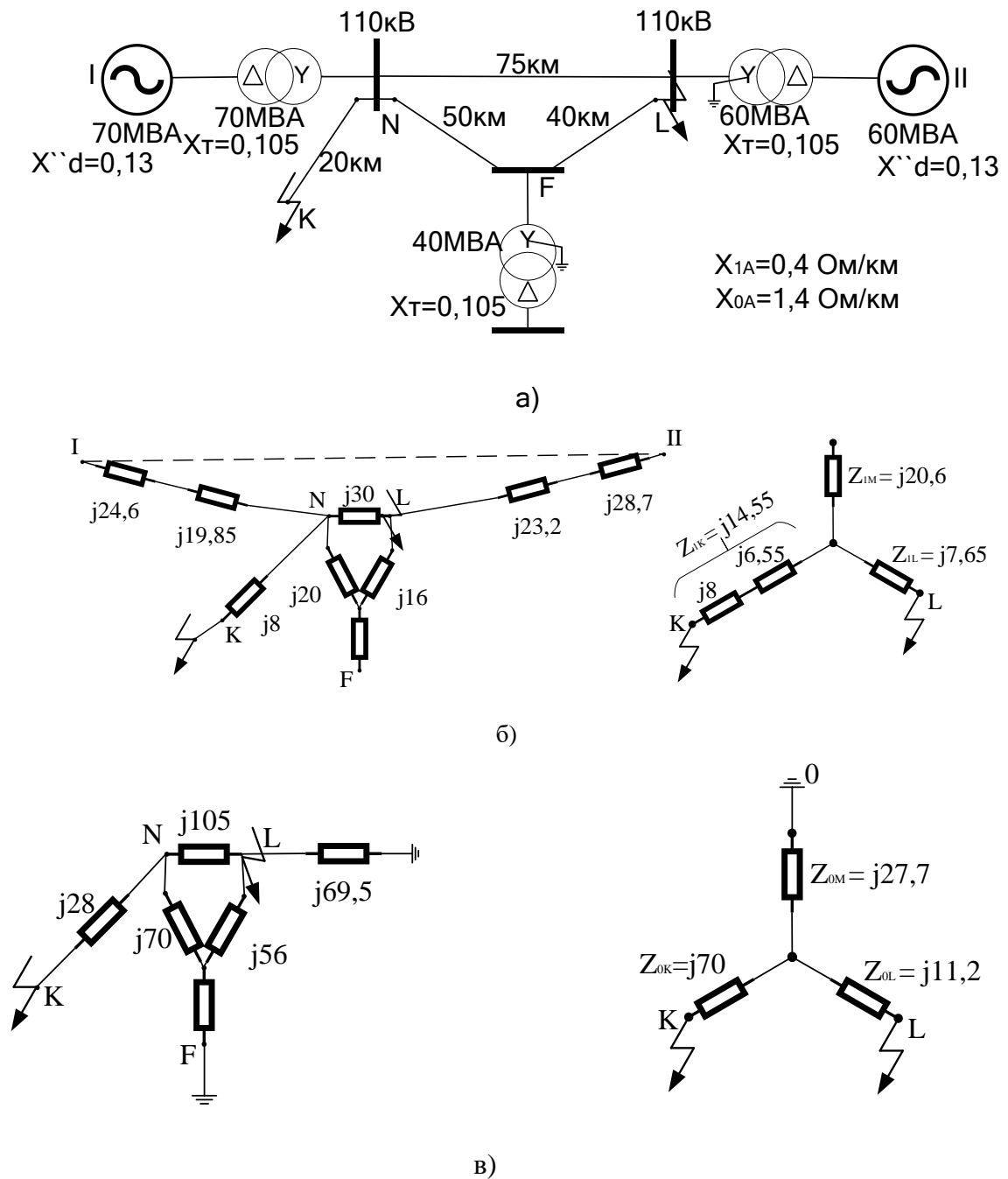


Рисунок 4.1 – Схеми для розрахунку замикань на землю одної фази в двох точках: а) вихідна схема; б) схема заміщення прямої послідовності; в) – нульової послідовності.

Зі спрощених виразів (3.26) і (3.27) маємо:

$$\dot{i}_{0K} = \frac{(-0,5-j0,866)}{j168} = \frac{115000}{\sqrt{3}} = (-344 + j198)a; \quad (4.6)$$

$$\dot{i}_{0L} = \frac{(-0,5-j0,866)}{j95,4} = \frac{115000}{\sqrt{3}} = (610 + j198)a \quad (4.7)$$

Далі виконується розрахунок суми струмів прямої і зворотної послідовностей  $I_{12K}$  і  $I_{12L}$  в місцях пошкоджень по (3.28) і (3.29). Розподіл цих струмів для фази А, що перетікають до точки К при відсутності пошкоджень в L, і навпаки показано на рис. 4.3. Розподіл суми струмів прямої і зворотної послідовностей в окремих фазах показано на рис. 4.4. Повні струми в окремих фазах визначаються як сума струмів в схемах на рис. 4.2 і 4.4 і показані на рис. 4.5. Напряга нульової послідовності і суми напруг прямої та зворотної послідовностей визначаються, виходячи із схем з струморозподілом показаних на рис. 4.2 і 4.4.

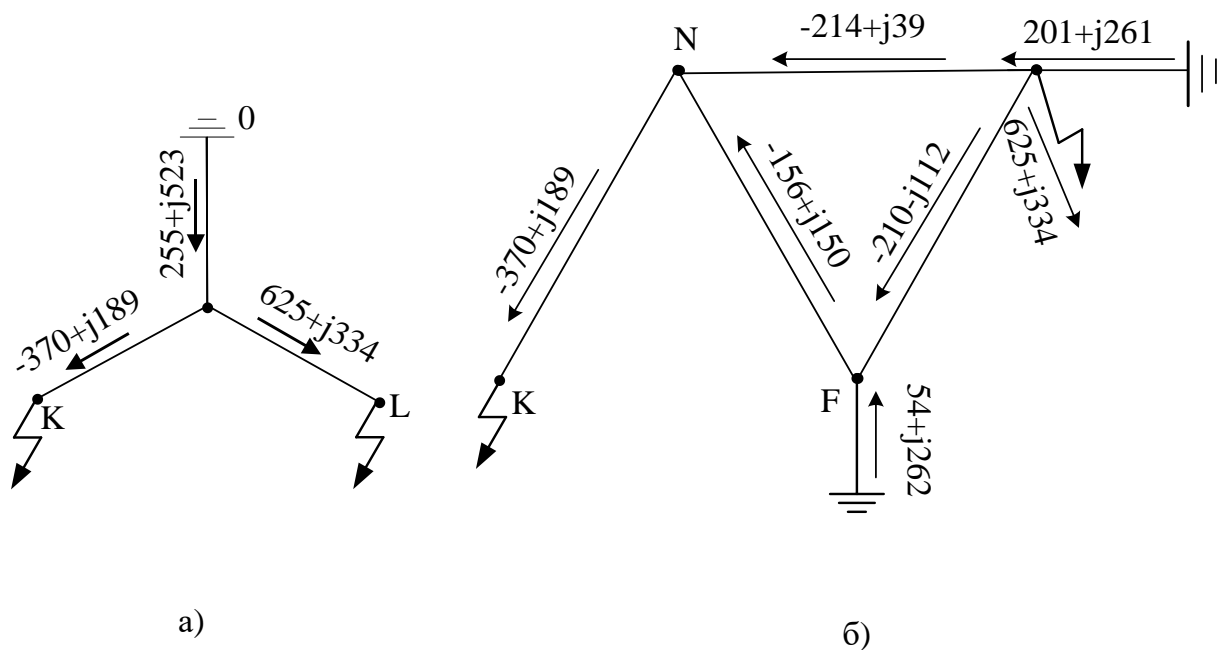


Рисунок 4.2 – Розподіл струмів нульової послідовності в схемі по рис. 4.1

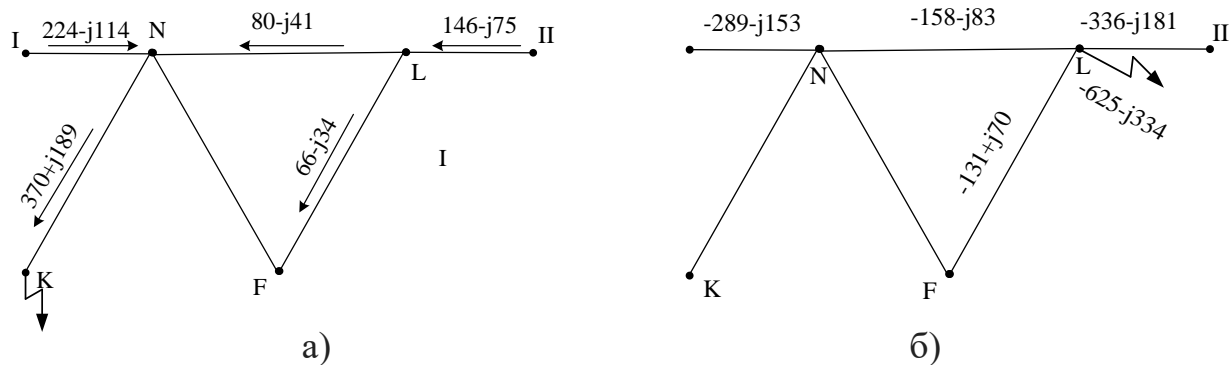


Рисунок 4.3 – Розподіл суми струмів прямої і зворотної послідовностей фази А: а) струми перетікають до місця замикання в точці К при відсутності замикання в точці L; б) струми перетікають до місця замикання в точці L при відсутності замикання в точці К.

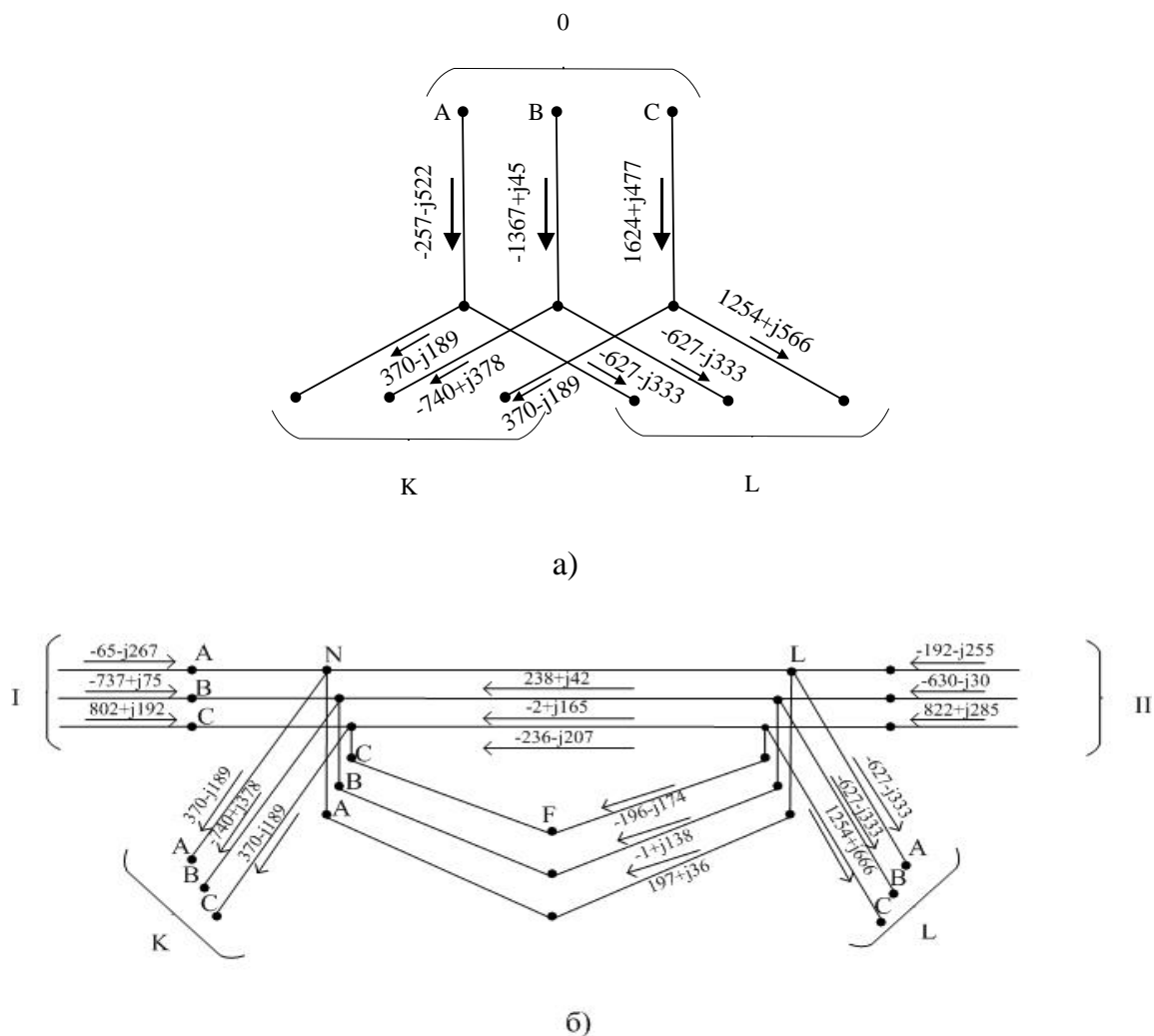


Рисунок 4.4 – Розподіл суми струмів прямої і зворотної послідовності: а) в еквівалентній зірці; б) в схемі

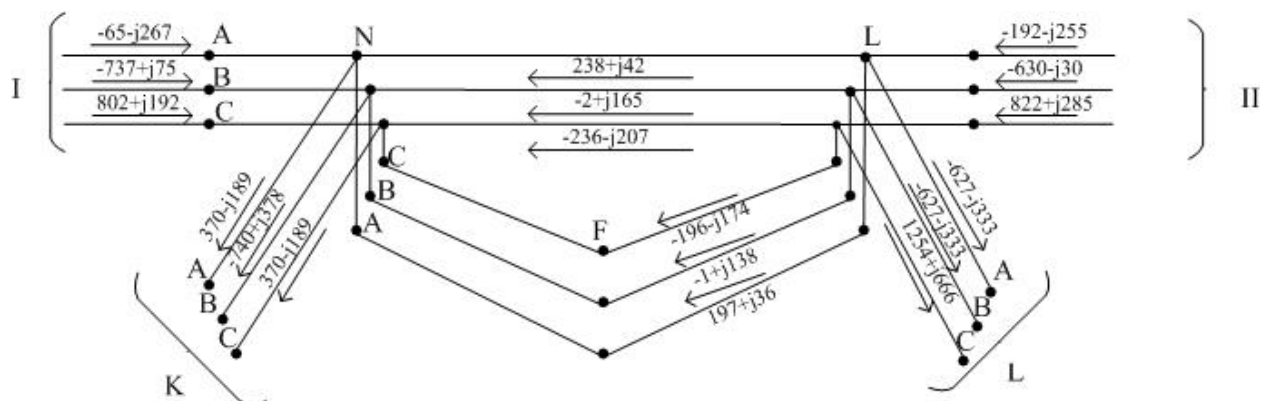


Рисунок 4.5 – Розподіл повних струмів в схемі

#### 4.2 Визначення струмів і напруг при металевому замиканні на землю при незаземлених нейтралях всіх трансформаторів

Для розрахунку струмів і напруг при металевому замиканні на землю в точках К (фаза В) і L (фаза С) для мережі, що і в прикладі 4.1 але при незаземлених нейтралях всіх трансформаторів, схеми заміщення прямої і зворотної послідовностей зберігаються (рис.4.1,б).

Схема заміщення нульової послідовності показана на рис. 4.6; результуючий опір цієї схеми  $Z_{0\Sigma}=j85$  Ом. При рівності опорів прямої і зворотної послідовностей струми  $I_{0K}$  і  $Z_{0L}$  в місцях замикання на землю визначаються виходячи з (4.2):

$$I_{0K} = -I_{0L} = \frac{(a^2 - a)E_{\Gamma A}}{(6Z_{1M} - 2Z_{1K} + 2Z_{1L} - Z'_{0\Sigma})} = -450a \quad (4.8)$$

Розподіл струмів нульової послідовності задано на рис.4.6. Сума струмів прямої і зворотної послідовностей в місцях пошкодження знаходиться по (3.28), (3.29) і (3.31). Розподіл окремо суми струмів прямої і зворотної послідовностей фази А, що перетикають до точок пошкоджень К і L, показано на рис. 4.7.

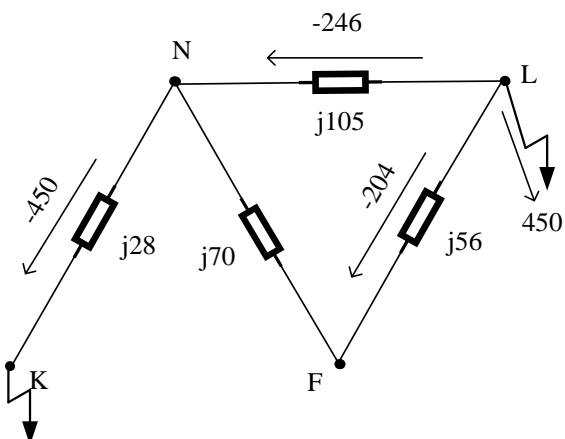
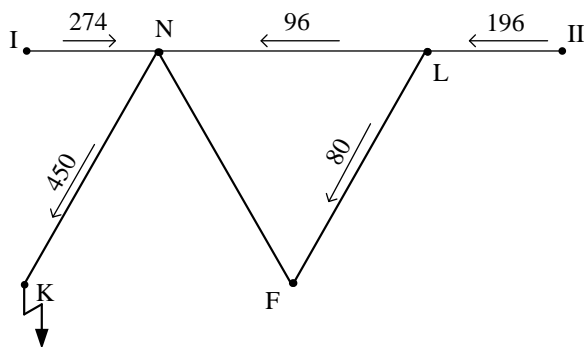
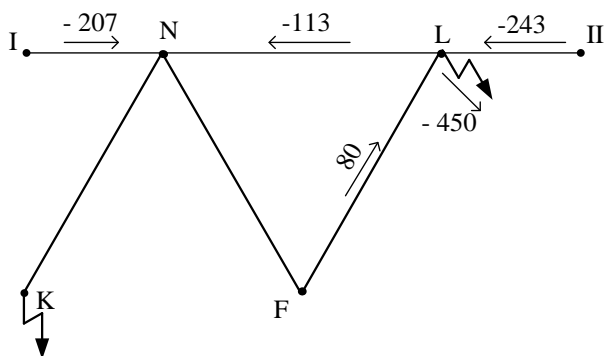


Рисунок 4.6 – Схема заміщення нульової послідовності рис. 4.1,а



а)



б)



Рисунок 4.7 – Розподіл сум струмів прямої і зворотної послідовності фази А:  
 а) струми направлені до місця замикання в точці К при відсутності замикання в точці L; б) струми направлені до місця замикання в точці L при відсутності замикання в точці К (б) в схемі на рис. 4.1, а

Визначимо напругу в точці К схеми на рис. 4.1,а відніманням з ЕРС генераторів відповідних спадів напруг в еквівалентній схемі на рис.4.8,а:

$$\dot{U}_{12KA} = \frac{115000}{\sqrt{3}} - j14,55 \cdot 450 = j(66600 - j6550) \text{ (В)}; \quad (4.9)$$

$$\dot{U}_{12KB} = \frac{a^2 115000}{\sqrt{3}} - j20,6 \cdot (-1350) - j14,55 \cdot (-900) \cdot (-33300 - j16600); \quad (4.10)$$

$$\dot{U}_{12KC} = \frac{a 115000}{\sqrt{3}} - j20,6 \cdot 1350 - j14,55 \cdot 450 = (-33300 - j16600) \text{ (В)}; \quad (4.11)$$

$$\dot{U}_{KA} = (99900 + j10050); \quad \dot{U}_{KB} = 0; \quad \dot{U}_{KC} = +j39750.$$

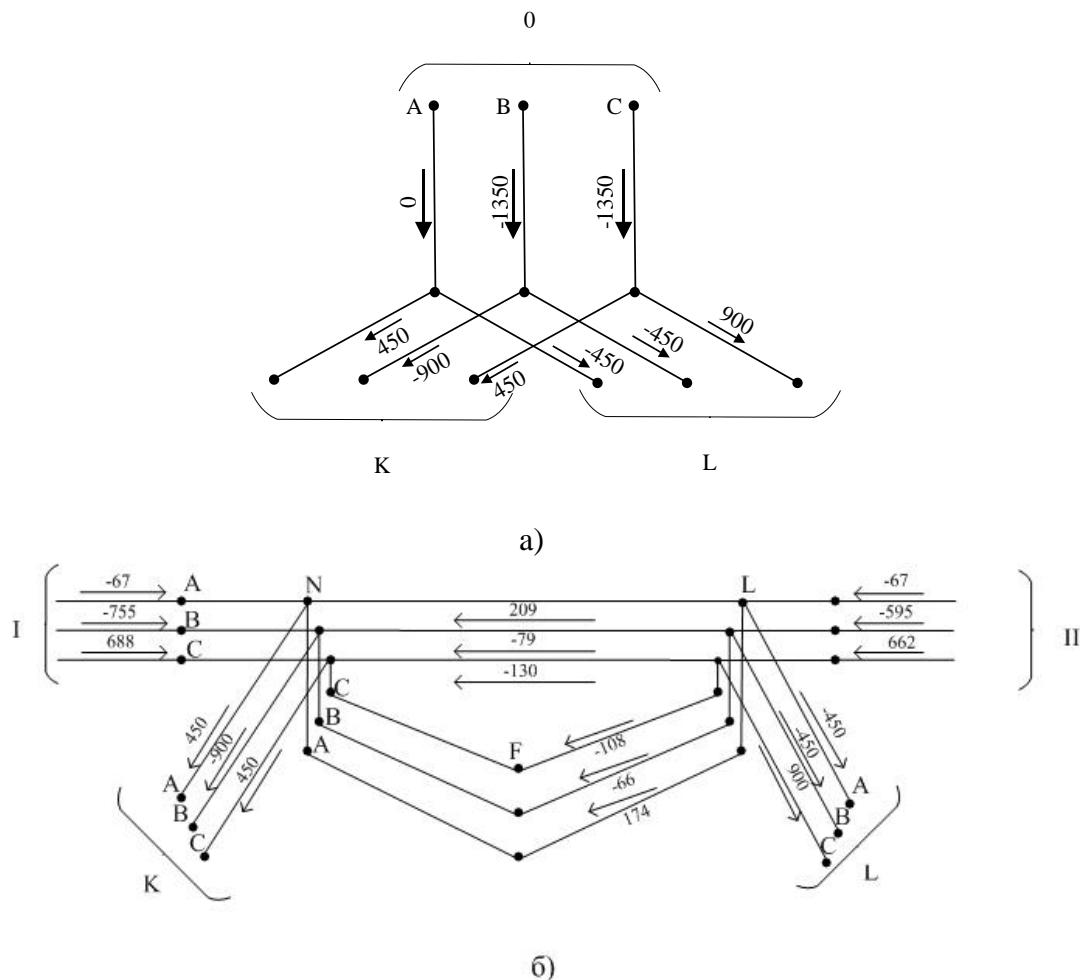


Рисунок 4.8 – Розподіл сум струмів прямої і зворотної послідовностей: а) в еквівалентній зірці; б) в схемі

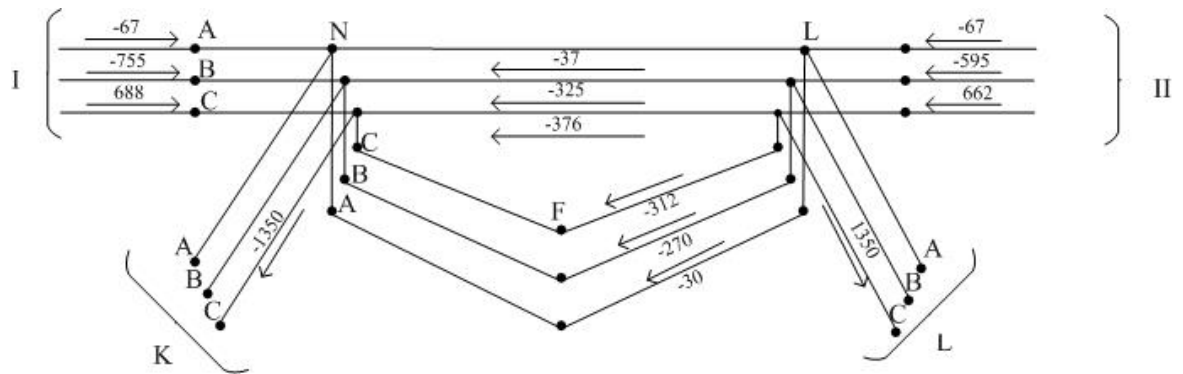


Рисунок 4.9 – Розподіл повних струмів в схемі

Аналогічно визначаються напруги в других точках. Векторні діаграми струмів і напруг в місцях замикань на землю показані на рис.4.10, із якого слідує, що напруга нульової послідовності в точках К і L зміщені одне по відношенню до іншого в даному випадку на кут  $61^\circ$  (теоретично цей кут може досягати  $120^\circ$ ).

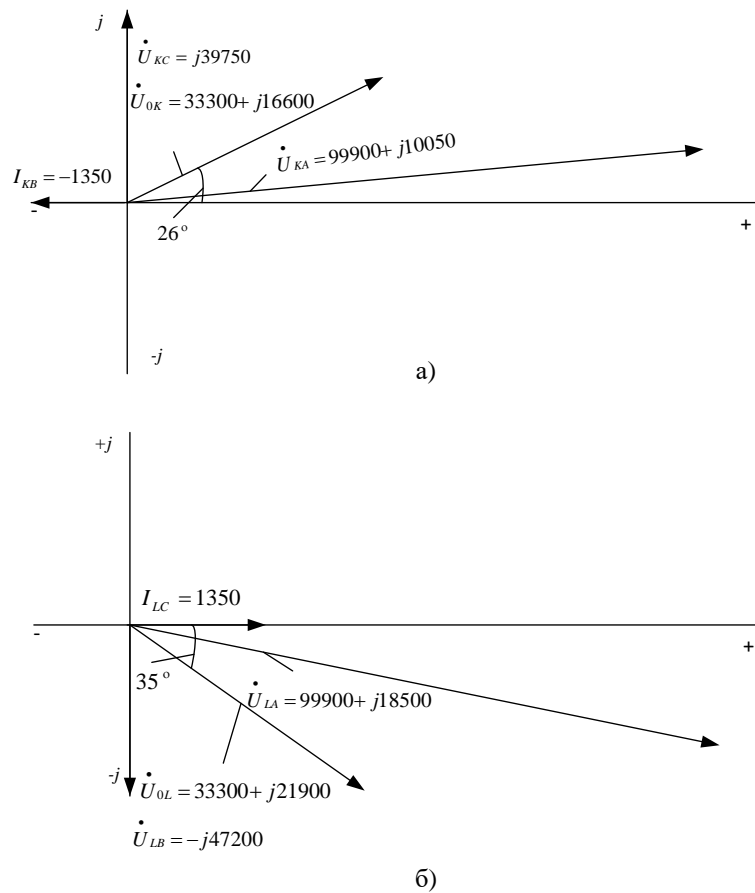


Рисунок 4.10 – Векторні діаграми струмів і напруг в точках К і L схеми на рис.4.1,а

### 4.3 Визначення струмів при металевому замиканні на землю на лінії з двостороннім живленням при незаземлених нейтралях всіх трансформаторів

Для розрахунку струмів при металевому замиканні на землю в точках К (фаза А) і L (фази В і С) на лінії з двостороннім живленням (рис.4.1,а) при незаземлених нейтралях трансформаторів, вхідними даними є опори, задані у відносних одиницях, ЕРС генераторів  $E_I$  і  $E_{II}$  однакові і рівні  $E_{ГA}=1,0$ . Опори прямої і зворотної послідовностей також приймаються однаковими.

Данана схема приводиться до зірки, як показано на рис.4.1,б:

$$Z_{IM} = j0,139; \quad Z_{IK} = j0,083; \quad Z_{IL} = j0,0415.$$

У відповідності з (3.57) і (3.58) визначаються струми в точці L (в місці замикання на землю фаз В і С):

$$i_{1L} = \frac{[6 \cdot 0,139 + 2(0,83 + 0,0145) + 0,6] \cdot 1,0}{j(0,139 + 0,0145)(9 \cdot 0,139 + 4 \cdot 0,083 + 0,0415 + 2 \cdot 0,16)} = -j3,41$$

$$i_{0L} = \frac{-3 \cdot 1,0}{j(9 \cdot 0,139 + 4 \cdot 0,083 + 0,0415 + 2 \cdot 0,6)} = j1,095$$

$$i_{2L} = -(i_{1L} - i_{0L}) = j2,315 \quad (4.12)$$

Струми в місці замикання на землю фази А у відповідності з (3.39) і (3.40) знаходяться за виразом (4.13):

$$i_{1K} = i_{2K} = i_{0K} = -i_{0L} = -j1,095 \quad (4.13)$$

На рис.4.11 опір нульової послідовності – 0,6.

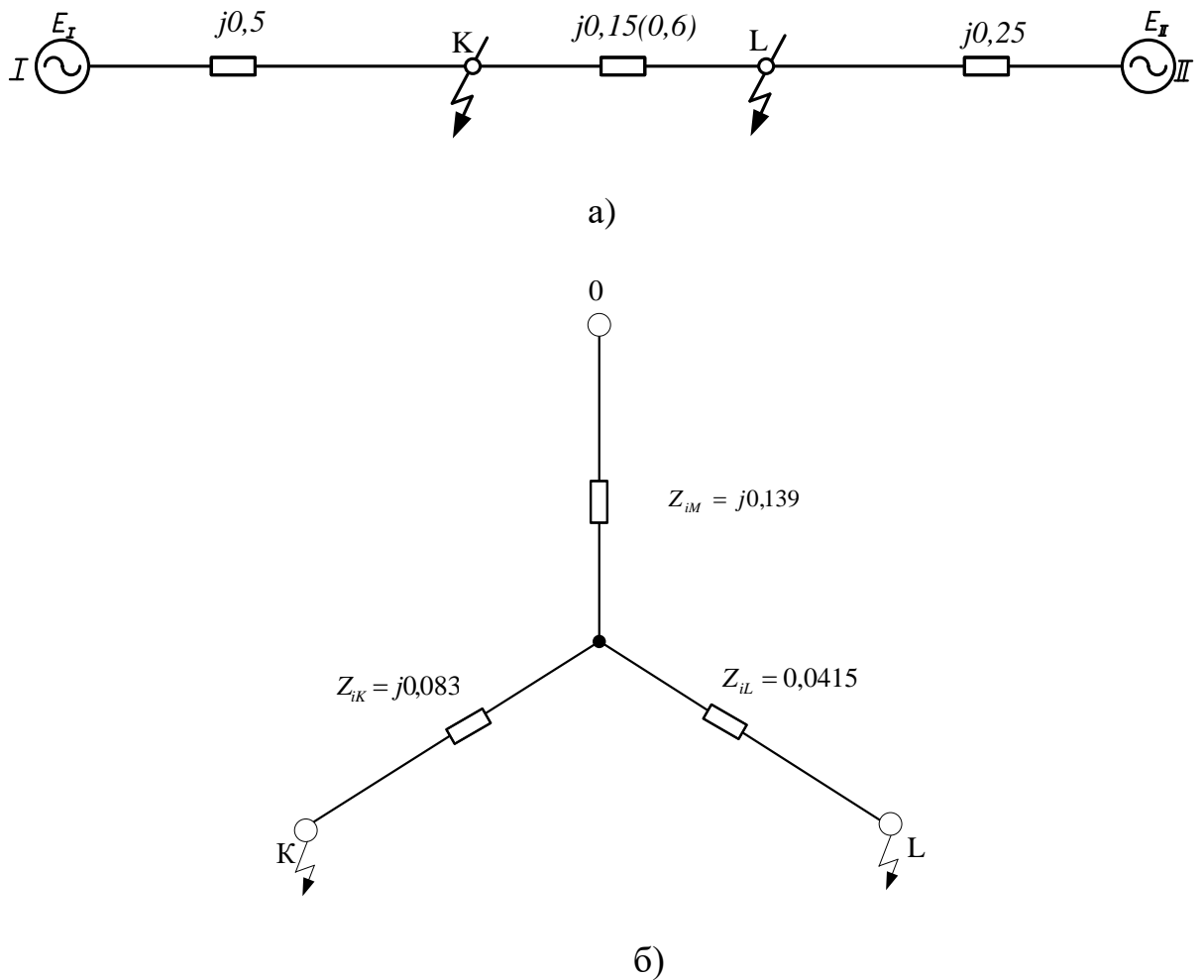
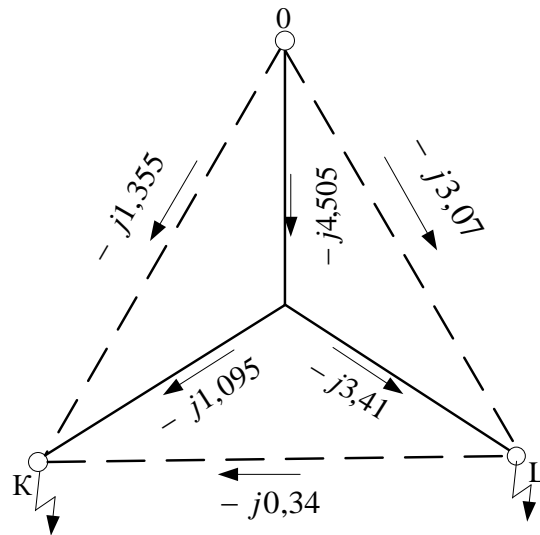
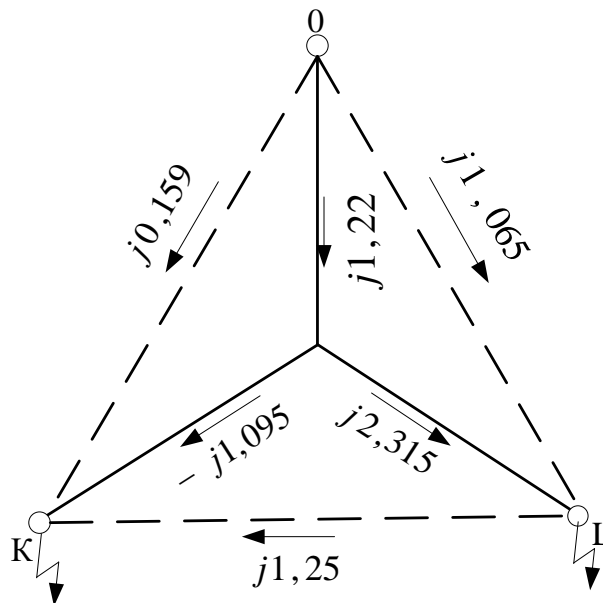


Рисунок 4.11 – Схема для розрахунку замикань на землю в точках К (фаза А) і L (фази В і С) в мережі з малим струмом замикання на землю: а) вихідна схема ; б) еквівалентна схемі зірка

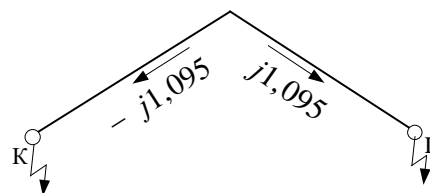
Струми окремих послідовностей на ділянках схеми на рис. 4.11,а знаходяться на основі струмів окремих послідовностей в еквівалентній зірці (рис.4.12). По відомим струмам окремих послідовностей можуть бути знайдені фазові струми і напруги.



а)



б)



в)

Рисунок 4.12 – Розподіл струмів при замиканнях на землю в точках К (фаза А) і L (фази В і С) в мережі з малим струмом замикання на землю: а) прямої послідовності; б) зворотної послідовності; в) нульової послідовності

## **Висновки до четвертого розділу**

В розділі було виконано розрахунки для визначення параметрів, а саме струмів та напруг при металевому замиканні на землю в мережі 110 кВ з великим струмом замикання на землю, при металевому замиканні на землю при незаземлених нейтралях всіх трансформаторів та при металевому замиканні на землю на лінії з двостороннім живленням при незаземлених нейтралях всіх трансформаторів. Для розрахунку величин струмів та напруг використовувався метод симетричних складових.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Як зазначалося в першому розділі магістерської кваліфікаційної роботи, однією з причин пошкоджень ліній електропередач є відмови в роботі пристроїв релейного захисту та автоматики. Також відомим фактом є те, що в розподільних мережах застосовуються застарілі пристрої РЗА (на основі електромеханічних реле), що не завжди спрацьовують вірно, а як свідчить аналіз літературних джерел, при подвійних замиканнях, такий захист може взагалі не спрацювати. Тому, доцільно розглянути вартість кошторисного проекту на встановлення на підстанції 110 кВ сучасного мікропроцесорного захисту.

### 5.1 Загальні відомості про кошторисний розрахунок

Кошторисна вартість будівництва (ремонту) - це сума грошових коштів, необхідних для його здійснення у відповідності з проектною документацією. Кошторисна вартість є основою для визначення розміру капітальних вкладень, фінансування будівництва, розрахунків за виконані підрядні (будівельно-монтажні) роботи тощо. Виходячи з кошторисної вартості, ведеться облік і звітність, проводиться оцінка діяльності будівельно-монтажних організацій і замовників, а також формується балансова вартість введення в дію основних фондів побудованих будівель і споруд.

Для визначення кошторисної вартості необхідно мати проект і робочу документацію, у складі яких приймаються параметри будівель, споруд, їх частин та конструктивних елементів, у тому числі: креслення, відомості обсягів будівельних і монтажних робіт, специфікації і відомості на обладнання, основні рішення з організації та черговості будівництва, прийняті в проекті будівництва, пояснювальні записки до вказаних матеріалів. Також діючі кошторисні нормативи, відпускні ціни на устаткування, меблі та інвентар.

Кошторисні нормативи - це узагальнена назва комплексу кошторисних норм, цін, що об'єднуються в окремі збірники. Разом з правилами і положеннями, що містять необхідні вимоги з виконання будівельних робіт, вони використовуються для визначення кошторисної вартості будівництва та реконструкції будівель і споруд, розширення і технічного переоснащення підприємств всіх галузей народного господарства.

Кошторисною нормою називається сукупність ресурсів (витрат праці робітників будівництва, часу роботи будівельних машин, потреби в матеріалах, виробках і конструкціях і т.д.), встановлена на прийнятий еквівалент будівельних, монтажних або інших робіт.

Головна функція кошторисних норм – визначити нормативну кількість ресурсів, необхідних для виконання відповідного виду робіт як основи для наступного переходу до вартісних показників.

Кошторисними нормами передбачено виконання робіт у нормальних умовах, не ускладнених зовнішніми факторами. У разі проведення робіт в особливих умовах - обмеженості, загазованості, поблизу діючого обладнання, в районах зі специфічними факторами - до кошторисних норм застосовуються коефіцієнти, наведені в загальних положеннях до збірок нормативів.

## **5.2 Типи кошторисних документів**

Кошторис в класичному вигляді являє собою план майбутніх витрат і надходжень матеріальних і грошових коштів підприємств, установ, різних організацій. Найпростіший кошторис - локальний, його можна розбити на дві залежних одна від одної половини. Ліва половина кошторису містить описову частину, в якій представлений шифр та перелік робіт і витрат, необхідних при виробництві будівельних, ремонтно-будівельних, монтажних, пусконаладжувальних робіт. У цій половині також вказуються одиниці виміру (маса, штуки, метри, комплекти та інші фізичні параметри). В правій половині кошторису даються прямі витрати в гривнях за виконання описової



частини робіт на зазначену одиницю виміру, кількість одиниць виміру і добуток одиниць виміру на їх кількість. У результаті кожен рядок несе інформацію про вартість робіт, описаних у лівій частині кошторису в грошовому еквіваленті. Сумуючи всі рядки, отримуємо суму витрат, необхідних для проведення того чи іншого виду робіт.

З точки зору всього обсягу робіт, кошторисна документація складається з таких частин: локальні кошториси, об'єктні кошториси, кошторисні розрахунки на окремі види витрат та зведений кошторисний розрахунок. Розглянемо детальніше кожен з них.

### *Локальний кошторис*

Локальні кошториси - це первинна кошторисна документація, яка складається на окремі види робіт та витрат по будівлях та спорудах. Також, локальні кошториси можуть складатися на загальномайданчикові роботи в тих випадках, коли відсутні детальні дані про обсяги робіт, внаслідок чого розрахунок вартості виконується за укрупненими показниками і підлягає уточненню при розробці робочої документації.

При визначенні кошторисної вартості будівництва всі витрати розбиваються на чотири групи: будівельні роботи, монтажні роботи, вартість обладнання, меблів, інвентарю та інші витрати. Локальний кошторис складається, виходячи з:

- обсягів робіт за проектними даними;
- номенклатури і кількості обладнання, меблів та інвентарю;
- кошторисні нормативи, що діють на момент складання кошторису;
- вільних (ринкових) цін і тарифів на устаткування, меблі та інвентар.

В загальному випадку локальний кошторис складається на один вид робіт. Дані групуються в розділи по окремим конструктивним елементам будівлі (споруди). Групування зазвичай відповідає технологічній послідовності робіт.

Кошторисна вартість складається з прямих витрат, накладних витрат і кошторисного прибутку. Прямі витрати складаються з основної заробітної

плати робітників, вартості експлуатації будівельних машин і вартості матеріалів, виробів, конструкцій. Прямі витрати та їх складові розшифровуються порядково. Ці рядки ще називаються розцінками або позиціями. Нарахування накладних витрат і кошторисного прибутку при складанні локальних кошторисів без поділу на розділи проводиться в кінці кошторису за підсумком прямих витрат, при формуванні по розділах - в кінці кожного розділу і в цілому по локальному кошторису.

Нарахування накладних витрат здійснюється за нормами накладних витрат, розмір яких передбачається діючими керівними документами. Накладні витрати і кошторисний прибуток називається кошторисними коефіцієнтами.

#### *Об'єктний кошторис*

Об'єктні кошториси – кошториси, що об'єднують у своєму складі дані з локальних кошторисів на весь об'єкт. Їх складають шляхом сумування даних локальних кошторисних розрахунків (кошторисів) зі згрупованими роботами та витратами по відповідних графах кошторисної вартості. Вони складаються в одному рівні цін: у базисному або в поточному.

Якщо вартість об'єкта може бути визначена за одним локальним кошторисом, то об'єктний кошторис не складається. Роль об'єктного кошторису в даному випадку виконує локальний кошторис.

#### *Кошторисні розрахунки на окремі види витрат*

Кошторисні розрахунки на окремі види витрат – кошториси, які призначені для тих випадків, коли необхідно визначити розмір коштів (загальний по будові), необхідних для відшкодування тих витрат, що не враховуються кошторисними нормативами (наприклад, компенсації у зв'язку з вилученням земель під забудову і т. п.).

#### *Зведений кошторисний розрахунок*

Зведений кошторисний розрахунок вартості будівництва визначає кількість коштів, необхідних для повного завершення будівництва всіх об'єктів, передбачених проектом. Зведений кошторисний розрахунок складається на

основі об'єктних кошторисів , а також кошторисних розрахунків на окремі види робіт і витрат.

### 5.3 Основні методи розрахунку кошторисів

При складанні кошторисів (розрахунків) можуть застосовуватися такі методи визначення вартості:

базисно-індексний;

ресурсний;

ресурсно-індексний;

базисно-компенсаційний;

на основі вартісних показників об'єктів-аналогів.

Розглянемо детальніше методи виконання кошторисних розрахунків.

#### *Базисно-індексний метод*

Даний метод передбачає розрахунок вартості роботи на підставі даних одиничної розцінки та індексів перерахунку в поточні ціни. Цей метод дозволяє найбільш точно оцінити кошторисну вартість об'єкта або його складових. Можливі кілька варіантів задання коефіцієнту перерахунку:

- на кошторис - після складання кошторису і сумування прямих витрат за всіма розцінками сума ПВ множиться на КП;
- на окремі розділи кошторису - застосування різних коефіцієнтів перерахунку до кожного з розділів кошторису;
- до кожної розцінки;
- до елементів розцінки (до елементів прямих витрат) - коефіцієнтів перерахунку застосовується окремо до кожної зі складових розцінки з подальшим сумуванням складових для визначення прямих витрат.

Використовуючи останній варіант розрізняють усереднені і диференційовані коефіцієнти перерахунку. Формула для розрахунку в цьому випадку виглядає наступним чином:

$$ПВ = (ЗП (од) \cdot КПкЗП + ЕМ(од) \cdot КПкЕМ + Мат (од) \cdot КПкМат) \cdot Об, \quad (5.1)$$

де ПВ - вартість роботи (прямі витрати); ЗП (од) - заробітна плата робітників за одиничною розцінкою; КПкЗП - індекс перерахунку до зарплати; ЕМ (од) - вартість експлуатації машин за одиничною розцінкою; КПкЕМ - індекс перерахунку до експлуатації машин; Мат (од) - вартість матеріалів за одиничною розцінкою; КПкМат - індекс перерахунку до матеріалів; Об - обсяг робіт за розцінкою.

Для укрупнених розрахунків можна застосовувати усереднені коефіцієнти перерахунку. До елементів витрат застосовуються диференційовані коефіцієнти перерахунку.

#### *Ресурсний метод*

Даний метод заснований на визначенні реальної вартості складових кошторисних компонентів.

Як і в базисно-індексному методі, вартість роботи визначається як сума зарплати робітників, вартості експлуатації машин і вартості матеріалів, необхідних для проведення робіт. Але вартість складових визначається на підставі реальних цін на ресурси, задіяних при виконанні робіт (основна заробітна плата робітників, експлуатація машин і механізмів, матеріали). Недоліком цього методу є не тільки велика трудомісткість оцінки вартості робіт, але й складність обґрунтування поточної вартості складових розцінки.

У класичному ресурсному методі формула для розрахунку ПЗ виглядає наступним чином:

$$ПВ = Т \times В.л/г + К.м/г \times В.м/г + К.мат \times Ц.мат, \quad (5.2)$$

де ПВ - вартість роботи (прямі витрати); Т – трудомісткість (кількість людино-годин необхідних для виконання роботи); В.л/г - вартість однієї людино-години; К.м/г - кількість машино-годин необхідних для виконання роботи; В.м/г - вартість однієї машино-години; К.мат - кількість матеріалу, що необхідний для виконання роботи; Ц.мат – ціна матеріалу

Розрахунок виконується в діючих на момент ведення робіт цінах.

#### *Ресурсно-індексний*

Широко використовується ресурсно-індексний метод (змішаний метод) розрахунку, в якому застосовуються елементи як індексного, так і ресурсного методів.

### 5.4 Кошторисні розрахунки для проекту РЗА

Приведено кошториси на двостадійні проектні роботи та зведений кошторисний розрахунок для проекту релейного захисту та автоматики ПС 110 кВ (табл. 5.1), а саме основних та резервних захистів ПЛ 110 кВ, 1Т, 2Т, шин 110 кВ, ОВ 110 кВ, ШЗВ 110 кВ, управління та автоматики.

Таблиця 5.1 – Кошторис №2 – на проектні (вишукувальні) роботи

№ п.п.	Характеристика підприємства, будинку, споруди або види робіт на проектні роботи для будівництва	№ Розділів, таблиць, пунктів і вказівок збірника цін	Розрахунок вартості (А+БХ)*К1;2*КО	Вартість, грн.
1	2	3	4	5
1	Розробка принципів схем основних та резервних захистів ПЛ 110кВ, з застосуванням захистів підвищеної швидкодії та надійності на ІМС <u>Розрахунковий показник</u> 8(2 комплекта)	Розд. 1,табл.40,п.14-2 к=1.2 - стадія проектування(ДБН Д.1.1-7-2000) - "Робочий проект" к=1.5 - При необхідності установки в мережах 110-1150 кВ пристроїв релейного захисту підвищеної швидкодії і надійності з використанням захистів на інтегральних мікросхемах до цін таблиці вводиться коефіцієнт к=1.07 – Електроенергетика (ДБН Д.1.1-7-2000 додаток 2) к=7.77 - Наказ Мінрегіонбуду України від 1.07.2008 N297(проектні роботи)	2480.0*8.0*1.2*1.5*1.07*7.77	296906.00

## продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
2	Розробка принципових схем основних та резервних захистів 1Т, 2Т 110/10 кВ, з застосуванням захистів підвищеної швидкодії та надійності на ІМС [15-17]	Розд. 1,табл.40,п.14-2 k=1.2 - стадія проектування(ДБН Д.1.1-7-2000) - "Робочий проект" k=1.5 - При необхідності установки в мережах 110-1150 кВ пристроїв релейного захисту підвищеної швидкодії і надійності з використанням захистів на інтегральних мікросхемах до цін таблиці вводиться коефіцієнт k=1.07 - Електроенергетика(ДБН Д.1.1-7-2000 додаток 2) k=7.77 - Наказ Мінрегіонбуду України від 1.07.2008 N297(проектні роботи)	2480.0·2.0·1.2·1.5·1.07·7.77	74226.50
3	Розробка принципових схем диференційних захистів шин та ПРВВ 110 кВ, з застосуванням захистів підвищеної швидкодії та надійності на ІМС <u>Розрахунковий</u> <u>показник</u> <u>2(2 комплекта)</u>	Розд. 1,табл.40,п.14-2 k=1.2 - стадія проектування(ДБН Д.1.1-7-2000) - "Робочий проект" k=1.5 - При необхідності установки в мережах 110-1150 кВ пристроїв релейного захисту підвищеної швидкодії і надійності з використанням захистів на інтегральних мікросхемах до цін таблиці вводиться коефіцієнт k=1.07 – Електроенергетика (ДБН Д.1.1-7-2000 додаток 2) k=7.77 - Наказ Мінрегіонбуду України від 1.07.2008 N297(проектні роботи)	2480.0·2.0·1.2·1.5·1.07·7.77	74226.50
4	Розробка схем внутрішньої конфігурації логічних модулів основних та резервних мікропроцесорних захистів [18-20]	Цінник на розробку технічної документації на АСУТП, частина 2,табл.2.2 k=1.0 - Цінник на розробку технічної документації на АСУТП(ДБН Д.1.1-7-2000 додаток 2) k=7.77 - Наказ Мінрегіонбуду України від 1.07.2008 N297(проектні роботи) k=0.8 - одностадійність розробки k=0.5 - об'єм	Кількість балів та їх вартість - Для ЗР 4+4+3+3+2+2+3=21=42.84 тис.у.о.. Формула: 42840·1.0·7.77·0.8·0.5	133146.72
5	Розробка проекту автоматизованої системи збору інформації від МП пристроїв РЗА на ПС 1 [21-23]	Цінник на розробку технічної документації на АСУТП, частина 2,табл.2.2 k=1.0 - Цінник на розробку технічної документації на АСУТП(ДБН Д.1.1-7-2000 додаток 2) k=7.77 - Наказ Мінрегіонбуду України від 1.07.2008 N297	Кількість балів та їх вартість - Для ЗР 3+1+3+2+2=11= 22.44 тис.у.о.. Формула: 22440.00·1.0·7.77·0.8·0.9	125538.34

## продовження таблиці 5.1

6	Установка силових трансформаторі в 110/10 кВ потужністю до 40 МВА включно. Управління та автоматика. Розрахунковий показник 2(1 трансформатор)	Розд. 1,табл.36,п.20 k=0.23 - стадія проектування(ДБН Д.1.1-7-2000) - "Проект" k=1.07 - Електроенергетика(ДБН Д.1.1-7-2000 додаток 2) k=1.3 - застосування імпортного обладнання (СЦПР 1990, п.3.5) k=7.77 - Наказ Мінрегіонбуду України від 1.07.2008 N297(проект ні роботи)	$(800+600 \cdot (1+0.6)) \cdot 0.23 \cdot 1.07 \cdot 1.3 \cdot 7.77$	4375.11
7	Установка силових трансформаторі в 110/10 кВ потужністю до 40 МВА включно. Релейний захист. Розрахунковий показник 2(1 трансформатор)	Розд. 1,табл.36,п.20 k=0.06 - стадія проектування(ДБН Д.1.1-7-2000) - "Проект" k=1.07 - Електроенергетика(ДБН Д.1.1-7-2000 додаток 2) k=1.3 - застосування імпортного обладнання (СЦПР 1990, п.3.5) k=7.77 - Наказ Мінрегіонбуду України від 1.07.2008 N297(проект ні роботи)	$(800+600 \cdot (1+0.6)) \cdot 0.06 \cdot 1.07 \cdot 1.3 \cdot 7.77$	1141.33
8	Відкритий розподільчий пристрій 110 кВ схема зі збірними шинами з кількістю приєднань понад 15 до 30 включно. Управління та автоматика. Розрахунковий показник 16(1 приєднання)	Розд. 1,табл.36,п.5 k=0.31 - стадія проектування(ДБН Д.1.1-7-2000) - "Проект" k=1.07 - Електроенергетика(ДБН Д.1.1-7-2000 додаток 2) k=1.3 - застосування імпортного обладнання (СЦПР 1990, п.3.5) k=7.77 - Наказ Мінрегіонбуду України від 1.07.2008 N297(проект ні роботи)	$(2740+340 \cdot (6+10 \cdot 0.6)) \cdot 0.31 \cdot 1.07 \cdot 1.3 \cdot 7.77$	22850.4 2
9	Відкритий розподільчий пристрій 110 кВ схема зі збірними шинами з кількістю приєднань понад 15 до 30 включно.	Розд. 1,табл.36,п.5 k=0.05 - стадія проектування(ДБН Д.1.1-7-2000) - "Проект" k=1.07 - Електроенергетика(ДБН Д.1.1-7-2000 додаток 2) k=1.3 - застосування імпортного обладнання (СЦПР 1990, п.3.5) k=7.77 - Наказ Мінрегіонбуду України від 1.07.2008 N297(проект ні роботи)	$(2740+340 \cdot (6+10 \cdot 0.6)) \cdot 0.05 \cdot 1.07 \cdot 1.3 \cdot 7.77$	3685.55

## продовження таблиці 5.1

10	<p>Мережа складної розгалуженої кільцевої системи напругою 110-220 кВ з загальною кількістю станцій і підстанцій 25-20 поєднанні 5/20.</p> <p>Розробка релейного захисту та автоматики ПЛ 110 кВ.</p> <p>Розрахунковий показник 1(1 мережа)</p>	<p>Розд. 1,табл.40,п.13</p> <p>k=1.2 - стадія проектування(ДБН Д.1.1-7-2000) - "Проект"</p> <p>k=1.07 - Електроенергетика(ДБН Д.1.1-7-2000 додаток 2)</p> <p>k=1.3 - застосування імпортного обладнання (СЦПР 1990, п.3.5)</p> <p>k=7.77 - Наказ Мінрегіонбуду України від 1.07.2008 N297(проектн і роботи)</p>	2990·1.2·1.07·1.3·7.77	38779.36
11	<p>Мережа складної розгалуженої кільцевої системи напругою 110-220 кВ з загальною кількістю станцій і підстанцій 25-20 в поєднанні 5/20.</p> <p>Розробка релейного захисту та автоматики 1Т, 2Т 110/10 кВ.</p> <p>Розрахунковий показник 1(1 мережа)</p>	<p>Розд. 1,табл.40,п.13</p> <p>k=1.2 - стадія проектування(ДБН Д.1.1-7-2000) - "Проект"</p> <p>k=1.07 - Електроенергетика(ДБН Д.1.1-7-2000 додаток 2)</p> <p>k=1.3 - застосування імпортного обладнання (СЦПР 1990, п.3.5)</p> <p>k=7.77 - Наказ Мінрегіонбуду України від 1.07.2008 N297(проектн і роботи)</p>	2990·1.2·1.07·1.3·7.77	38779.36
12	<p>Мережа складної розгалуженої кільцевої системи напругою 110-220 кВ з загальною кількістю станцій і підстанцій 25-20 в поєднанні 5/20.</p> <p>Розробка дифзахисту та ПРВВ шин 110 кВ.</p> <p>Розрахунковий показник 1(1 мережа)</p>	<p>Розд. 1,табл.40,п.13</p> <p>k=1.2 - стадія проектування(ДБН Д.1.1-7-2000) - "Проект"</p> <p>k=1.07 - Електроенергетика(ДБН Д.1.1-7-2000 додаток 2)</p> <p>k=1.3 - застосування імпортного обладнання (СЦПР 1990, п.3.5)</p> <p>k=7.77 - Наказ Мінрегіонбуду України від 1.07.2008 N297(проектн і роботи)</p> <p>k=0.5 - об'єм</p>	2990·1.2·1.07·1.3·7.77·0.5	19389.68



## продовження таблиці 5.1

13	Загальнопідстанційний пункт керування з однією АБ для кіл оперативного струму з максимальною ємністю панелей від 20 до 250 включно. Управління і автоматика. Розрахунковий показник 120(1 панель)	Розд. 1,табл.36,п.31 к=0.14 - стадія проектування(ДБН Д.1.1-7-2000) - "Проект" к=1.07 - Електроенергетика(ДБН Д.1.1-7-2000 додаток 2) к=1.3 - застосування імпортного обладнання (СЦПР 1990, п.3.5) к=7.77 - Наказ Мінрегіонбуду України від 1.07.2008 N297(проектні і роботи)	$(780+40 \cdot (80+40 \cdot 0.6)) \cdot 0.05 \cdot 1.07 \cdot 1.3 \cdot 7.77$	2669.59
<b>Всього по кошторису (грн.)</b>				<b>835714.44</b>

**Висновки до п'ятого розділу**

У даному розділі було розглянуто загальні відомості про кошторисні розрахунки, типи і призначення кошторисних документів. Також розглянуто основні методи розрахунку кошторисів. Приведено приклад кошторисів на проектні і вишукувальні роботи для проекту релейного захисту підстанції 110 кВ.

## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **6.1 Задачі розділу**

Кожна людина в Україні має право на охорону праці. Гарантії прав на охорону праці починаються вже з моменту обговорення та укладання трудової угоди, оскільки згідно ст. 5 Закону «Про охорону праці» умови трудового договору не можуть містити положень, що суперечать законам та іншим НПАОП. Під час укладання трудового договору роботодавець повинен проінформувати працівника під розписку про умови праці та про наявність на його робочому місці небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які ще не усунуто, можливі наслідки їх впливу на здоров'я та про права працівника на пільги і компенсації за роботу в таких умовах.

Працівнику не може пропонуватися робота, яка за медичним висновком протипоказана йому за станом здоров'я. До виконання роби підвищеної небезпеки та тих, що потребують професійного добору, допускаються особи за наявності висновку психофізіологічної експертизи.

В приміщенні є небезпечні і шкідливі виробничі фактори. Відносно наступних з них в проекті передбачені рішення з охорони праці:

У даній випускній кваліфікаційній роботі досліджуються практичні методи розрахунку струмів короткого замикання. Розглянемо умови праці інженерів-програмістів.

Враховуючи те, що для мінімізація ризику професійного захворювання та травматизму працівників при виконанні робіт пов'язаних з роботою за комп'ютерною технікою вимагається рішення цілого комплексу питань з охорони праці, а обсяг розділу даного диплому обмежений то сформулюємо основні задачі щодо охорони праці за темою магістерської кваліфікаційної роботи:

1. Провести аналіз умов праці при виконанні робіт пов'язаних з комп'ютерним моделюванням процесів під час коротких замикань, які працюють в складі електроенергетичної системи України за міждержавним ДСТУ 12.0.003-2015 Система стандартів безпеки труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

2. Розробити організаційно-технічні рішення з охорони праці при роботі за ЕОМ. Розглянути питання освітлення у приміщенні, де працюють інженери-програмісти.

3. Описати основні заходи протипожежного захисту приміщення інженерів-програмістів.

Початкові данні для рішення поставлених задач охорони праці використовуємо з попередніх розділів та підрозділів магістерської кваліфікаційної роботи: (вказати розділи та підрозділи роботи).

## **6.2 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта**

### **6.2.1 Санітарно-гігієнічні вимоги до робочого середовища користувача ЕОМ**

Основним обладнанням робочого місця користувача є відеомонітор, клавіатура, робочий стіл, стілець (крісло); допоміжним — пюпітр, підставка для ніг, шафи, полиці та ін. Вимоги до них відображені у нормативних документах: ВСНиПРВЦ; ГОСТ 12.2.032-78; ГОСТ 22269-76.

Під просторовою орієнтацією робочого місця розуміється розміщення у певному порядку елементів основного та допоміжного обладнання відносно одне одного та працюючої людини. Просторова організація робочого місця в основному визначається розмірами та формою сенсорного та моторного простору, формою та параметрами елементів робочого місця та просторовим розташуванням елементів відносно працюючого [25].

Робочі місця повинні розташовуватися на відстані не менше як 1,5 м від стіни з віконними прорізами, від інших стін — на відстані 1 м, між собою на відстані не менше як 1,5 м. При розміщенні робочих місць необхідно виключити можливість прямого засвічування екрана джерелом природного освітлення. Джерело природного освітлення (вікно) не повинно також потрапляти у зону прямого спостереження користувача. Відносно світлових отворів робочі місця доцільно розташовувати таким чином, щоб природне світло падало на нього збоку, переважно зліва.

При розміщенні ВДТ на робочому місці потрібно забезпечити простір для користувача величиною не менше як 850 мм з урахуванням виступаючих частин обладнання та застосування (при необхідності) спецодягу. Для стоп має бути передбачено простір по глибині та висоті не менше як 150 мм, по ширині — не менше як 530 мм.

Розташовувати ВДТ на робочому місці необхідно так, щоб поверхня екрана знаходилася на відстані 400 — 700 мм від очей користувача. Рекомендується розміщувати елементи робочого місця таким чином, щоб витримувалася однакова відстань очей користувача від екрана, клавіатури, тримача документів.

Залежно від виду роботи та зручності користувача доцільно користуватися можливістю повороту та регулюванням нахилу екрана. Ця вимога тим більш важлива, чим численнішими та різноманітнішими є заплановані випадки застосування ВДТ. Установка рівня екрана над столом та його розташування повинні забезпечуватися за допомогою вторинних пристроїв на робочому місці.

Необхідно стало розташовувати клавіатуру на робочому столі, не допускаючи її хитання. Разом з тим має бути передбачена можливість її поворотів та переміщень. Положення клавіатури та кут її нахилу повинні відповідати побажанням користувача.

Принтер треба розташовувати так, щоб доступ до нього користувача та його колег був зручним.

Конструкція робочого столу повинна забезпечувати можливість оптимального розміщення на робочій поверхні обладнання, що використовується, з урахуванням його кількості, розмірів, конструктивних особливостей та характеру роботи, яка виконується. Корисно мати модульне, рухоме робоче місце. Площа столу залежить від всіх необхідних для роботи компонентів, що розміщуються, та повинна допускати можливість вільного переміщення пристроїв. Поверхня столу має бути матовою з малим відбиттям та теплоізолюючою.

Розташування технічних засобів повинно давати можливість користувачеві виконувати прості функції лівою рукою з метою зниження великих навантажень на праву руку під час ведення записів, роботи з клавіатурою та інших операцій. Якщо у конструкції клавіатури не передбачено простору для опори долонь, то її слід розташовувати на відстані не менше як 100 мм від краю столу в оптимальній зоні моторного поля.

Якщо конструкція робочого місця передбачає протікання трудового процесу у позі сидячи, то висота робочої поверхні столу повинна регулюватися у межах 680 — 800 мм, у середньому вона повинна становити 725 мм. Робочий стіл повинен мати простір для ніг висотою не менше як 600 мм, шириною не менше як 500 мм, глибиною на рівні колін, але не менше як 450 мм та на рівні витягнутої ноги — не менше як 650 мм.

Робоче крісло забезпечує підтримання робочої пози у положенні сидячи, і чим триваліше це положення протягом робочого дня, тим жорсткішими мають бути вимоги до створення зручних та правильних робочих сидінь.

Існує цілий ряд публікацій щодо конструювання різних типів робочих крісел. Незважаючи на розбіжність думок дослідників у визначенні деяких параметрів, виділяють загальні рекомендації конструювання крісла: необхідність регулювання найбільш важливих його елементів — висоти сидіння, висоти спинки сидіння та кута нахилу спинки. Причому процес регулювання має бути нескладним. Не слід надмірно збільшувати кількість

регульованих параметрів крісла, оскільки це позначатиметься на його стійкості. Для надання більшої стійкості та попередження перекидання при відхиленні тіла на спинку крісла у багатьох європейських країнах використовують стільці на п'яти ніжках.

Встановлення правильної висоти сидіння є першочерговим завданням під час організації робочого місця. Цей параметр визначає інші просторові параметри — висоту положення екрана, клавіатури, поверхні для записів тощо. Висота поверхні сидіння визначається висотою підколінної ямки над підлогою, виміряної у положенні сидячи при куті згинання коліна  $90^\circ$ . Висоту сидіння необхідно регулювати.

Конструкція робочого стільця (крісла) повинна забезпечувати підтримання раціональної робочої пози під час виконання основних виробничих операцій, створювати умови для зміни пози. З метою попередження втоми необхідно забезпечити зниження статичного напруження м'язів шийно-плечової ділянки та спини.

Тип робочого стільця повинен обиратись залежно від характеру та тривалості роботи. Він має бути підйомно-поворотним і регулюватися по висоті та кутах нахилу сидіння і спинки, а також відстані спинки від переднього краю сидіння. Регулювання кожного параметра має бути незалежним і мати надійну фіксацію. Всі важелі та ручки пристосування (для регулювання) мають бути зручними в управлінні.

Висота поверхні сидіння повинна регулюватись у межах 400 — 550 мм. Ширина та глибина його поверхні має бути не менше як 400 мм. Поверхня сидіння має бути плоскою, передні краї — закругленими. Сидіння та спинка крісла мають бути напівм'якими, з неслизьким, таким, що не електризується та повітропроникним покриттям, матеріал якого забезпечує можливість легкого очищення від забруднення. Слід передбачити можливість зміни кута нахилу поверхні сидіння у межах від  $15^\circ$  уперед та  $5^\circ$  назад.

Опорна поверхня спинки стільця повинна мати висоту 280 — 320 мм, ширину — не менше як 380 мм та радіус кривизни горизонтальної площини — 400 мм. Кут нахилу спинки у вертикальній площині повинен регулюватися у межах ( $-30^\circ$ ) — ( $+ 30^\circ$ ) від вертикального положення. Відстань спинки від переднього краю сидіння повинна регулюватися у межах 260 — 400 мм.

З метою зниження статичного напруження м'язів рук доцільно використовувати стаціонарні або зйомні підлокітники довжиною не менше як 250 мм, шириною у межах 50—70 мм, що мають регулюватися по висоті над сидінням у межах 200 — 260 мм та регулюватися по параметру внутрішньої відстані між підлокітниками у межах 350 — 500 мм. В окремих випадках підлокітники доцільно виконувати у вигляді складового елемента робочого столу.

Зручність невеликих переміщень у просторі робочої зони, зумовлених характером виробничої діяльності, може бути забезпечена за наявності спеціальних коліщаток на ніжках стільця (звичайних або гальмівних) або шляхом ковзання по поверхні підлоги, що залежить від матеріалу її покриття.

Робоче місце має бути обладнане стійкою підставкою для ніг, параметри якої просто регулюються. Вона має бути розташована по всій ширині ділянки, що відводиться для ніг. Підставка повинна мати ширину не менше як 300 мм, глибину не менше як 400 мм, регулювання по висоті до 150 мм та по куту нахилу опорної поверхні підставки до  $20^\circ$ . Поверхня підставки має бути рифленою, а по передньому краю мати бортик висотою 10 мм.

Робоче місце користувача ВДТ має бути обладнане легко переміщуваним пюпітром для розташування на ньому документів. Пюпітр має бути розміщений на одному рівні з екраном та віддалений від очей користувача приблизно на таку ж відстань (припустима розбіжність цих відстаней не більше як 100 мм). Місце установки пюпітра має бути обрано таким чином, щоб він не вібрував. Пюпітр має бути стійким, щоб можна було робити короткі записи від руки (підкреслення, невеликі виправлення).

Величина площини пюпітра має бути не меншою за розміри найбільшого з джерел інформації, що застосовуються користувачем. При необхідності перегортання оригіналу обидві його сторони повинні розташовуватися на підставці. Рукопис повинен слабо прилипати до підставки або кріпитися за допомогою спеціальних зажимів. Поверхня пюпітра має бути матовою, щоб навіть при малих розмірах документа не було відбиття світла.

Пюпітр повинен мати лінійку, що легко пересувається по рядках, прозору та зручну для використання. Окрім того, її пересування не повинно викликати сковзання документа.

Якщо рукопис переважно складається з документів, з яких у ПЕОМ вводиться мало інформації та які добре структуровані, то слід застосовувати спрощений пюпітр без рядкової лінійки та зажимів.

Під час організації робочого простору необхідно враховувати індивідуальні антропометричні параметри користувача з відповідними допусками на можливі зміни робочих поз та потребу у переміщеннях.

Раціональною робочою позою може вважатися таке розташування тіла, при якому ступні працівника розташовані на площині підлоги або на підставці для ніг, стегна зорієнтовані у горизонтальній площині, верхні частини рук — вертикально.

### **6.2.2 Заходи по забезпеченню електробезпеки**

При несправності електрообладнання, та при ремонтних роботах приладів у приміщенні людину може вразити електричний струм.

У приміщенні електроприлади живляться від трифазної, чотирипровідної мережі з заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. У приміщенні підлога дерев'яна, суха, немає струмопровідного пилу, підвищеної вологості і других ознак приміщень підвищеної і особливої небезпеки. Умови роботи у приміщенні без підвищеної небезпеки (відповідно з ГОСТ 12.1.013-78 ·10]). Для



захисту людини від ураження електричним струмом необхідно застосовувати для однофазних споживачів електричної енергії напругою 220 В нульовий захисний провідник.

### 6.3 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

#### 6.3.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні встановлюють допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення.

Таблиця 6.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт , Па

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	Середньої важкості Па	17-29	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		15-24	До 75%	не більше 0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено:

1. Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні оптимальних параметрів мікроклімату не повинні бути більше ніж на 2°C за діапазон норм.

2. Якщо температура поверхонь вище або нижче оптимальної температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1м.

3. Для забезпечення нормованих значень руху кисню проектом

передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

### 6.3.2 Склад повітря робочої зони

Робочою зоною вважається простір, який обмежений огорожуючими конструкціями виробничих приміщень, що мають висоту 2 м над рівнем підлоги або площини, на яких знаходяться місця постійного або непостійного перебування працюючих. Склад повітря робочої зони залежить від складу атмосферного повітря і впливу на нього ряду шкідливих виробничих факторів, утворених в процесі трудової діяльності людини. Склад повітря залишається постійним. Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м<sup>3</sup> [24].

Таблиця 6.2 – Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

Найменування речовини	ГДК, мг/куб.м		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця. Нагромадження пилу вказує на необхідність у вживанні заходів по очищенню від нього. Тому необхідно здійснювати наступні заходи:

- очищувати пил якнайчастіше.
- щодня протирати гарячі поверхні.

Планувати прибирання так щоб вони приходилось на час, коли устаткування виключене, як, наприклад, у другу половину дня п'ятниці або на вихідні.

### 6.3.3 Виробниче освітлення

В залежності від джерела світла промислове освітлення поділяється на: - природне освітлення - освітленість приміщень світлом неба (прямого або відображеного), яке проникає через світлові проїми в зовнішніх огорожених конструкціях. По своєму спектральному складу воно є найбільш сприятливим. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості КПО ( $e_n$ ). КПО - відношення природного освітлення, яке створюється в деякій точці заданої площини всередині приміщення світлом неба, до значення зовнішньої горизонтальної освітленості.

КЕО при природному та суміщеному освітленню.

Характеристика зорової роботи при виконанні - роботи високої точності;

Розряд - III;

Підрозряд зорової роботи - б;

Контраст об'єкту розпізнавання - середній;

Характеристика фону - темний;

Бокове КЕО, %:

- природне 2,0;

- суміщене 1,2.

Основною величиною для розрахунку і нормування природного освітлення є коефіцієнт природної освітленості (КПО). Прийняте роздільне нормування КЕО для бічного і верхнього освітлення. Ті місця, що освітлюється тільки бічним світлом, нормується мінімальне значення КЕО в межах робочої зони, що повинно бути забезпечене в точках, найбільше віддалених від вікна. Нормовані значення КЕО для будинків визначаються за формулою:

$$e_n = e_n \cdot m_n , \quad (6.1)$$

де  $e_n$  - значення КЕО для будинків;

$m_n$  - коефіцієнт сонячності клімату - 0,85, вікна зорієнтовані на захід.

Природне:  $e_n = 2,0 \cdot 0,85 = 1,7 \%$ ,

суміщене:  $e_n = 1,2 \cdot 0,85 = 1,0 \%$ .

Штучне освітлення.

- штучне освітлення використовується двох систем: загальне або комбіноване. Загальне освітлення - освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно або пристосувальне до розташування обладнання. Комбіноване освітлення - додаткове освітлення, при якому до загального освітлення додається ще й місцеве. Місьцеве освітлення - освітлення, яке створюється світильниками, які концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Штучне освітлення, лк:

загальне - 300 лк; комбіноване – 1000 лк.

Для забезпечення нормативного значення  $e_{min}$  передбачено:

### 6.3.4 Виробничий шум

Рівень звука вимірюється в децибелах і визначається по формулі:

$$L = 20 \cdot \lg \left( \frac{P}{P_0} \right) = 20 \cdot \lg \left( \frac{U}{U_0} \right), \quad (6.2)$$

де  $L$  - рівень шуму, дБ;

$P$  - звуковий тиск, Па;

$U_0$  - коливальна швидкість,  $5 \cdot 10^{-8}$  м/с;

$P_0$  - нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц, умовно прийняте рівним  $2 \cdot 10^{-5}$  Па.

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні

шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки».

Таблиця 6.3– Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

### 6.3.5 Електромагнітні випромінювання та поля

Відеодисплейний термінал на основі ЕПТ є джерелом випромінювання кількох діапазонів електромагнітного спектра. Реальна інтенсивність кожного

діапазону, частота та інші параметри залежать від технічної конструкції конкретного терміналу, екранування та інших факторів.

Розглянемо особливості появи електромагнітного випромінювання різних діапазонів.

Діапазон 1. Рентгенівське випромінювання виникає усередині колби ЕПТ, коли електрони, які летять з великою швидкістю, різко сповільнюються матеріалом екрана. Енергія цих променів обмежена потенціалом розгону.

Діапазон 2. Оптичні види випромінювання виникають завдяки взаємодії електронів з шаром люмінофора на екрані. До видимого спектра примикає випромінювання, близьке до ультрафіолетового та інфрачервоного діапазонів.

Діапазон 3. Високочастотні електромагнітні поля виникають під дією електронного променя і пов'язані з частотою формування елемента зображення, а також з інтенсивністю променя (яскравістю точок на екрані) та ін.

Діапазон 4. Низькочастотні електромагнітні поля виникають у системі горизонтальної розгортки (перетворювач горизонтальної розгортки, з'єднувальні проводи та екран).

Діапазон 5. Поля з надто низькими частотами пов'язані з частотою регенерації (частота вертикальної розгортки) та безпосередньо залежать від системи вертикальної розгортки (генеруючої потр? е магнітне поле) та інших факторів.

Діапазон 6, Електростатичні поля часто виникають у зв'язку з потенціалом розгону електронів у ЕПТ та провідністю поверхні екрана.

Види випромінювань, часова залежність яких не може бути описана за допомогою простої синусоїдальної функції (однієї визначеної частоти), породжують "гармоніки" з більш високими частотами та більш низькими амплітудами. Тому кожен з діапазонів 3—5 містить основну частоту та кілька гармонік з більш високими частотами.

Більшість діапазонів значною мірою залежить від режимів роботи ВДТ. Це точно встановлено для діапазонів 2, 3 та 5.

При використанні таких технічних засобів, як мигаючий курсор і т. п.,

можуть виникнути субгармоніки.

#### **6.4 Пожежна безпека**

Приміщення, де здійснюється експлуатація ПК, відноситься до категорії Д – негорючі речовини у холодному стані. Будівля студії характеризується III ступенем вогнестійкості.

До III ступенем вогнестійкості відносяться будівлі з штучними та захисними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриття допускається застосування дерев'яних інструкцій, захищених штукатуркою або важкогорючими листовими, а також нитковими матеріалами. До елементів покриття висуваються вимога по межах огнестійкості та межах розповсюдження полум'я; при цьому елементи укриття з деревини піддаються вогнезахисній обробці.

Межі вогнестійкості занесені у таблицю 10.6.

У чисельнику вказуються межі вогнестійкості будівельних конструкцій; у знаменнику - межі розповсюдження полум'я по них.

В таблиці 6.5 приведені протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх огнестійкості.

Мінімальні відстані між будівлями і спорудами відповідно до III ступеня вогнестійкості становлять 12 м.

У випадку виникнення пожежі робітники повинні: прийняти всі заходи по ліквідації вогню; місце, яке загорілось слід гасити вогнегасником; при загоранні електропроводів слід відключити лінію, а ізоляцію електропроводів необхідно гасити тільки вуглекислотним вогнегасником або піском; зупинити обладнання.

В таблиці 6.7 приведена допустима кількість поверхів і площа поверху і межах пожежного відсіку будівлі відповідно до ступеня вогнестійкості.

Ящик для піску має місткість  $1,0 \text{ м}^3$  та бути укомплектований совковою лопатою. Конструкція ящика повинна забезпечувати зручність діставання піску та виключати попадання опадів.

Таблиця 6.4 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій і максимальні межі розповсюдження полум'я по них.

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колони	Сходові площадки, балки, косоури, марші сходових кліток	Плити, настили (з утеплювачем), несучі конструкції перекрить	Елементи перекрить	
	Несучі	Самонесучі	Зовнішні несучі	Внутрішні несучі (перегородки)				Плити, настили, прогони	Балки, ферми, арки, рами
II	1/0	0,5/0	0,2/40	0,2/40	0,25/0	1/0	0,25/0	0,25/25	0,25/0

Таблиця 6.5 – Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості

Номер п/п	Протипожежна перешкода	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальні межі вогнестійкості протипожежних перешкод або їх елементів, год
1	Протипожежні стіни	1	2.5
		2	0.75
2	Протипожежні перегородки	1	0.75
		2	0.25
3	Протипожежні перекриття	1	2.5
		2	1
		3	0.75



Таблиця 6.7 – Допустима кількість поверхів і площа поверху в межах пожежного відсіку будівлі.

Категорія будівлі (пожежних відсіків)	Допустима кількість поверхів	Ступінь вогнестійкості будівлі	Площа поверху в межах пожежного відсіку, м <sup>2</sup> , будівель		
			Одноповерхових	багатоповерхових	
				2 поверхи	3 поверхи і більше
Д	1	III	не обмежується		
				-	-

На студії розташовано 2 пожежних щита (стенда), до комплексу засобів пожежогасіння, які розміщені на ньому, включені: вогнегасники ВП-5 – 3 шт., ящик з піском – 1 шт., покривало з негорючого теплоізоляційного матеріалу або повсті розміром 2м х 2м – 1 шт., гаки – 3 шт., лопати – 2 шт., ломи – 2 шт., сокири – 2 шт.

### **6.5 Дослідження стійкості роботи лінії електропередачі 110 кВ в умовах дії загрозливих чинників надзвичайної ситуації**

Надзвичайні ситуації природного характеру формуються внаслідок таких природних явищ, як повені, землетруси, посухи тощо. Загалом надзвичайні ситуації розрізняють за конкретними природними явищами, що викликають ці ситуації. До них належать великі повені, катастрофічні затоплення, землетруси та зсувні процеси, лісові та польові пожежі, великі снігопади та ожеледі, урагани, смерчі та шквальні вітри тощо.

Лінії електропередачі — це обладнання відкритого типу постійно зазнає впливу кліматичних факторів і дуже уразливі при екстремальних природних явищах. Тому для забезпечення надійної роботи ПЛ необхідно забезпечувати її захист різними пристроями в залежності від виду кліматичних впливів.

Лінії напругою 110 кВ призначені для передачі великих потужностей між електричними станціями і великими районними підстанціями для електропостачання великих міст або економічних районів на відстані до 600 км. А тому вихід з ладу високовольтною лінії призведе знеструмлення підстанції, а й може спричинити ситуації, що загрожуватимуть життю та здоров'ю людей

Причини пошкоджень повітряних ліній в основному пояснюються наступними факторами: перенапругами, змінами температури навколишнього середовища, дією іонного випромінювання, ожеледними утвореннями на проводах, вібрацією, забрудненням повітря та ін.

Дія вітру під час буревію приводить до появи додаткової горизонтальної сили, отже, до додаткової механічного навантаження на дроти, троси і опори. При цьому збільшуються тяжіння проводів і тросів і механічні напруги їх матеріалу. З'являються також додаткові згинальні зусилля на опори.

### **6.5.1 Дослідження стійкості роботи ЛЕП 110 кВ в умовах дії іонізуючих випромінювань**

При оцінці стійкості роботи електричної мережі проводиться аналіз і оцінка стійкості роботи всіх елементів, що піддаються дії ЕМІ. Забезпечення високої надійності роботи електротехнічної і електронної апаратури, кабельних і повітряних ліній може бути досягнуто при наявності високого перехідного затухання між джерелом перешкод і колами.

Можливу дозу опромінення  $D_m$  за встановлений час можна визначити за формулою 5.16:

$$D_m = \frac{2 \cdot p_1 \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{\text{посл}}}, [P]. \quad (6.3)$$

$D_m$  для пульта керування:

$$D_M' = \frac{2 \cdot 4,79 \cdot (\sqrt{70080} - \sqrt{1})}{4} \approx 632 \text{ (P)}. \quad (6.4)$$

$D_M$  для система збору і обробки даних:

$$D_M'' = \frac{2 \cdot 4,79 \cdot (\sqrt{35040} - \sqrt{1})}{2} \approx 892 \text{ (P)}. \quad (6.5)$$

$D_M$  для системи захисту:

$$D_M''' = \frac{2 \cdot 4,79 \cdot (\sqrt{26280} - \sqrt{1})}{1} \approx 1544 \text{ (P)}. \quad (6.6)$$

Допустимий час роботи апаратної частини підстанції в заданих умовах можна визначити з використанням 6.4:

$$t_{\partial} = \left( \frac{D_{zp} \cdot K_{носл} + 2 \cdot p_{1max} \cdot \sqrt{t_n}}{2p_{1max}} \right)^2, [\text{год}]. \quad (6.7)$$

Допустимий час роботи пульта керування буде становити:

$$t_{\partial}' = \left( \frac{10^3 \cdot 4 + 2 \cdot 4,79 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,73} \right)^2 \approx 179626 \text{ (год)} \approx 20 \text{ (р)}. \quad (6.8)$$

Допустимий час роботи системи збору і обробки даних буде становити:

$$t_o'' = \left( \frac{10^3 \cdot 2 + 2 \cdot 5,67 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 5,67} \right)^2 \approx 45120 \text{ (год)} \approx 5,1 \text{ (р)}. \quad (6.9)$$

Таблиця 6.8 – Максимально допустимі експозиційні дози для елементів ЛЕП 110 кВ

№ п/п	Системи	Елементи РЕА	Д <sub>гр, Р</sub>	Д <sub>гр, Р</sub>
1	Пульт керування. Блок живлення (U <sub>ж</sub> = 24 В)	Транзистор NDS9435A	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>
		Конденсатор EHR471M25BA	10 <sup>6</sup>	
		Діод STPS2L25U	10 <sup>4</sup>	
2	Система збору і обробки даних. Блок пам'яті (U <sub>ж</sub> = 12 В)	Мікросхема LM258ADT	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>
		Мікросхема ULN2803AFWG	10 <sup>3</sup>	
		Транзистор IRF7420	10 <sup>5</sup>	
3	Система аварійного ввімкнення. Блок захисту (U <sub>ж</sub> = 5 В)	Діод STPS2L25U	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>
		Транзистор IRFB3207Z	10 <sup>4</sup>	

Допустимий час роботи системи захисту буде становити:

$$t_o'' = \left( \frac{10^3 \cdot 1 + 2 \cdot 4,79 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,79} \right)^2 \approx 11107 \text{ (год)} \approx 1,1 \text{ (р)}. \quad (6.10)$$

Результати розрахунку експозиційної дози опромінення та допустимого часу роботи для системи електроспоживання електричної підстанції 110 кВ представлені в таблиці 6.9.

В ході розрахунків було визначено допустимий час роботи апаратної частини. Отже для пульта керування  $t_{\text{доп}} = 20$  років при заявлених виробником 8-ми, як бачимо випромінювання не вплине на роботу блока, для система збору і обробки даних  $t_{\text{доп}} = 5,1$  року при заявлених виробником 4-х, отже дія

випромінювання буде не значною, а для блоку системи захисту  $t_{\text{доп}} = 1,1$  року при заявлених виробником 3-х, що свідчить про швидке руйнування елементів блоку.

Таблиця 6.9 – Дані розрахунку  $D_m$ ,  $t_{\text{доп}}$  для ЛЕП 110 кВ

№	Блоки системи електропостачання	$D_m(P)$	$t_{\text{доп.}}(p.)$
1	Пульт керування	632	20
2	Система збору і обробки даних	892	5,1
3	Система захисту	1544	1,1

### 6.5.2 Дослідження стійкості роботи ЛЕП 110 кВ в умовах дії електромагнітного імпульсу

За критерій стійкості роботи ЛЕП 110 кВ в умовах дії ЕМІ можна прийняти КБ окремо для вертикальних і горизонтальних струмопровідних частин

Отже, допустиме коливання напруги живлення для пульта керування при  $U_{\text{ж}} = 24\text{В}$  становить:

$$U'_d = 24 + \frac{24}{100} \cdot 10 = 26,4 \text{ (В)}. \quad (6.11)$$

Допустиме коливання напруги живлення для системи збору і обробки даних при  $U_{\text{ж}} = 12\text{В}$  становить:

$$U''_d = 12 + \frac{12}{100} \cdot 10 = 13,2 \text{ (В)}. \quad (6.12)$$

Допустиме коливання напруги живлення для система а захисту при  $U_{\text{ж}} = 5\text{В}$  становить:

$$U'''_d = 5 + \frac{5}{100} \cdot 10 = 5,5 \text{ (В)}. \quad (6.13)$$

Визначимо горизонтальну складову напруженості електричного поля за формулою:

$$E_{\Gamma} = 10^{-3} \cdot E_B, \text{ [кВ/м]}. \quad (6.14)$$

Отже, горизонтальна складова напруженості електричного поля при  $E_B=12,82$  кВ/м буде становити:

$$E_{\Gamma} = 10^{-3} \cdot 12,86 \cdot 10^3 = 12,82 \text{ (В/м)}. \quad (6.15)$$

Визначимо максимальні довжини струмопровідних частин підстанції:

$$l_{zi} = 4,73 \text{ м}, l_{\partial i} = 1,26 \text{ м} \quad (6.16)$$

4. Використовуючи 6.14 та 6.15:

$$U_{\partial i} = E_z \cdot l_{\partial i}; \text{ [В]} \quad (6.17)$$

$$U_{zi} = E_{\partial} \cdot l_{zi}; \text{ [В]} \quad (6.18)$$

Визначимо напруги наводок у струмопровідних частинах.

Пульт керування:

$$U'_{zi} = 12,86 \cdot 0,1 = 1,28 \text{ (В)}; \quad (6.19)$$

$$U'_{\partial i} = 12,86 \cdot 1,3 = 16,71 \text{ (кВ)}.$$

Система збору і обробки даних:

$$U''_{zi} = 12,86 \cdot 2,7 = 34,72 (B); \quad (6.20)$$

$$U''_{vi} = 12,86 \cdot 1,2 = 15,43 (\kappa B).$$

Система захисту:

$$U'''_{zi} = 12,86 \cdot 4,3 = 55,2 (B); \quad (6.21)$$

$$U'''_{vi} = 12,86 \cdot 1,6 = 20,5 (\kappa B).$$

Визначимо коефіцієнти безпеки:

$$K_{B_{vi}} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\partial}}{U_{vi}}, [\text{дБ}]; \quad (6.22)$$

$$K_{B_{zi}} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\partial}}{U_{zi}}, [\text{дБ}]. \quad (6.23)$$

Отже, коефіцієнти безпеки для пульта керування будуть дорівнювати:

$$K'_{B_{vi}} = 20 \cdot \lg \frac{26,4}{16,71} \approx 4 \text{ (дБ)}; \quad (6.24)$$

$$K'_{B_{zi}} = 20 \cdot \lg \frac{26,4}{1,28} \approx 26,856 \text{ (дБ)}. \quad (6.25)$$

Коефіцієнти безпеки для системи збору і обробки даних будуть дорівнювати:

$$K''_{B_{\theta i}} = 20 \cdot \lg \frac{13,2}{15,43} \approx -1,3 \text{ (дБ)}; \quad (6.25)$$

$$K''_{B_{z i}} = 20 \cdot \lg \frac{13,2}{34,72} \approx -8,373 \text{ (дБ)}. \quad (6.26)$$

Коефіцієнти безпеки для системи захисту будуть дорівнювати:

$$K'''_{B_{\theta i}} = 20 \cdot \lg \frac{5,5}{20,5} \approx -11,428 \text{ (дБ)}; \quad (6.27)$$

$$K'''_{B_{z i}} = 20 \cdot \lg \frac{5,5}{55,2} \approx -20,1 \text{ (дБ)}. \quad (6.28)$$

Результати обчислень для інших блоків занесемо до таблиці 6.10.

Таблиця 6.10 – Розрахунок коефіцієнтів безпеки по блоках ЛЕП 110 кВ

	Блок ЛЕП	$l_{z i}$	$l_{\theta i}$	$K_{B_{\theta i}}$ , дБ	$K_{B_{z i}}$ , дБ	Стійкість блоку
1	Блок пульта керування	0,1	1,3	4	26,634	нестійкий
2	Блок пам'яті	2,7	1,2	-1,3	-8,373	нестійкий
3	Блок захисту	4,3	1,6	-11,428	-20	нестійкий

Оскільки  $K_{B_{\theta i}} < 40$  дБ та  $K_{B_{z i}} < 40$  дБ, то підстанція нестійка в роботі в умовах дії електромагнітного імпульсу.

### 6.5.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи ЛЕП 110 кВ в умовах дії загрозливих чинників у надзвичайній ситуації

Для захисту проводів від пошкоджень, що викликаються вібрацією при сильному вітрі, застосовуються різні засоби: зниження натягу в проводах, посилення проводів спіральною арматурою, зміна довжини прольотів між розпірками в розщеплених проводах.



Плавка дозволяє в короткий термін видалити ожеледь на десятках кілометрів ліній, попередивши небезпеку перевантаження, обриви і зближення проводів, руйнування опор і ліквідувати галопування проводів.

Також було оцінено стійкість об'єктів до дії ЕМІ на ЛЕП 110 кВ та розроблено шляхи боротьби з наслідками такої дії. Для цього досліджено такі параметри, як: граничні значення експозиційних доз елементів релейного захисту та автоматики. Також досліджено вертикальну та горизонтальну напругу наводки на струмоведучих частинах та коефіцієнти безпеки елементів релейного захисту та автоматики.

Для того, щоб робота ЛЕП 110 кВ була стійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу, необхідно щоб коефіцієнт безпеки знаходився в межах від 0 до 40 (дБ). Так як  $K_{б(в,г)} < 40$  (дБ), то апаратура буде не стійка в роботі і треба проводити екранування. Розрахуємо перехідне затухання енергії електричного поля екраном та товщини стінок екрану для процесорного блоку. Результати розрахунків для інших блоків виконуються аналогічно і представлені в таблиці 6.11.

$$A_{\text{екр1}} = K_{\text{min}} - K_{б,розр} = 40 - 2,363 = 37,637 \text{ (дБ)}, \quad (6.30)$$

$$T_1 = \frac{A_{\text{екр1}}}{k \cdot \sqrt{f}} = \frac{37,693}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,059 \text{ (см)}, \quad (6.31)$$

де  $k = 5,2$  (для сталі),  $f = 15000$  (Гц).

Для підвищення стійкості роботи ЛЕП 110 кВ до ЕМІ необхідно: встановити захисний екран із сталі з товщиною стінок 0,07 (см), на входах і виходах пульту управління встановити швидкодіючий пристрій вимкнення. Застосовуючи заходи по підвищенню стійкості, ми забезпечуємо працездатність релейного захисту і автоматики, а також повітряної лінії електропередач в умовах дії іонізуючих випромінювань та електромагнітного

імпульсу.

Таблиця 6.11 – Дані розрахунку захисного екрану по різним блокам

№	Елемент РЗА	$A_{\text{екр}}, (\text{дБ})$	$t_1, (\text{см})$
1	Процесорний блок	37,637	0,059
2	Блок живлення	40,404	0,063
3	Блок відображення	25,597	0,04
4	МПК	30,702	0,048
5	Блок пам'яті	42,499	0,067
6	Блок прийому і передачі	39,133	0,061
7	Оптична система	41,855	0,066
8	Диференціальний захист підстанцій та РП	32,64	0,051
9	МСЗ (максимальний струмовий захист) підстанцій та РП	35,563	0,056

### Висновки до шостого розділу

Також в даному розділі було оцінено стійкість роботи електричної мережі внаслідок НС, а саме стійкість роботи ЛЕП 110 кВ при дії ЕМІ. Для підвищення надійності роботи ЛЕП необхідно встановлення спіральних та маятникових гасителів вібрації та установки плавлення ожеледі, а також посилення конструкцій самих опор. Для захисту елементів релейного захисту та автоматики від дії ЕМІ необхідне встановлення захисного екрану товщиною стінок 0,6 (мм).

## ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі досліджено методи розрахунку струмів та напруг при двох одночасних коротких замиканнях.

1. Аналіз вітчизняних та іноземних літературних джерел свідчить про, те що в мережах 10-110 кВ, експлуатується обладнання, що вичерпало свій ресурс. Найчастіше виходять з ладу повітряні лінії електропередачі. Відмови в роботі пристроїв релейного захисту та автоматики становлять майже 20 % пошкоджень ЛЕП .

2. Під час подвійних замикань на землю в мережах з ізольованою нейтраллю релейні захисти, які реагують на зростання струмів несиметрії, а саме струми нульової послідовності, не завжди спрацьовують або працюють помилково.

3. Для дослідження процесів в електричних мережах 10-110 кВ під час подвійних замкнень використовується метод комплексних схем заміщення для визначення струмів та напруг.

4. Розрахункові вирази для обчислення струмів і напруг при двох одночасних к.з. в мережах з великим і малим струмом замикання на землю можуть бути складені на основі заданих ЕРС генераторів, а також при використанні принципу накладання, за умови, що в якості вихідної приймається елементарна схема з двостороннім живленням з ЕРС генераторів  $E_I$   $E_{II}$  та у вигляді зірки при наявності ЕРС в окремих її вітках.

5. Метод симетричних складових дозволяє виконати розрахунки для визначення параметрів, а саме струмів та напруг при металевому замиканні на землю в мережі 110 кВ з великим струмом замикання на землю, при металевому замиканні на землю при незаземлених нейтралях всіх трансформаторів та при металевому замиканні на землю на лінії з двостороннім живленням при незаземлених нейтралях всіх трансформаторів.

6. Кошторисний розрахунок для проекту релейного захисту та автоматики ПС 110 кВ, а саме основних та резервних захистів ПЛ 110 кВ, 1Т, 2Т, шин 110 кВ, ОВ 110 кВ, ШЗВ 110 кВ, управління та автоматики становить 835714.44 грн.

7. З метою підвищення надійності роботи ЛЕП 110 кВ в умовах НС необхідно встановлення спіральних та маятникових гасителів вібрації та установки плавлення ожеледі, а також посилення конструкцій самих опор. Для захисту елементів релейного захисту та автоматики від дії ЕМІ необхідне встановлення захисного екрану товщиною стінок 0,6 (мм).

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Выбор параметров настройки устройств РЗА. Компенсация емкостных токов в сетях 10 кВ [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://arhiv.rzia.ru/rza.communityhost.ru/thread/thread\\_\\_mid724392800thread\\_\\_start11.htm](http://arhiv.rzia.ru/rza.communityhost.ru/thread/thread__mid724392800thread__start11.htm).
2. Кідиба, В. П. Релейний захист електроенергетичних систем: навч. посіб. / В. П. Кідиба. – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2015. – 504 с.
3. Тошходжаева М.И., Анализ поврежденных линий электропередач 35-220 кВ на примере Согдийской электрической сети / М.И.Тошходжаева // Вестник Чувашского университета. – 2016. – № 1. – С. 105-111.
4. Лежнюк П.Д. Оптимізація режимів електричних мереж з відновлюваними джерелами електроенергії: монографія / П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, І.О. Гунько – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 164 с. – ISBN 978-966-641-717-9.
5. Ананичева С. С., Мызин А.Л., Методы анализа и расчета замкнутых электрических сетей: Учебное пособие / С. С. Ананичева, А.Л. Мызин. 4-е изд., исправл. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 94 с.
6. Щедрин Н.Н., Токи короткого замыкания высоковольтных линий, ОНТИ, 1935.
7. Костанян Г.Г., К теории сложных несимметричных повреждений в электрических системах, известная АН Арм. ССР (серия технических наук), т. ХИИ, 1959, № 2.
8. Clarke E., Circuit analysis of a.c. power systems, vol.1
9. Щедрин Н.Н., теории сложных несимметричных режимов электрических систем, "Электричество", 1986, № 5.
10. Городская Д.А., Преобразование треугольника с ЭДС в его сторонам в эквивалентную звезду, "Электричество", 1986
11. Страхов С.В., Тщ о преобразовании схем, содержащих ЭДС., "Электричество", 1967, № 19.

12. Зелях Е.В., Основы общей теории линейных электрических схем, Издательство АН СССР, 1951.
13. Бурковская В.Н., Пухов Г.Е., К расчету трехфазных цепей с произвольным числом коротких замыканий и разрывов фаз, "Электричество", 1955, № 5.
14. Чернин А.Б., Основы вычисления электрических величин для релейной защиты при сложных повреждениях в электрических системах / А.Б. Чернин, С. Б. Лосев. – 1970. – 437 с.
15. Яндутьський О. С. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем: навч. посіб. / О. С. Яндутьський, О. О. Дмитренко. – К. : НТУУ«КПІ», 2016. – 102 с.
16. Главацкий В. Г. Современные средства релейной защиты и автоматики электрических сетей / В. Г. Главацкий, И. В. Пономарев. – М. : ЕМУ СЭ «Энергомашвин», 2004. –147 с.
17. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учебник для вузов / В.А. Андреев – М. : Высш. шк., 2006. – 639 с.
18. Гельфанд Я. С. Релейная защита распределительных сетей. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.
19. Евстифеев, А. В. Микроконтроллеры AVR семейства Classic фирмы ATMEL: навч. пос. / А. В. Евстифеев. – М. : Издательский дом «Додэка-XXI», 2006. – 288 с.
20. Главацкий В. Г. Релейна защита и автоматика электрических сетей / В. Г. Главацкий, И. В. Пономарев. – М. : ЕМУ СЭ «Энергомашвин», 2018. –147 с.
21. Стогний Б. С. Микропроцессорные системы в электроэнергетике / Б. С. Стогний, В. В. Рогоза, А. В. Кириленко. – К. : Наукова думка, 2014. – 232 с.
22. Башнин О. И. Микропроцессоры в энергетике / Башнин О. И.Бувевич В. В., Каштелян В. Е. – Л. : Ленинградское отделение, 1982. – 189 с.

23. Петров И. В. ПЗО Программируемые контроллеры. Стандартные языки и инструменты / И. В. Петров. – М. : СОЛОН-Пресс, 2003. – 256 с.
24. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках / П. А. Долин. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.
25. Бондаренко Є. А. Безпека життєдіяльності : навч. посіб. / Є. А. Бондаренко, А. В. Сердюк. – Вінниця: ВДТУ, 2013. – 160 с.

**ДОДАТОК А****Технічне завдання МКР**

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електричних станцій і систем

**ЗАТВЕРДЖУЮ**Завідувач кафедри ЕССд.т.н., професор Лежнюк П.Д.

(наук. ст., вч. зв., ініц. та прізви.)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи  
ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУМІВ ТА НАПРУГ ПІД ЧАС  
ДВОХ ОДНОЧАСНИХ ЗАМКНЕНЬ В ЛЕП  
08-13.МКР.011.00.102 ТЗ

Науковий керівник: к.т.н., ст. викл. каф.  
ЕСС\_\_\_\_\_  
(підпис) Гунько І.О.

Магістр групи ЕС-18м

\_\_\_\_\_  
(підпис) Лабенський М.С.

Вінниця 2019 р.



## **1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)**

а) актуальність досліджень обумовлена тим, що в останній час кількість аварій в розподільних електричних мережах зростає. Це обумовлено зокрема тим, що експлуатується застаріле обладнання, в тому числі і застарілі пристрої релейного захисту та автоматики. Як свідчить аналіз вітчизняної літератури, в розподільних мережах мають місце подвійні замикання, при яких РЗА не завжди спрацьовує вірно, або взагалі не спрацьовує. Тому, актуальною задачею, є дослідження процесів, що відбуваються при діях одночасних коротких замиканнях, з метою визначення параметрів режиму, для подвільшого їх врахування при виборі на налаштуванні пристроїв РЗА.

б) наказ ректора ВНТУ № 254 від 2 жовтня 2019 р. про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

## **2. Мета і призначення МКР**

Мета МКР полягає у дослідженні методів розрахунку струмів та напруг при двох одночасних коротких замиканнях.

МКР призначена для:

- аналізу вітчизняних та іноземних джерел в питанні причин пошкодження обладнання електричних мереж 10-110 кВ;
- дослідження процесів в електричних мережах 10-110 кВ під час подвійних замкнень;
- аналізу методу симетричних складових для визначання струмів і напруг при двох одночасних КЗ;
- розрахунку параметрів режиму при подвійному замиканні;
- розрахуноку кошторисної вартості встановлення мікропроцесорного релейного захисту на ПС 10/110 кВ;
- дослідження заходів з безпечної експлуатації пристроїв релейного захисту та забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях.

## **3. Вихідні дані для виконання МКР**

Виконати розрахунок параметрів, а саме струмів та напруг при металевому замиканні на землю в мережі 110 кВ з великим струмом замикання на землю, при

металевому замиканні на землю при незаземлених нейтралях всіх трансформаторів та при металевому замиканні на землю на лінії з двостороннім живленням при незаземлених нейтралях всіх трансформаторів з використанням метод симетричних складових.

Список використаних джерел розробки:

1. Яндульський О.С. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту автоматики та управління електроенергетичних: навч. посіб. / О. С. Яндульський – К.: НТУУ “КПІ”, 2016. – 102 с.;

2. Кідиба, В. П. Релейний захист електроенергетичних систем: навч. посіб. / В. П. Кідиба. – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2015. – 504 с.;

3. Чернин А.Б., Основы вычисления электрических величин для релейной защиты при сложных повреждениях в электрических системах / А.Б. Чернин, С. Б. Лосев. – 1970. – 437 с.;

4. Ананичева С. С., Мызин А.Л., Методы анализа и расчета замкнутых электрических сетей: Учебное пособие / С. С. Ананичева, А.Л. Мызин. 4-е изд., исправл. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 94 с.

5. Яндульський О. С. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем: навч. посіб. / О. С. Яндульський, О. О. Дмитренко. – К. : НТУУ«КПІ», 2016. – 102 с.

6. Главацкий В. Г. Современные средства релейной защиты и автоматики электрических сетей / В. Г. Главацкий, И. В. Пономарев. – М. : ЕМУ СЭ «Энергомашвин», 2004. –147 с.

#### **4. Вимоги до виконання МКР**

Вимоги до виконання викладені у відповідних нормативних матеріалах з використанням основних законів електротехніки і методів розрахунку струмів короткого замикання .

#### **5. Економічні показники**

Провести кошторисний розрахунок вартості встановлення мікропроцесорного релейного захисту на ПС 10/110 кВ .

## 6. Етапи МКР та очікувані результати

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Розроблення технічного завдання	02.09.19	06.09.19	формування технічного завдання
2	Аналіз причин пошкодження обладнання електричних мереж 10-110 кВ	09.09.19	13.09.19	аналітичний огляд літературних джерел, задачі досліджень, розділ 1 ПЗ
3	Дослідження процесів в електричних мережах 10-110 кВ під час подвійних замкнень	16.09.19	27.09.19	розділ 2
4	Аналіз методу симетричних складових для визначання струмів і напруг при двох одночасних КЗ	30.09.19	11.10.19	розділ 3
5	Розрахунок параметрів режиму при подвійному замиканні	15.10.19	25.10.19	розділ 4
6	Економічні розрахунки	28.10.19	15.11.19	розділ 5
7	Розроблення заходів безпеки життєдіяльності та цивільного захисту	18.11.19	29.11.19	розділ 6
10	Оформлення пояснювальної записки та презентації	02.12.19	06.12.19	презентація

## 7. Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР, ілюстративні матеріали, відгук наукового керівника, відгук рецензента, протоколи складання державних іспитів, анотації до МКР українською та іноземною мовами.

## 8. Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР

відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, затвердженою наказом ректора.

### **9. Вимоги до оформлення МКР**

Вимоги викладені в «Положенні про кваліфікаційну роботу у Вінницькому національному технічному університеті (БДР (БД), ДП (ДР), МКР)», 2015р.

### **10. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом**

Відсутні.

## ДОДАТОК Б

### Графічний матеріал

1

#### Актуальність роботи

У трифазних електричних мережах можливі пошкодження електрообладнання і складні режими роботи. Причини виходу з ладу електрообладнання можуть бути різними, серед них пошкодження ізоляції, розрив проводів та кабелів, помилки персоналу при перемиканнях, що призводять до короткого замикання фаз між собою або на "землю".

Складні режими роботи електричних мереж виникають, як правило, в результаті аварій або післяаварійних відключень обладнання, при перевантаженнях і відхиленнях напруги від номінальних значень. І хоча ці режими впродовж деякого часу вважаються допустимими, вони створюють передумови для різного роду пошкоджень електрообладнання та проблеми в роботі електромереж. Для забезпечення нормальних умов роботи електричних мереж і попередження розвитку аварій необхідно швидко реагувати на зміну режиму роботи електричної мережі, миттєво відключити пошкоджене обладнання від справного і при необхідності включити резервне джерело живлення споживачів. Ці функції і виконують пристрої релейного захисту і автоматики.

Проте бувають такі складні пошкодження за яких пристрої релейного захисту спрацьовують не вірно або взагалі не спрацьовують. Був випадок, коли при короткому замиканні на шинях 10 кВ підстанції на одній фазі та короткому замиканні на фідері 10 кВ іншої фази, що рівносильно двофазному короткому замиканню (фази замкнулись через землю), захист фідера не спрацював. Це призвело до пошкодження обладнання розподільних електричних мереж.

Отже, актуальною задачею є задача дослідження струмів та напруг при двох одночасних замкненнях в ЛЕП, що дозволить надалі використати отримані результати для налаштування пристроїв релейного захисту та автоматики.

2

#### Мета та задачі досліджень

**Мета і задача досліджень.** Мета роботи полягає у дослідженні методів розрахунку струмів та напруг при двох одночасних коротких замиканнях

**Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні основні задачі:**

- \* виконати аналіз вітчизняних та іноземних джерел в питанні причин пошкодження обладнання електричних мереж 10-110 кВ;
- \* дослідити процеси в електричних мережах 10-110 кВ під час подвійних замкнень;
- \* проаналізувати метод симетричних складових для визначання струмів і напруг при двох одночасних КЗ;
- \* виконати розрахунок параметрів режиму при подвійному замиканні;
- \* виконати кошторисний розрахунок вартості встановлення мікропроцесорного релейного захисту на ПС 10/110 кВ;
- \* дослідити заходи з безпечної експлуатації пристроїв релейного захисту та забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях.

**Предметом дослідження** є подвійні короткі замикання в мережах 10-110 кВ.

**Об'єктом дослідження** є струми та напруги, що протікають в електричних мережах під час подвійних замиканнях.

## АНАЛІЗ ПРИЧИН ПОШКОДЖЕНЬ ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ 10-110 кВ

3.1

### Режими роботи електричних мереж 10-110 кВ

Розрізняють наступні режими роботи електричної мережі (ЕМ): нормальний, аварійний та післяаварійний. За нормального режиму роботи ЕМ, параметри режиму, знаходяться в нормованих межах, тобто це стан системи, за якого забезпечується економічне та надійне електропостачання споживачів без перевантаження основних елементів ЕЕС.

**Післяаварійний** режим настає після аварійного відключення елемента, частини елементів або частини схеми. В цьому режимі система може працювати з погіршеними техніко-економічними характеристиками. **Аварійний** режим характеризується різкою зміною параметрів внаслідок аварійної зміни в схемі живлячої системи.

До аварійних режимів відносять:

- міжфазні замикання (трифазні та двофазні);
- міжфазні замикання на землю;
- однофазні замикання на землю в мережах з глухозаземленою нейтраллю;
- подвійні замикання на землю (замикання неоднорідних фаз на різних фідерах одного класу напруги).

До аномальних режимів відносять однофазні замикання на землю в мережах на клас напруг 6-10-35 кВ в мережах з ізольованою нейтраллю.

Відомо, що під час однофазних замикань на землю струми замкнень в фазах залежать від ємнісних струмів фаз на землю, тому релейні захисти, які реагують на зростання струмів несиметрії, а саме струми нульової послідовності, які також змінюються під час однофазних замикань, не завжди спрацьовують або працюють помилково. Те саме стосується захистів від подвійних замикань на землю в мережах з ізольованою нейтраллю.

*Отже мета та задачі магістерської кваліфікаційної роботи є актуальними.*

## АНАЛІЗ ПРИЧИН ПОШКОДЖЕНЬ ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ 10-110 кВ

3.2



Число пошкоджень і відмов роз'єднувачів, відокремлювачів, короткозамикачів (100 апаратів на рік)

Причина пошкодження	Напруга 35 кВ		Напруга 110 кВ			
	Роз'єднувач	Відокремлювач	Короткозамикач	Роз'єднувач	Відокремлювач	Короткозамикач
	2	3	4	5	6	7
Перекриття опорних ізоляторів	0,8	0,8	0,3	0,8	0,05	0,01
Пошкодження опорних ізоляторів	0,7	1	1	0,25	0,4	0,2
Пошкодження контактів	0,15	0,1	-	0,1	-	-
Дефект приводу	0,05	0,2	0,2	0,02	0,1	0,1
Дефекти пружинних та передавальних механізмів, обертаючих механізмів та контактів	-	0,3	0,05	-	0,1	0,02
Пошкодження ізоляційних вставок	-	-	-	-	-	0,07
<b>Інші</b>	0,1	0,2	0,2	0,1	0,15	0,12
<b>Разом відмов</b>	<b>1,8</b>	<b>2,6</b>	<b>1,75</b>	<b>0,45</b>	<b>0,8</b>	<b>0,52</b>
<b>Зокрема з пошкодженнями обладнання</b>	<b>1,7</b>	<b>2,2</b>	<b>1,6</b>	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>	<b>0,4</b>

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 10-110 кВ ПІД ЧАС ПОДВІЙНИХ ЗАМКНЕНЬ

4.1

### Метод комплексних схем заміщення для визначення струмів та напруг при двох одночасних пошкодженнях

Цей метод використовується для визначення струмів та напруг при одночасному замиканні на землю однакових фаз (наприклад, В і С) в мережах з великим струмом замикання на землю (рис. 2.1, а).

Комплексна схема заміщення при одночасних двох несиметриях може бути складена, якщо електричне з'єднання між схемами окремих послідовностей є тільки в одному місці несиметрії, а у іншому місці виконано з'єднання за допомогою проміжних трансформаторів. На рис. 2.1, б-г показані комплексні схеми заміщення для ряду випадків двох одночасних пошкоджень в точках К і L, що характеризуються фазою А.

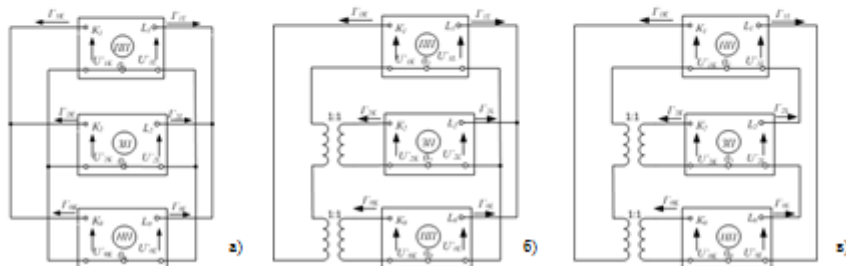


Рисунок 4.1 – Комплексні схеми заміщення для випадків к, л в мережах з великим струмом замикання на землю: а) замикання на землю фаз В і С в точках К і L; б) замикання на землю фази А в точці К при замиканні в точці L на землю фаз В і С; в) – на землю фази А.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 10-110 кВ ПІД ЧАС ПОДВІЙНИХ ЗАМКНЕНЬ

4.2

### Метод комплексних схем заміщення для визначення струмів та напруг при двох одночасних пошкодженнях

Комплексні схеми заміщення на рис. 4.2, а-б можуть використовуватися для розрахунку складних пошкоджень в мережах з малим струмом замикання на землю. При цьому схема нульової послідовності є двополосним із затискачами  $K_0$  і  $L_0$  і має опір  $Z_0$ .

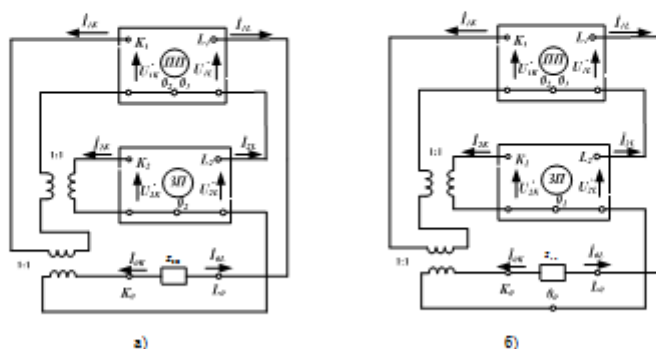


Рисунок 4.2 – Комплексні схеми заміщення для випадків к, л в мережі з малим струмом замикання на землю: а) при замиканні на землю фаз В і С в точці L; б) – замикання на землю фази А в точці К і L.

**ВИЗНАЧЕННЯ СТРУМІВ І НАПРУГ ПРИ ДВОХ ОДНОЧАСНИХ КОРОТКИХ ЗАМИКАННЯХ МЕТОДОМ СИМЕТРИЧНИХ СКЛАДОВИХ**

**5.1**

Розрахункові вирази для обчислення струмів і напруг при двох одночасних к.з. в мережах з великим і малим струмом замикання на землю можуть бути складені на основі заданих ЕРС генераторів, а також при використанні принципу накладання, за умови, що в якості вихідної приймається елементарна схема з двостороннім живленням з ЕРС генераторів  $E_I, E_{II}$  (рис. 5.1) та у вигляді зірки (рис. 5.2) при наявності ЕРС в окремих її вітках .

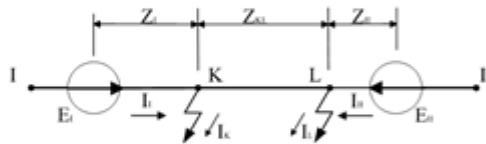


Рисунок 5.1 – Схема з двостороннім живленням при пошкодженнях в точках К та L

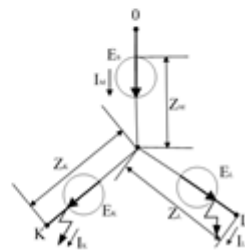


Рисунок 5.2 – Схема у вигляді зірки при пошкодженнях в точках К та L

**ВИЗНАЧЕННЯ СТРУМІВ І НАПРУГ ПРИ ДВОХ ОДНОЧАСНИХ КОРОТКИХ ЗАМИКАННЯХ МЕТОДОМ СИМЕТРИЧНИХ СКЛАДОВИХ**

**5.2**

Схема у вигляді трикутника з ЕРС  $E_a, E_b$  і  $E_c$  (рис. 5.3) може бути загалом замінена схемою у вигляді зірки з ЕРС  $E_1, E_2$  і  $E_3$  (рис. 5.4). З використанням виразів (5.1)-5.2)

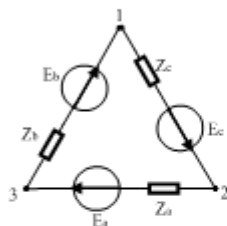


Рисунок 5.3 –Схема прямої послідовності в вигляді трикутника з ЕРС в його сторонах в загальному випадку

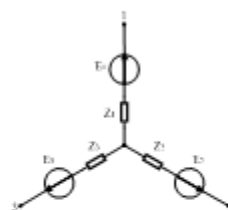


Рисунок 5.4 –Приведена схеми прямої послідовності рис.5.3 до зірки

$$\hat{E}_3 - \hat{E}_2 = \frac{(Z_b + Z_c)\hat{E}_a - (\hat{E}_b + \hat{E}_c)Z_c}{Z_a + Z_b + Z_c}, \quad (5.1)$$

$$\hat{E}_1 - \hat{E}_3 = \frac{(Z_c + Z_a)\hat{E}_b - (\hat{E}_c + \hat{E}_a)Z_b}{Z_a + Z_b + Z_c}, \quad (5.2)$$

$$\hat{E}_2 - \hat{E}_1 = \frac{(Z_a + Z_b)\hat{E}_c - (\hat{E}_a + \hat{E}_b)Z_c}{Z_a + Z_b + Z_c}, \quad (5.3)$$

Для переходу від схеми на рис.5.1 до зірки на рис. 5.2 потрібно в вирази (5.1)-(5.3) прийняти:

$$\begin{cases} \hat{E}_a = 0; \hat{E}_b = -\hat{E}_I; \hat{E}_c = \hat{E}_{II}; \hat{E}_1 = -\hat{E}_S; \\ \hat{E}_a = \hat{E}_I; \hat{E}_3 = \hat{E}_K \end{cases} \quad (5.4)$$

Вважаючи, що

$$\hat{E}_K = 0; \quad (5.5)$$

Отримаємо з (5.1) і (5.2) ЕРС  $E_S$  і  $E_L$  (рис. 5.2):

$$\hat{E}_S = \frac{(Z_{II} + Z_{KL})\hat{E}_I + Z_I \hat{E}_{II}}{Z_I + Z_{II} + Z_{KL}}, \quad (5.6)$$

$$\hat{E}_L = \frac{(\hat{E}_{II} - \hat{E}_I)Z_{KL}}{Z_I + Z_{II} + Z_{KL}}; \quad (5.7)$$



**ВИЗНАЧЕННЯ СТРУМІВ І НАПРУГ ПРИ ДВОХ ОДНОЧАСНИХ КОРОТКИХ ЗАМИКАННЯХ МЕТОДОМ СИМЕТРИЧНИХ СКЛАДОВИХ**

**5.3**

**Замикання на землю фази В у точці К і фази С у точці L в мережі з великим струмом замикання на землю**

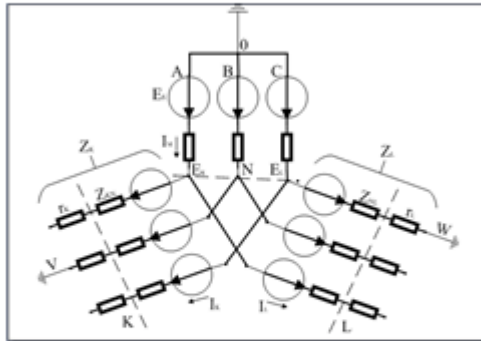


Рисунок 5.5 – Розрахункова схема з замиканням на землю фази В в точці К і фази С в точці L

Для рис. 5.5:

$$a^2 I_{1K} = a I_{2K} = I_{0K}; \quad (5.8)$$

$$a I_{1L} = a^2 I_{2L} = I_{0L}; \quad (5.9)$$

$$\begin{cases} I_{1M} = a I_{0K} + a^2 I_{0L}; & I_{2M} = a^2 I_{0K} + a I_{0L}; \\ I_{0M} = I_{0K} + I_{0L} \end{cases} \quad (5.10)$$

В (5.8)–(5.10) симетричні складові струмів відносяться до фази А, прийнятої за основну. Обходом контурів ONVO і ONWO схеми на рис. 5.5 отримуємо наступні вирази:

$$a^2 E_{KA} + a^2 E_{KA} = Z_{0M} I_{0M} + Z_{1M} I_{1M} + Z_{2M} I_{2M} + Z_{1K} I_{1K} + Z_{2K} I_{2K} + Z_{0K} I_{0K}; \quad (5.11)$$

$$a E_{LA} + a E_{LA} = Z_{1M} I_{1M} + Z_{2M} I_{2M} + Z_{0M} I_{0M} + Z_{1L} I_{1L} + Z_{2L} I_{2L} + Z_{0L} I_{0L}; \quad (5.12)$$

$$a^2 (E_{KA} + E_{KA}) = Z_{KK\Sigma} I_{0K} + a^2 Z'_{M\Sigma} I_{0L}; \quad (5.13)$$

$$a (E_{LA} + E_{LA}) = a^2 Z'_{M\Sigma} I_{0K} + Z_{LL\Sigma} I_{0L}; \quad (5.14)$$

В (5.13) та (5.14):

$$Z_{KK\Sigma} = Z_{1M} + Z_{2M} + Z_{0M} + Z_{1K} + Z_{2K} + Z_{0K}; \quad (5.15)$$

$$Z'_{M\Sigma} = Z_{1M} + Z_{2M} + a^2 Z_{0M}; \quad (5.16)$$

$$Z''_{M\Sigma} = Z_{1M} + a^2 Z_{2M} + a Z_{0M}; \quad (5.17)$$

$$Z'_{LL\Sigma} = Z_{1M} + Z_{2M} + Z_{0M} + Z_{1L} + Z_{2L} + Z_{0L}; \quad (5.18)$$

Спільне розв'язання (5.13) та (5.14) дає вирази (5.19, 5.20):

$$I_{0K} = \frac{(a^2 Z_{LL\Sigma} - a^2 Z'_{M\Sigma}) E_{KA} + a^2 Z_{LL\Sigma} E_{LA} - a^2 Z'_{M\Sigma} E_{LA}}{Z_{KK\Sigma} Z_{LL\Sigma} + Z'_{M\Sigma} Z''_{M\Sigma}}; \quad (5.19)$$

$$I_{0L} = \frac{(a^2 Z_{KK\Sigma} - a^2 Z'_{M\Sigma}) E_{LA} + a^2 Z'_{M\Sigma} E_{KA} - a^2 Z_{KK\Sigma} E_{KA}}{Z_{KK\Sigma} Z_{LL\Sigma} + Z'_{M\Sigma} Z''_{M\Sigma}}; \quad (5.20)$$

Якщо прийняти в схемі на рис. 5.5:  $E_K = E_L = 0$ ,  $E_A = E_C$ , то (5.19) і (5.20) приймуть вигляд (5.21 – 5.22):

$$I_{0K} = \frac{(a^2 Z_{LL\Sigma} - a^2 Z'_{M\Sigma}) E_{KA}}{Z_{KK\Sigma} Z_{LL\Sigma} + Z'_{M\Sigma} Z''_{M\Sigma}}; \quad (5.21)$$

$$I_{0L} = \frac{(a^2 Z_{KK\Sigma} - a^2 Z'_{M\Sigma}) E_{LA}}{Z_{KK\Sigma} Z_{LL\Sigma} + Z'_{M\Sigma} Z''_{M\Sigma}}; \quad (5.22)$$

**РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ПРИ ПОДВІЙНОМУ ЗАМИКАННІ**

**5.4**

**Замикання на землю фази В у точці К і фази С у точці L в мережі з великим струмом замикання на землю**

Виразимо струми по (5.21) і (5.22) через опір розрахункової схеми, з урахуванням (5.15)–(5.18) отримуємо:

$$I_{0K} = \frac{[(a^2 - 1)Z_{1M} + (a^2 - a)Z_{2M}] + a^2 Z_{1\Sigma} E_{KA}}{Z_{KK\Sigma} Z_{LL\Sigma} + Z'_{M\Sigma} (Z_{KK\Sigma} + Z_{LL\Sigma}) + a^2 (Z_{1M} Z_{2M} + Z_{1M} Z_{0M} + Z_{2M} Z_{0M})}; \quad (5.23)$$

$$I_{0L} = \frac{[(a^2 - 1)Z_{1M} + (a - a^2)Z_{2M}] + a Z_{2\Sigma} E_{LA}}{Z_{KK\Sigma} Z_{LL\Sigma} + Z'_{M\Sigma} (Z_{KK\Sigma} + Z_{LL\Sigma}) + a (Z_{1M} Z_{2M} + Z_{1M} Z_{0M} + Z_{2M} Z_{0M})}; \quad (5.24)$$

В (5.23) та (5.24) прийняті позначення:

$$Z_{K\Sigma} = Z_{1K} + Z_{2K} + Z_{0K};$$

$$Z_{L\Sigma} = Z_{1L} + Z_{2L} + Z_{0L}; \quad (5.25)$$

$$Z_{M\Sigma} = Z_{1M} + Z_{2M} + Z_{0M}$$

Для випадку коли опори прямої і зворотної послідовностей можуть бути прийняті рівними, розрахункові вирази значно спростяться. При цьому із (5.15)–(5.18) видно, що  $Z'_{M\Sigma}$  і  $Z''_{M\Sigma}$  значно менше  $Z_{0\Sigma}$  і  $Z_{LL\Sigma}$ . Якщо знехтувати  $Z'_{M\Sigma}$  і  $Z''_{M\Sigma}$  в (5.21) і (5.22) отримуємо вирази (5.26) та (5.27):

$$I_{0K} = a^2 \frac{E_{KA}}{Z_{KK\Sigma}}; \quad (5.26)$$

$$I_{0L} = a^2 \frac{E_{LA}}{Z_{LL\Sigma}}; \quad (5.27)$$

Для схеми на рис.5.1 струми нульової послідовності в місцях пошкоджень можуть бути виражені через опори цієї схеми. При аналітичних розрахунках струми на окремих ділянках можуть бути знайдені розподілом струмів окремих послідовностей в місцях пошкоджень. При цьому доцільно знайти струми на окремих ділянках накладання двох систем: струму, отриманого розподілу струму замикання в точці К при відсутності замикання в точці L, і струму, отриманого розподілом струму замикання в точці L при відсутності замикання в К, якщо обмежитись визначенням суми струмів прямої і зворотної послідовностей, то при однакових опорях прямої і зворотної послідовностей розрахунки струмів на окремих ділянках значно спростяться. Це впливає в виразі (5.6)–(5.10):

$$\begin{cases} I_{12KA} = I_{1KA} + I_{2KA} = -I_{0K} \\ I_{12KB} = I_{1KB} + I_{2KB} = 2I_{0K} \\ I_{12KC} = I_{1KC} + I_{2KC} = -I_{0K} \end{cases} \quad (5.28)$$

$$\begin{cases} I_{12LA} = I_{1LA} + I_{2LA} = -I_{0L} \\ I_{12LB} = I_{1LB} + I_{2LB} = -I_{0L} \\ I_{12LC} = I_{1LC} + I_{2LC} = 2I_{0L} \end{cases} \quad (5.29)$$

## ВИЗНАЧЕННЯ СТРУМІВ І НАПРУГ ПРИ ДВОХ ОДНОЧАСНИХ КОРОТКИХ ЗАМИКАННЯХ МЕТОДОМ СИМЕТРИЧНИХ СКЛАДОВИХ

6.1

### Визначення струмів при металевому замиканні на землю в мережі 110 кВ з великим струмом замикання на землю

Для розрахунку струмів при металевому замиканні на землю в точках К (фаза В) і L (фаза С) в мережі 110 кВ з великим струмом замикання на землю (рис.6.1, а); ЕРС генераторів  $E_1$  і  $E_2$  приймається однаковими. Схеми заміщення окремих послідовностей з реактивними опорами приведені до напруги 115 кВ, наведені на рис. 6.1, б і в. Так як опори прямої і зворотної послідовностей прийнятні однаковими, то для схем цих послідовностей показана одна схема заміщення. Схема заміщення нульової послідовності показана для випадку часткового заземлення нейтралей трансформаторів. В результаті наведення схем окремих послідовностей отримуємо схеми у вигляді зірок, показані на рис.6.1, б і в.

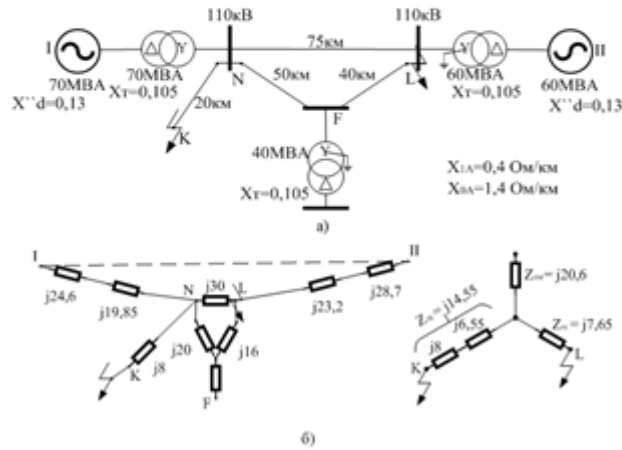


Рисунок 6.1 – Схеми для розрахунку замикань на землю одної фази в двох точках: а) видітна схема; б) схема заміщення прямої послідовності

## ВИЗНАЧЕННЯ СТРУМІВ І НАПРУГ ПРИ ДВОХ ОДНОЧАСНИХ КОРОТКИХ ЗАМИКАННЯХ МЕТОДОМ СИМЕТРИЧНИХ СКЛАДОВИХ

6.2

### Визначення струмів при металевому замиканні на землю в мережі 110 кВ з великим струмом замикання на землю

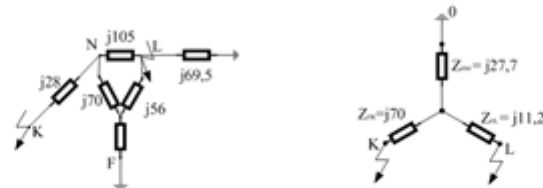


Рисунок 6.1 – Схема заміщення нульової послідовності для розрахунку замикань на землю одної фази в двох точках

Струми  $I_{0K}$  і  $I_{0L}$  в місцях замикання на землю визначаються по (5.21) і (5.22) з попереднього розділу роботи 3, при цьому у відповідності з (5.15)–(5.18), отримуємо:

$$Z_{1KK\Sigma} = 2Z_{1M} + Z_{0M} + 2Z_{1K} + Z_{0K} = j(2 \cdot 20,6 + 27,7 + 2 \cdot 14,55 + 70) = j160 \text{ (Ом)} \quad (6.1)$$

$$Z'_{M\Sigma} = aZ''_{M\Sigma} = a^2(Z_{0M} - Z_{1M}) = ja^2(27,7 - 20,6) = ja^2 168 \text{ (Ом)} \quad (6.2)$$

$$Z_{LL\Sigma} = 2Z_{1M} + Z_{0M} + 2Z_{1K} + Z_{0L} = j(2 \cdot 20,6 + 27,7 + 2 \cdot 7,65 + 11,2) = j95,4 \text{ (Ом)} \quad (6.3)$$

Підставивши виражені величини в (5.21) і (5.22) і враховуючи (5.8) і (5.9) отримуємо:

$$I_{0K} = a^2 I_{1K} = a I_{2K} = \frac{(-0,5 - j0,866)95,4 - (-0,5 + j0,866)7,1}{j(168 - 95,4 - 7,1^2)} \cdot \frac{115000}{\sqrt{3}} = (-130 + j189)a = 415a \angle 154 \quad (6.4)$$

$$I_{0L} = a I_{1K} = -a^2 I_{2K} = \frac{(-0,5 - j0,866)95,4 - (-0,5 + j0,866)7,1}{j(168 - 95,4 - 7,1^2)} \quad (6.5)$$

### ВИЗНАЧЕННЯ СТРУМІВ І НАПРУГ ПРИ ДВОХ ОДНОЧАСНИХ КОРОТКИХ ЗАМИКАННЯХ МЕТОДОМ СИМЕТРИЧНИХ СКЛАДОВИХ

6.3

Визначення струмів при металевому замиканні на землю в мережі 110 кВ з великим струмом замикання на землю

Зі спрощених виразів (5.26) і (5.27) маємо:

$$i_{0K} = \frac{(-0,5 - j0,866)}{j168} = \frac{115000}{\sqrt{3}} = (-344 + j198)a; \quad (6.6)$$

$$i_{0L} = \frac{(-0,5 - j0,866)}{j95,4} = \frac{115000}{\sqrt{3}} = (610 + j198)a \quad (6.7)$$

Далі виконується розрахунок суми струмів прямої і зворотної послідовностей  $I_{12K}$  і  $I_{12L}$  в місцях пошкоджень по (3.28) і (3.29).

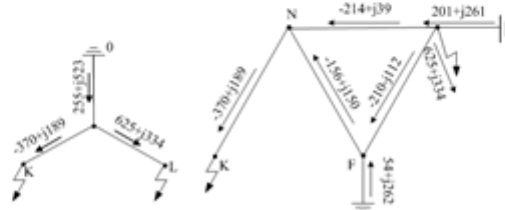


Рисунок 6.2 – Розподіл струмів нульової послідовності в схемі по рис. 6.1

### ВИЗНАЧЕННЯ СТРУМІВ І НАПРУГ ПРИ ДВОХ ОДНОЧАСНИХ КОРОТКИХ ЗАМИКАННЯХ МЕТОДОМ СИМЕТРИЧНИХ СКЛАДОВИХ

6.4

Визначення струмів при металевому замиканні на землю в мережі 110 кВ з великим струмом замикання на землю

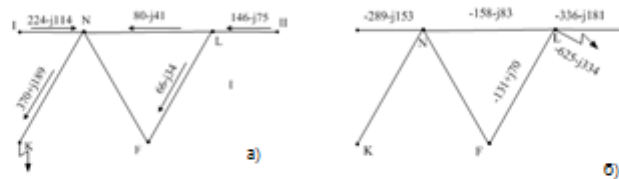


Рисунок 6.3 – Розподіл суми струмів прямої і зворотної послідовностей фази А: а) струми перетікають до місця замикання в точці К при відсутності замикання в точці L; б) струми перетікають до місця замикання в точці L при відсутності замикання в точці К.

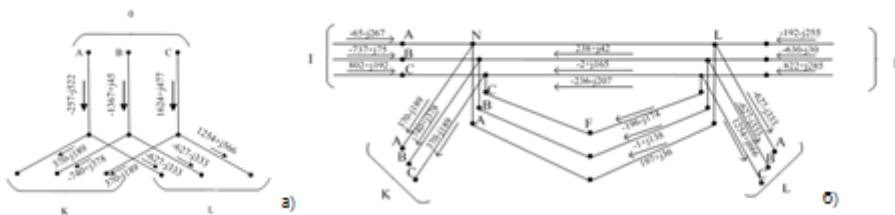


Рисунок 6.3 – Розподіл суми струмів прямої і зворотної послідовностей: а) в еквівалентній зірці; б) в схемі

## ВИЗНАЧЕННЯ СТРУМІВ І НАПРУГ ПРИ ДВОХ ОДНОЧАСНИХ КОРОТКИХ ЗАМИКАННЯХ МЕТОДОМ СИМЕТРИЧНИХ СКЛАДОВИХ

6.5

Визначення струмів при металевому замиканні на землю в мережі 110 кВ з великим струмом замикання на землю

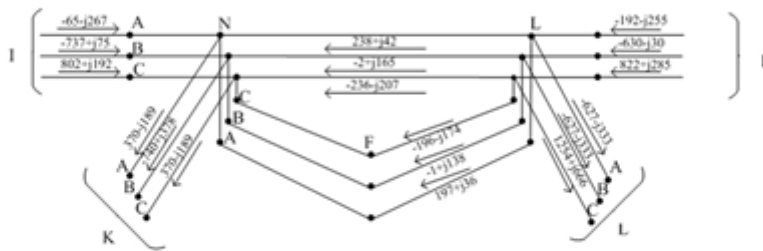


Рисунок 6. 5 – Розподіл повних струмів в схемі

## ВИСНОВКИ

7

В магістерській кваліфікаційній роботі досліджено методи розрахунку струмів та напруг при двох одночасних коротких замиканнях.

- Аналіз вітчизняних та іноземних літературних джерел свідчить про, те що в мережах 10-110 кВ, експлуатується обладнання, що вичерпало свій ресурс. Найчастіше виходять з ладу повітряні лінії електропередачі. Відмови в роботі пристроїв релейного захисту та автоматики становлять майже 20 % пошкоджень ЛЕП.
- Під час подвійних замикань на землю в мережах з ізолюваною нейтраллю релейні захисти, які реагують на зростання струмів несиметрії, а саме струми нульової послідовності, не завжди спрацьовують або працюють помилково.
- Для дослідження процесів в електричних мережах 10-110 кВ під час подвійних замкнень використовується метод комплексних схем заміщення для визначення струмів та напруг.
- Розрахункові вирази для обчислення струмів і напруг при двох одночасних к.з. в мережах з великим і малим струмом замикання на землю можуть бути складені на основі заданих ЕРС генераторів, а також при використанні принципу накладання, за умови, що в якості вихідної приймається елементарна схема з двостороннім живленням з ЕРС генераторів  $E_1$   $E_{II}$  та у вигляді зірки при наявності ЕРС в окремих її вітках.

## ***ВИСНОВКИ***

- Метод симетричних складових дозволяє виконати розрахунки для визначення параметрів, а саме струмів та напруг при металевому замиканні на землю в мережі 110 кВ з великим струмом замикання на землю, при металевому замиканні на землю при незаземлених нейтралях всіх трансформаторів та при металевому замиканні на землю на лінії з двостороннім живленням при незаземлених нейтралях всіх трансформаторів.
- Кошторисний розрахунок для проекту релейного захисту та автоматики ПС 110 кВ, а саме основних та резервних захистів ПЛ 110 кВ, 1Т, 2Т, шин 110 кВ, ОВ 110 кВ, ШЗВ 110 кВ, управління та автоматики становить 835714.44 грн.
- З метою підвищення надійності роботи ЛЕП 110 кВ в умовах НС необхідно встановлення спіральних та маятникових гасителів вібрацій та установки плавлення ожеледі, а також посилення конструкцій самих опор. Для захисту елементів релейного захисту та автоматики від дії ЕМП необхідне встановлення захисного екрану товщиною стінок 0,6 (мм).