

**РОЗРАХУНОК СТРУМІВ
КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В МЕРЕЖІ НАПРУГОЮ
ДО 1 кВ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ
З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ**

Методичні вказівки

СОУ-Н ЕЕ 40.11-21677681-48:2011

Видання офіційне

Київ
Міністерство енергетики та вугільної промисловості України
2011

ПЕРЕДМОВА

1. РОЗРОБЛЕНО: БАТ "ЛьвівОРГРЕС"
2. РОЗРОБНИК: М. Ковальчук
3. ВНЕСЕНО: Департаментом з питань електроенергетики Міністерства енергетики та вугільної промисловості України
4. УЗГОДЖЕНО: ДП НЕК «Укренерго»,
А. Ходаківський
Департамент з питань електроенергетики Міністерства енергетики та вугільної промисловості України,
С. Меженний
Начальник Державної інспекції з експлуатації електростанцій і мереж України,
О. Гутаревич
Об'єднанням енергетичних підприємств
"Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики",
Г. Пікалов
5. ЗАТВЕРДЖЕНО: Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України за № 124 від 16 травня 2011 р.
6. УВЕДЕНО ВПЕРШЕ
7. ТЕРМІН ПЕРЕВІРЕННЯ: 2016 рік



МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ

НАКАЗ

16 травня 2011 р.

м. Київ

№ 124

Про затвердження та надання чинності нормативному документу «Розрахунок струмів короткого замикання в мережі напругою до 1 кВ електростанцій та підстанцій з урахуванням впливу електричної дуги. Методичні вказівки»

З метою встановлення порядку розрахунку струмів короткого замикання в мережі напругою до 1 кВ з глухим заземленням нейтралі для вибору електрообладнання за умовами термічної та динамічної стійкості, вимикаючої спроможності, а також визначення уставок спрацювання захистів і захисних апаратів, у встановлених у цій мережі

НАКАЗУЮ:

1. Затвердити нормативний документ «Розрахунок струмів короткого замикання в мережі напругою до 1 кВ електростанцій та підстанцій з урахуванням впливу електричної дуги. Методичні вказівки» (далі — Методичні вказівки), що додається, та надати йому чинності через 90 днів з дати підписання цього наказу.

2. Об'єднанню енергетичних підприємств «Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики» (Пікалов Г. Г.) внести Методичні вказівки до реєстру і комп'ютерного банку даних чинних нормативних документів Міненерговугілля в установленому порядку та забезпечити видання необхідної кількості примірників Методичних вказівок та їх надходження енергетичним компаніям і державним підприємствам, що належать до сфери управління Міненерговугілля, та господарським товариствам, щодо яких Міненерговугілля здійснює управління корпоративними правами держави, відповідно до їх замовлень.

Контроль за виконанням цього наказу покласти на заступника Міністра Чеха С. М.

Міністр

Ю. Бойко

ЗАТВЕРДЖЕНО
наказом Міністерства енергетики
та вугільної промисловості України
від 16 травня 2011 р. № 124

НОРМАТИВНИЙ ДОКУМЕНТ МІНІСТЕРСТВА ЕНЕРГЕТИКИ ТА ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ

РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В МЕРЕЖІ НАПРУГОЮ ДО 1 кВ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ Методичні вказівки

Чинний від 2011–08–14

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Цей нормативний документ установлює порядок розрахунку струмів короткого замикання в мережі напругою до 1 кВ для вибору електрообладнання з умов термічної та динамічної стійкості, вимикаючої здатності, а також для визначення уставок спрацювання захистів і захисних апаратів, встановлених в цій мережі.

1.2 Вимоги цього нормативного документа застосовують для розрахунків струмів короткого замикання при виборі електрообладнання для мереж з глухим заземленням нейтралі електростанцій та підстанцій напругою до 1 кВ.

1.3 Урахування вимог цього нормативного документа є обов'язковим для персоналу електростанцій та підстанцій, а також проектних та конструкторських організацій, які займаються розрахунком струмів короткого замикання і захистів мережі змінного струму напругою до 1 кВ.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

У цих Методичних вказівках є посилання на такі нормативні документи:

ДСТУ 2815–94 Електричні й магнітні кола та пристрої. Терміни та визначення

ДСТУ 2843–94 Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення

ДСТУ 3429–96 Електрична частина електростанції та електричної мережі. Терміни та визначення

ДСТУ 3466–96 Якість електричної енергії. Терміни та визначення

ГОСТ 3484.1–88 Трансформаторы силовые. Методы электромагнитных испытаний. (Трансформатори силові. Методи електромагнітних випробувань)

ГОСТ 11677–85 Трансформаторы силовые. Общие технические условия. (Трансформатори силові. Загальні технічні умови)

ГОСТ 26522–85 Короткие замыкания в электроустановках. Термины и определения (Короткі замикання в електроустановках. Терміни та визначення)

ГОСТ 28249–93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ (Короткі замикання в електроустановках. Методи розрахунку в електроустановках змінного струму напругою до 1 кВ)

ГОСТ 30323–95 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания (Короткі замикання в електроустановках. Методи розрахунку електродинамічної і термічної дії струму короткого замикання)

ПУЕ:86 — Правила улаштування електроустановок. Шосте видання, перероблене та доповнене, глава 3.1 Захист електричних мереж напругою до 1 кВ

ПУЕ:2006 — Правила улаштування електроустановок. 2-ге видання, перероблене і доповнене, глава 1.7 Заземлення і захисні засоби електробезпеки.

3 ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

Нижче подано терміни, вжиті в цих Методичних вказівках, та визначення позначених ними понять:

3.1 ступінь напруги електрообладнання

Одна з номінальних значень напруги, що використовується у даній мережі (ДСТУ 3466)

3.2 радіальна електрична мережа

Електрична мережа, що має тільки радіальні лінії, які передають електричну енергію від одного джерела живлення (ДСТУ 3429)

3.3 глухозаземлення нейтраль

Нейтраль трансформатора або генератора приєднана до заземлювального пристрою безпосередньо або через малий опір (наприклад, через трансформатори струму) (ПУЕ)

3.4 ізольована нейтраль

Нейтраль трансформатора або генератора не приєднана до заземлювального пристрою або приєднана до нього через великий опір приладів сигналізації, вимірювання та інших подібних до них пристроїв, наявність яких практично не впливає на струм замикання на землю (ПУЕ)

3.5 заземлення

Виконання електричного з'єднання між визначеною точкою системи або установки або обладнання і локальною землею (ПУЕ)

3.6 зона розтікання (локальна земля)

Частина землі, яка перебуває в електричному контакті із заземлювачем і електричний потенціал якої не обов'язково дорівнює нулю (ПУЕ)

3.7 тип заземлення системи

Показник, який характеризує влаштування нейтрального провідника (N-провідника) або провідника середньої точки системи (M-провідника) і з'єднання з землею струмопровідних частин джерела живлення та відкритих провідних частин в електроустановках напругою до 1 кВ (ПУЕ)

3.8 нейтральний провідник (N- провідник)

Провідник в електроустановках напругою до 1 кВ, електрично з'єднаний з нейтральною точкою джерела живлення, що використовується для розділення електричної енергії (ПУЕ)

3.9 провідник середньої точки (M-провідник)

Провідник в електроустановках напругою до 1 кВ, який електрично з'єднаний з середньою точкою джерела живлення і використовується для розділення електричної енергії (ПУЕ)

3.10 PEN-провідник

Провідник в електроустановках напругою до 1 кВ, який поєднує в собі функції — захисного (PE-) і нейтрального (N-) провідників (ПУЕ)

3.11 розподільча установка

Електроустановка, призначена для приймання та розподіляння електричної енергії однієї напруги апаратами, пристроями керування та захисту (ДСТУ 3429)

3.12 власні потреби електростанції (підстанції)

Сукупність допоміжного обладнання, пристроїв та електричної частини, що належить до них, яка забезпечує роботу електростанції (підстанції) (ДСТУ 3429)

3.13 коротке замикання

Випадкове або навмисне злучення двох або кількох точок електричного кола, що перебувають під різними потенціалами, через відносно малий резистанс (активний опір) (ДСТУ 2815)

3.14 стійке коротке замикання

Коротке замикання в електроустановці, умови виникнення якого зберігаються під час безструмової паузи комутаційного електричного апарату (ГОСТ 26522)

3.15 нестійке коротке замикання

Коротке замикання в електроустановці, умови виникнення якого самоликвідуються під час безструмової паузи комутаційного електричного апарату (ГОСТ 26522)

3.16 віддалене коротке замикання

Коротке замикання в електроустановці, при якому амплітуда періодичної складової струму відповідного джерела енергії у початковий та в довільний моменти часу практично однакові (ГОСТ 26522)

3.17 близьке коротке замикання

Коротке замикання в електроустановці, при якому амплітуда періодичної складової струму відповідного джерела енергії у початковий та в довільний моменти часу істотно відрізняються (ГОСТ 26522)

3.18 несиметричне коротке замикання

Коротке замикання в електроенергетичній системі, при якому одна з її фаз знаходиться в умовах відмінних від умов інших фаз (ГОСТ 26522)

3.19 симетричне коротке замикання

Коротке замикання в електроенергетичній системі, при якому всі її фази знаходяться в однакових умовах (ГОСТ 26522)

3.20 трифазне коротке замикання

Коротке замикання між трьома фазами в трифазній електроенергетичній системі (ГОСТ 26522)

3.21 двофазне коротке замикання

Коротке замикання між двома фазами в трифазній електроенергетичній системі (ГОСТ 26522)

3.22 однофазне коротке замикання

Коротке замикання на землю в трифазній електроенергетичній системі з глухим заземленням нейтралі силових елементів, при якому з землею з'єднується тільки одна фаза (ГОСТ 26522)

3.23 усталений струм короткого замикання

Значення струму короткого замикання в електроустановці після закінчення перехідного процесу, яке характеризується затуханням усіх вільних складових цього струму і припиненням зміни струму від дії пристроїв автоматичного регулювання збудження джерел енергії (ГОСТ 26522)

3.24 аперіодична складова струму короткого замикання

Вільна складова струму короткого замикання в електроустановці, яка змінюється у часі без зміни його знаку (ДСТУ 2843)

3.25 періодична складова струму короткого замикання

Складова струму короткого замикання в електроустановці, яка змінюється за періодичним законом з робочою частотою (ГОСТ 26522)

3.26 миттєве значення струму короткого замикання

Значення струму короткого замикання в електроустановці в даний момент часу (ГОСТ 26522)

3.27 діюче значення періодичної складової струму короткого замикання

Середньоквадратичне значення періодичної складової струму короткого замикання робочої частоти в електроустановці за період, середина якого є даний момент часу (ГОСТ 26522)

3.28 початкове діюче значення періодичної складової струму короткого замикання

Умовна величина, яка дорівнює подвійній амплітуді періодичної складової струму короткого замикання робочої частоти в електроустановці, зменшеній в $2\sqrt{2}$ рази (ГОСТ 26522)

3.29 ударний струм короткого замикання

Найбільше можливе миттєве значення струму короткого замикання (ГОСТ 26522)

3.30 ударний коефіцієнт струму короткого замикання

Відношення ударного струму короткого замикання до амплітуди періодичної складової струму короткого замикання робочої частоти у початковий момент часу (ГОСТ 26522)

3.31 схема заміщення

Еквівалентна електрична схема, призначена для опису кола за допомогою схеми, яка складається з ідеальних елементів (ДСТУ 2815)

3.32 ймовірнісні характеристики короткого замикання в електроустановці

Сукупність характеристик, які описують ймовірнісний характер різних параметрів і умов короткого замикання (ГОСТ 26522)

3.33 інтеграл Джоуля

Умовна величина, яка характеризує теплову дію струму на елемент електроустановки, що розглядається і дорівнює інтегралу від квадрату струму короткого замикання за часом в межах від початкового моменту короткого замикання до моменту його вимкнення (ГОСТ 26522)

4 ПОЗНАКИ ТА СКОРОЧЕННЯ

ЕРС — електрорушійна сила;

КЗ — коротке замикання.

5 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

5.1 Розрахунки струмів короткого замикання (КЗ) у мережі змінного струму напругою до 1 кВ виконуються з метою вибору електрообладнання за умов термічної та електродинамічної стійкості, вимикаючої здатності, а також з метою визначення уставок спрацювання захистів і захисних апаратів, встановлених у мережі.

5.2 Згідно ГОСТ 28249 для вибору і перевірки електрообладнання за умов електродинамічної та термічної стійкості, а також для визначення достатньої вимикаючої здатності захисних апаратів необхідно виконати розрахунок:

- початкового діючого значення періодичної складової струму КЗ;
- аперіодичної складової струму КЗ в розрахунковий момент часу;
- ударного струму КЗ;

— діючого значення періодичної складової струму КЗ в будь-який момент часу аж до розрахункового часу розмикання пошкодженого кола.

5.3 Мережі змінного струму напругою до 1 кВ виконують радіальними. Основним захистом для них є струмовий. Для визначення уставок спрацювання захистів і захисних апаратів, встановлених у мережі необхідно виконати розрахунок максимального і мінімального значення періодичної складової струму КЗ в початковий і в будь-який момент часу аж до розрахункового часу розмикання пошкодженого кола.

5.4 Електроустановки напругою до 1 кВ щодо заходів електробезпеки поділяються на електроустановки в електричних мережах із глухо заземленою нейтраллю і на електроустановки з ізольованою нейтраллю.

Відповідно до 1.7.26 ПУЕ передбачено такі системи заземлення нейтралі і відкритих провідних частин в трифазних електроустановках:

- система TN — мережа живлення має глухе заземлення однієї точки струмовідних частин джерела живлення, а електроприймачі і відкриті провідні частини електроустановки приєднуються до цієї точки за допомогою відповідно N- або M- і захисного РЕ-провідників;
- система TN-S — система TN, в якій N- або M- і РЕ-провідники розділено по всій мережі;
- система TN-C — система TN, в якій N- або M- і РЕ-провідники поєднано в одному PEN-провіднику по всій мережі;
- система TN-C-S — система TN, в якій N- або M- і РЕ-провідники поєднано в одному провіднику в частині мережі, починаючи від джерела живлення;
- система TT — одна точка струмовідних частин джерела живлення є заземлена, а відкриті провідні частини електроустановки приєднано до РЕ-провідника, з'єднаного із заземлювачем, електрично незалежним від заземлювача, до якого приєднано точку струмовідних частин джерела живлення;
- система IT — мережа живлення ізолювана від землі чи заземлена через прилади або (і) пристрої, що мають великий опір, а відкриті провідні частини електроустановки приєднано до заземленого РЕ-провідника.

Живлення електроустановок напругою до 1 кВ з використанням системи заземлення TT слід виконувати за вимогами і рекомендаціями чинних нормативних документів, згідно з якими є обмеження щодо застосування режиму заземлення TT. У мережі напругою до 1 кВ з системою заземлення TT є обов'язкове застосування пристрою захисного автоматичного вимикання живлення.

Живлення електроустановок напругою до 1 кВ з використанням системи заземлення IT рекомендується виконувати у разі підвищених вимог до безпеки та безперебійності живлення електроприймачів (пересувні установки, торфові установки, шахти).

Згідно з 1.7.61 ПУЕ живлення електроустановок напругою до 1 кВ, як правило, виконується з використанням системи заземлення TN, тобто з глухим заземленням нейтралі.

У таких мережах можливі усі види металевих і дугових КЗ. Як свідчать чисельні експерименти, металеве КЗ можливе лише у випадках його спеціальної підготовки. Найбільш імовірним видом КЗ є дугове КЗ. Найсприятливішими умовами для виникнення дугових КЗ є умови замкнених просторів розподільчих коробок електродвигунів, щитків, закритих збірок і кабелів. Дугові КЗ супроводжуються значним виділенням енергії. Струм дугового КЗ завжди менший від струму металевих КЗ у тій самій точці мережі.

Таким чином, у мережі напругою до 1 кВ необхідне визначення максимальних значень струмів КЗ, тобто струмів трифазного металевих КЗ на шинах розподільчих і силових щитів і мінімальних значень струмів КЗ, тобто струмів однофазного КЗ у кінці кабелів з урахуванням опору електричної дуги.

5.5 Під час розрахунку струмів КЗ у мережі напругою до 1 кВ необхідно враховувати:

- індуктивні опори усіх елементів короткозамкненого кола, включаючи провідники, трансформатори струму, реактори, струмові котушки автоматичних вимикачів;
- активні опори елементів короткозамкненого кола;
- активні опори контактів і контактних з'єднань;
- опір електричної дуги у місці короткого замикання;
- значення параметрів синхронних і асинхронних двигунів.

5.6 Під час розрахунку струмів КЗ у мережі напругою до 1 кВ рекомендується враховувати:

- зміну активного опору провідників короткозамкненого кола внаслідок їх нагрівання при КЗ;

— вплив комплексного навантаження (електродвигуни, перетворювачі, термічні установки, лампи розжарювання) на струм КЗ, якщо номінальний струм електродвигунів навантаження перевищує 1% від початкового значення періодичної складової струму у місці КЗ, розрахованого без урахування навантаження.

5.7 Під час розрахунку струмів КЗ у мережі напругою до 1 кВ допускається не враховувати:

- струм намагнічування трансформаторів;
- насичення магнітних систем електричних машин;
- вплив асинхронних електродвигунів, якщо їх сумарний номінальний струм не перевищує 1% від початкового значення періодичної складової струму у місці КЗ, розрахованого без урахування електродвигунів.

5.8 Під час розрахунку струмів КЗ у мережі напругою до 1 кВ допускається:

- застосовувати спрощені методи розрахунку, якщо їх похибка не перевищує 10%;
- максимально спрощувати і еквівалентувати всю зовнішню мережу по відношенню до місця КЗ і індивідуально враховувати тільки автономні джерела електроенергії і електродвигуни, які безпосередньо прив'язані до місця КЗ;
- приймати коефіцієнти трансформації трансформаторів рівними відношенню середніх номінальних напруг тих ступенів напруги, які зв'язують трансформатори. При цьому слід використовувати таку шкалу середніх номінальних напруг: 37; 24; 20; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15; 0,69; 0,525; 0,4; 0,23 кВ.

5.9 Метод розрахунку періодичної складової струму КЗ в початковий і в будь-який момент часу в мережі напругою до 1 кВ залежить від способу електропостачання — від енергосистеми чи від автономного джерела.

У цих Методичних вказівках наведені основні формули, за якими виконуються розрахунки струмів трифазного, двофазного та однофазного металевих та дугового КЗ при електропостачанні електроустановки від енергосистеми через понижувальний трансформатор і від автономного джерела електроенергії.

5.10 Розрахунок струмів КЗ в мережі напругою до 1 кВ доцільно виконувати з використанням комп'ютерних програм, які дозволяють урахувати різні фактори, що впливають на результати розрахунку струмів КЗ.

6 ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ МЕРЕЖІ

6.1 Загальні вимоги

6.1.1 Розрахунок струмів КЗ у мережі до 1 кВ доцільно проводити в іменованих одиницях.

6.1.2 Під час складання еквівалентних схем заміщення за основний ступінь слід вибирати ступінь пониженої напруги, як правило, 0,4 кВ, а активні та індуктивні опори усіх елементів схеми заміщення виражати у міліомах.

Схема заміщення складається на основі принципової схеми та розрахункових умов з урахуванням прийнятих допущень. Схема складається однолінійною. Під час дослідження симетричних режимів потрібно скласти схему заміщення прямої послідовності. Досліджуючи несиметричні режими (розрахунок струмів однофазного і двофазного короткого замикання) із застосуванням методу симетричних складових, треба скласти три однолінійні схеми заміщення — прямої, зворотної та нульової послідовностей.

6.1.3 Довідникові дані для розрахунку струмів КЗ наведені в таблицях А.1—А.69 додатку А.

6.1.4 Приклад розрахунку струмів КЗ у мережі власних потреб 0,4 кВ наведений в додатку Б.

6.2 Опір зовнішньої системи

6.2.1 Під час розрахунку струмів КЗ в електроустановках, які отримують живлення безпосередньо від мережі енергосистеми, можна вважати, що понижувальні трансформатори підключені до джерела незмінної за амплітудою напруги через еквівалентний індуктивний опір.

Значення опору зовнішньої системи X_c у міліомах приведені до ступеня нижчої напруги мережі розраховують за формулою:

$$X_c = \frac{U_{\text{сер.НН}}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{КЗ ВН}} \cdot U_{\text{сер.ВН}}} = \frac{U_{\text{сер.НН}}^2}{S_{\text{КЗ}}} \cdot 10^{-3}, \quad (6.1)$$

де $U_{\text{сер.НН}}$ — середня номінальна напруга мережі, підключеної до обмотки нижчої напруги трансформатора, В;

$I_{\text{КЗ ВН}}$ — діюче значення періодичної складової струму при трифазному КЗ біля виводів обмотки вищої напруги трансформатора, кА;

$U_{\text{сер.ВН}}$ — середня номінальна напруга мережі, до якої підключена обмотка вищої напруги трансформатора, В;

$S_{\text{КЗ}}$ — умовна потужність короткого замикання біля виводів обмотки вищої напруги трансформатора, МВ·А.

6.2.2 Під час розрахунку струму КЗ в електроустановках з автономними джерелами електроенергії необхідно враховувати значення параметрів усіх елементів автономної електричної системи включно з автономними джерелами (синхронні генератори), з розподільчою мережею і споживачами.

6.3 Активний та індуктивний опори силових трансформаторів

6.3.1 Згідно з ГОСТ 11677 силові трифазні двообмоткові трансформатори можуть виготовлятися з такими схемами з'єднання обмоток:

— «зірка-зірка» — Y/Y_n ;

— «трикутник-зірка» — Δ/Y_n ;

— «зірка-зигзаг» — Y/Z_n .

Опори прямої (зворотної) послідовності трансформаторів з різними схемами з'єднання первинних обмоток визначаються за ідентичними формулами.

Принципова відмінність технічних характеристик трансформаторів з різними схемами з'єднання обмоток полягає в різній реакції на несиметричні струми, які мають складову нульової послідовності.

Активний R_{1T} та індуктивний X_{1T} опори прямої послідовності (зворотної) понижувальних трансформаторів, у міліомах, приведені до ступеня нижчої напруги мережі, слід визначати за формулами:

$$R_T = \frac{P_{\text{КЗ}} \cdot U_{\text{НН ном}}^2}{S_{\text{T ном}}^2} \cdot 10^6, \quad (6.2)$$

$$X_T = \sqrt{U_{\text{КЗ}}^2 - \left(\frac{100P_{\text{КЗ}}}{S_{\text{T ном}}} \right)^2} \cdot \frac{U_{\text{НН ном}}^2}{S_{\text{T ном}}} \cdot 10^4, \quad (6.3)$$

де $U_{\text{КЗ}}$ — напруга КЗ трансформатора, %;

$P_{\text{КЗ}}$ — втрати короткого замикання в трансформаторі, кВт;

$U_{\text{НН ном}}$ — номінальна напруга обмотки нижчої напруги трансформатора, кВ;

$S_{\text{T ном}}$ — номінальна потужність трансформатора, кВ·А.

Спрощено індуктивний опір трансформаторів у міліомах визначається за формулою:

$$X_T = \frac{U_{\text{КЗ}} \cdot U_{\text{НН ном}}^2}{100S_{\text{T ном}}} \cdot 10^6. \quad (6.4)$$

6.3.2 Опори нульової послідовності R_{0T} і X_{0T} трансформаторів з різними схемами з'єднання обмоток, на відміну від опорів прямої послідовності R_{1T} і X_{1T} , принципово відрізняються.

6.3.2.1 Активний та індуктивний опори нульової послідовності трансформаторів, обмотки яких з'єднані за схемою трикутник-зірка з заземленим нулем, фактично рівні відповідно активним та індуктивним опорам прямої послідовності: $R_{0T} = R_{1T}$, $X_{0T} = X_{1T}$.

Каталогові дані трансформаторів при з'єднанні обмоток за схемою Δ/Y_H , подані в таблицях А.1—А.43 і можуть використовуватися за відсутності паспортних даних.

6.3.2.2 При з'єднанні обмоток трансформаторів за схемою зірка — зірка з заземленим нулем активний та індуктивний опори нульової послідовності значно більші від відповідних опорів прямої послідовності $R_{0T} \gg R_{1T}$, $X_{0T} \gg X_{1T}$, і мають значний розкид, експериментальні дані показують, що величини R_{0T} і X_{0T} більші ніж R_{1T} і X_{1T} в 5—8 разів, для деяких конструкцій трансформаторів в 12 раз, а згідно з ГОСТ 3481.1 і на два порядки більше.

Слід відмітити, що опори нульової послідовності трансформаторів зі схемою з'єднання обмоток Y/Y_H розрахунку не підлягають, їх можна визначити тільки експериментально.

Принципова схема для проведення вимірювань значень опорів нульової послідовності трансформаторів зі схемою з'єднання обмоток зірка-зірка з заземленим нулем, згідно з ГОСТ 3481.1, наведена на рисунку 1.

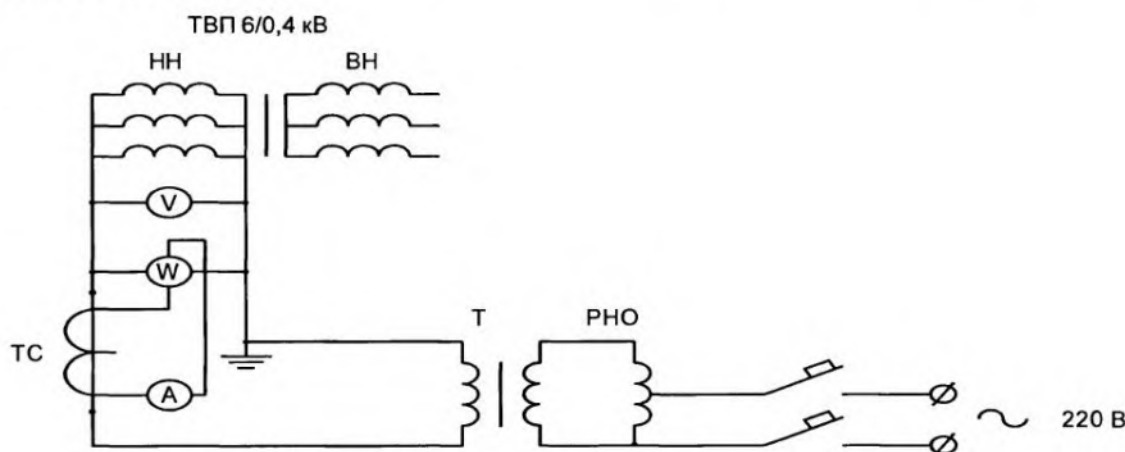


Рисунок 1 — Принципова схема для вимірювань опорів нульової послідовності (Z_0 , R_0 , X_0) трансформаторів 6/0,4 кВ

Під час проведення вимірювань обмотками НН трансформатора слід пропускати струм $I \approx 0,3—0,4 I_{HH \text{ ном}}$. При цьому в ролі трансформатора Т може бути використаний зварювальний трансформатор, а вимірювальні прилади можуть мати такі технічні характеристики:

- амперметр — тип З538; клас точності 0,5; шкала 0—5 А;
- вольтметр — тип З545; клас точності 0,5; шкала 0—600 В;
- ватметр — тип Д5004 Т4.1; клас точності 0,5; шкала 0—5 А, 0—600 В.

Виміряні опори нульової послідовності Z_0 , R_0 , у міліомах і приведені до однієї фази визначаються за формулами:

$$Z_0 = \frac{3U}{I} \cdot 10^3, \quad (6.5)$$

$$R_0 = \frac{3P}{I^2} \cdot 10^3, \quad (6.6)$$

де U — напруга на обмотці НН трансформатора, В;
 I — струм в колі обмотки НН трансформатора, А;
 P — активна потужність, Вт.

При цьому значення X_0 у міліомах можна визначити як:

$$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}. \quad (6.7)$$

Орієнтовні значення опорів трансформаторів зі схемою з'єднання обмоток Y/Y_H наведені в таблицях А.1—А.43.

Дані щодо опорів нульової послідовності при з'єднанні обмоток трансформаторів за схемою Y/Y_n необхідно приймати відповідно до вказівок заводів виробників.

6.3.2.3 При з'єднанні обмоток трансформаторів за схемою зірка — зигзаг з заземленим нулем опори нульової послідовності менші ніж опори прямої послідовності $R_{1T} < R_{0T}$, $X_{1T} < X_{0T}$.

Дані щодо опорів нульової послідовності при з'єднанні обмоток трансформаторів за схемою Y/Z_n необхідно приймати відповідно до вказівок заводів-виробників.

Орієнтовні значення опорів трансформаторів при схемі з'єднанні обмоток Y/Z_n наведені в таблицях А.4—А.6, А.24, А.25. Дані в таблицях подаються значеннями R_{1T} , X_{1T} , R_{0T} , X_{0T} або величиною $1/3 Z_T^{(1)}$.

6.4 Активний та індуктивний опори реактора

Якщо в колі КЗ є струмообмежувальний реактор, то його активний опір $R_{1p} = R_{2p} = R_{0p}$ у міліомах визначається за формулою:

$$R_{1p} = \frac{\Delta P_{p, \text{ном}}}{I_{p, \text{ном}}^2} \cdot 10^3, \quad (6.8)$$

де $\Delta P_{p, \text{ном}}$ — втрати потужності у фазі реактора при номінальному струмі, Вт;

$I_{p, \text{ном}}$ — номінальний струм реактора, А.

Індуктивний опір реактора $X_{1p} = X_{2p} = X_{0p}$ слід приймати за даними виробника, або визначати у міліомах за формулою:

$$X_{1p} = \omega_c \cdot (L_p - M_p) \cdot 10^3, \quad (6.9)$$

де $\omega_c = 2\pi f$ — синхронна кутова частота напруги мережі, рад/с;

L_p — індуктивність котушки реактора, Гн;

M_p — взаємна індуктивність між фазами реактора, Гн.

Параметри реактора, встановлюваного в розподільчих установках напругою до 1 кВ, наведені в таблицях А.44, А.45.

6.5 Активний опір контактів і контактних з'єднань

Перехідні опори електричних контактів будь якого виду слід визначати на підставі результатів експериментів або на підставі розрахункових методик. Значення перехідних опорів контактного з'єднання кабелів і роз'ємних контактів комутаційних апаратів, шинопроводів наведені в таблицях А.46—А.48.

Для приблизного урахування опорів контактів слід приймати:

$R_k = 0,1$ мОм — для контактних з'єднань кабелів;

$R_k = 0,01$ мОм — для шинопроводів;

$R_k = 1,0$ мОм — для комутаційних апаратів.

6.6 Активний та індуктивний опори трансформаторів струму

За відсутності даних заводів-виробників про індуктивні X_{TA} та активні R_{TA} опори первинних обмоток багатовиткових трансформаторів струму можна використовувати дані, наведені в таблиці А.49.

Значення активних та індуктивних опорів нульової послідовності слід приймати рівними значенням опорів прямої послідовності. Параметрами одновиткових трансформаторів на струм більш ніж 500А під час розрахунків можна знехтувати.

6.7 Активний та індуктивний опори котушок автоматичних вимикачів

Значення опорів полюсів, включаючи активні та індуктивні опори X_{KB} і R_{KB} котушок (розчіплювачів) максимального струму автоматичних вимикачів, наведені в таблицях А.50—А.56 на підставі даних заводів-виробників.

Значення опорів плавких вставок $R_{пл.вст}$ наведені в таблиці А.57.

6.8 Активний та індуктивний опори шинопроводів

Для розрахунку струмів КЗ можна використовувати дані параметрів шинопроводів серії ШМА і ШРА, наведені в таблиці А.58.

Значення активних та індуктивних опорів для мідних і алюмінієвих шин наведені в таблиці А.59.

6.9 Активний опір дуги у місці КЗ

Урахування електричної дуги в місці КЗ рекомендується проводити введенням у розрахункову схему активного опору дуги R_d , який визначається на підставі ймовірнісних характеристик впливу стійкої дуги на струм КЗ. Розрахунок значення активного опору дуги наведено в розділі 11.

6.10 Активний та індуктивний опори кабелю

Для розрахунку струмів КЗ слід враховувати активний $R_{каб}$ та індуктивний $X_{каб}$ опір прямої і нульової послідовності кабелю. Значення активного та індуктивного опорів силових і контрольних кабелів, на підставі даних заводів-виробників, наведені в таблицях А.60—А.69.

При визначенні мінімальних значень струмів КЗ слід враховувати збільшення активного опору кабелю внаслідок його нагрівання струмами КЗ.

Урахування зміни активного опору кабелю при КЗ наведено в розділі 13.

6.11 Параметри асинхронного двигуна

Урахування впливу асинхронних двигунів під час розрахунку струмів КЗ наведено в розділі 14.

Під час проведення наближених розрахунків допустимо прийняти надперехідний індуктивний опір асинхронного двигуна $X_{Ад}'' = 0,18$ та активний опір статора асинхронного двигуна $R_{Ад} = 0,36X_{Ад}''$.

6.12 Параметри автономного джерела електроенергії і синхронного двигуна

Під час розрахунку початкового діючого значення періодичної складової струму КЗ автономні джерела, а також синхронні двигуни слід вводити у схему заміщення надперехідним опором по поздовжній осі ротора X_d , а для визначення постійної часу аперіодичної складової струму КЗ — індуктивним опором для струмів зворотної послідовності X_2 і активним опором обмотки статора $R_{сд}$. Урахування впливу синхронних двигунів під час розрахунку струмів КЗ наведено в розділі 14.

При наближених розрахунках можна приймати:

$$X_{d(ном)}'' = 0,15; X_2 = X_d''; R_{сд} = 0,15X_d''.$$

6.13 Параметри комплексних навантажень

Під час розрахунку струмів КЗ від комплексних навантажень слід ураховувати їх параметри прямої, зворотної та нульової послідовностей.

В наближених розрахунках для вузлів, які містять до 70% асинхронних двигунів, допускається значення модулів повних опорів комплексного навантаження приймати рівними

$$Z_{1нав.}^* = Z_{2нав.}^* = 0,4; Z_{0нав.}^* = 3,0.$$

Значення модулів повних опорів прямої $Z_{1нав.}$, зворотної $Z_{2нав.}$ і нульової $Z_{0нав.}$ послідовностей вузлів навантаження в залежності від їх складу слід визначати згідно з розділом 15.

Рекомендовані значення опорів прямої Z_1 і зворотної Z_2 послідовностей окремих елементів комплексного навантаження, наведені в таблиці 1.

* Числове значення у відносних одиницях.

Таблиця 1

Споживачі комплексного навантаження	Позначення на схемах	$\cos\varphi_{\text{ном}}$	Значення опорів, відн. од.	
			Z_1^*	Z_2^*
Асинхронні двигуни	АД	0,8	$0,07 + j0,18$	$0,07 + j0,18$
Синхронні двигуни	СД	0,9	$0,03 + j0,16$	$0,03 + j0,16$
Лампи розжарювання	ЛР	1,0	1,0	1,33
Газорозрядні джерела світла	ЛГ	0,85	$0,85 + j0,53$	$0,38 + j0,24$
Перетворювачі	П	0,9	$0,9 + j0,44$	$1,66 + j0,81$
Електротермічні установки	ЕУ	0,9	$1 + j0,49$	$0,4 + j0,2$

7 РОЗРАХУНОК ПОЧАТКОВОГО ЗНАЧЕННЯ ПЕРІОДИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ СТРУМУ ТРИФАЗНОГО КЗ

7.1 При електропостачанні електроустановки від енергосистеми через понижувальний трансформатор початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ $I_{\text{п0}}^{(3)}$ у кілоамперах без урахування підживлення від електродвигунів визначається за формулою:

$$I_{\text{п0}}^{(3)} = \frac{U_{\text{сер.НН}}}{\sqrt{3} \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}}, \quad (7.1)$$

де $U_{\text{сер.НН}}$ — середня номінальна напруга мережі, в якій відбулося КЗ, В;

$R_{1\Sigma}, X_{1\Sigma}$ — відповідно сумарний активний і сумарний індуктивний опори прямої послідовності розрахункової схеми відносно точки КЗ, МОм.

$$R_{1\Sigma} = R_{1Т} + R_p + R_{ТА} + R_{1ш} + R_{1каб} + R_k + R_{кв} + R_{пл.вст}, \quad (7.2)$$

$$X_{1\Sigma} = X_c + X_{1Т} + X_p + X_{ТА} + X_{1ш} + X_{1каб} + X_{кв}, \quad (7.3)$$

де $R_{1Т}, X_{1Т}$ — активний та індуктивний опори прямої послідовності обмоток трансформатора, МОм;

R_p, X_p — активний та індуктивний опори реакторів, МОм;

$R_{ТА}, X_{ТА}$ — активний та індуктивний опори первинних обмоток трансформаторів струму, МОм;

$R_{1ш}, X_{1ш}$ — активний та індуктивний опори прямої послідовності шинопроводів, МОм;

$R_{1каб}, X_{1каб}$ — активний та індуктивний опори прямої послідовності кабелів, МОм;

R_k — активний опір контактів і контактних з'єднань, МОм;

$R_{кв}, X_{кв}$ — активний та індуктивний опори струмових котушок і контактів автоматичних викивачів, МОм;

$R_{пл.вст}$ — опір плавкої вставки, МОм;

X_c — індуктивний опір зовнішньої системи, МОм.

7.2 Якщо електропостачання електроустановки здійснюється від енергосистеми через понижувальний трансформатор і поблизу від місця КЗ є синхронні та асинхронні двигуни або комплексне навантаження, тоді початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ слід визначати як суму струмів від енергосистеми і від електродвигунів або комплексного навантаження.

7.3 При електропостачанні електроустановки від автономного джерела електроенергії початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ $I_{\text{п0}}^{(3)}$ у кілоамперах без урахування підживлення від електродвигунів визначається за формулою:

$$I_{\Gamma 0}^{(3)} = \frac{E_{\Phi}''}{\sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}}, \quad (7.4)$$

де E_{Φ}'' — надперехідна ЕРС (фазне значення) автономного джерела, В. Значення ЕРС слід визначати як і для синхронного двигуна;

$R_{1\Sigma}, X_{1\Sigma}$ — відповідно сумарний активний і сумарний індуктивний опори прямої послідовності розрахункової схеми відносно точки КЗ, мОм.

$$R_{1\Sigma} = R_{\text{ст}} + R_p + R_{\text{ТА}} + R_{1\text{ш}} + R_{1\text{каб}} + R_k + R_{\text{кв}} + R_{\text{пл.вст}}, \quad (7.5)$$

$$X_{1\Sigma} = X_d'' + X_p + X_{\text{ТА}} + X_{1\text{ш}} + X_{1\text{каб}} + X_{\text{кв}}, \quad (7.6)$$

де $R_{\text{ст}}$ — активний опір обмотки статора автономного джерела, мОм;

X_d'' — надперехідний опір по поздовжній осі ротора, мОм.

7.4 Якщо необхідно врахувати синхронні та асинхронні двигуни або комплексне навантаження в автономній електричній системі, початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ слід визначати як суму струмів від автономного джерела і від електродвигунів або комплексного навантаження.

7.5 При електропостачанні електроустановки від енергосистеми через понижувальний трансформатор діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ у будь-який момент часу в кілоамперах без урахування підживлювання від електродвигунів слід визначати за формулою:

$$I_{\text{nt}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.нн}}}{\sqrt{3} \sqrt{X_{1\Sigma}^2 + (R_{1\Sigma} + R_{\text{дт}} + R_{1\text{каб.9т}})^2}}, \quad (7.7)$$

де $U_{\text{ср.нн}}$ — середня номінальна напруга мережі, в якій відбулося КЗ, В;

$R_{1\Sigma}, X_{1\Sigma}$ — відповідно сумарний індуктивний та активний опори прямої послідовності кола КЗ, мОм, без урахування активного опору електричної дуги і кабельної лінії;

$R_{\text{дт}}$ — активний опір дуги в місці КЗ в будь-який момент часу, мОм;

$R_{1\text{каб.9т}}$ — активний опір прямої послідовності кабельної лінії до моменту t_c з урахуванням нагріву його струмом КЗ, мОм.

8 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ НЕСИМЕТРИЧНИХ КЗ

8.1 Складання схеми заміщення

8.1.1 Розрахунок струмів однофазного і двофазного КЗ виконують із застосуванням методу симетричних складових, при цьому треба скласти три однолінійні схеми заміщення — прямої, зворотної та нульової послідовностей.

8.1.2 Схема заміщення прямої послідовності повинна містити усі елементи розрахункової схеми. Під час розрахунку початкового діючого значення періодичної складової струму несиметричного КЗ автономні джерела, синхронні та асинхронні двигуни, а також комплексне навантаження повинні бути враховані надперехідною ЕРС і надперехідним опором.

8.1.3 Схема заміщення зворотної послідовності також повинна містити усі елементи розрахункової схеми. За конфігурацією схеми прямої і зворотної послідовностей однакові. Вони відрізняються тільки параметрами синхронних і асинхронних двигунів, а також комплексного навантаження. Умовно вважаємо, що ЕРС зворотної послідовності усіх генеруючих віток дорівнює нулю, а опір зворотної послідовності синхронних двигунів слід приймати за каталоговими даними, асинхронні двигуни повинні бути враховані надперехідним опором, а комплексне навантаження — згідно з таблицею 1.

8.1.4 Схема заміщення нульової послідовності повинна містити опори тих елементів принципової схеми, по яких протікає струм нульової послідовності.

Схему заміщення нульової послідовності слід починати складати з місця несиметрії, де прикладене відповідне джерело напруги. Значення опорів нульової послідовності вказуються в каталогах або визначаються експериментально.

8.2 Розрахунок струмів двофазного КЗ

8.2.1 При електропостачанні електроустановки від енергосистеми через понижувальний трансформатор початкове діюче значення періодичної складової струму двофазного КЗ $I_{п0}^{(2)}$ у кілоамперах визначається за формулою:

$$I_{п0}^{(2)} = \frac{U_{сер.НН}}{\sqrt{(R_{1\Sigma} + R_{2\Sigma})^2 + (X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma})^2}} = \frac{U_{сер.НН}}{2\sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}}, \quad (8.1)$$

де $R_{1\Sigma}$, $X_{1\Sigma}$; $R_{2\Sigma}$, $X_{2\Sigma}$ — відповідно сумарний активний і сумарний індуктивний опори прямої і зворотної послідовностей розрахункової схеми відносно точки КЗ, мОм.

$$R_{1\Sigma} = R_{1Т} + R_p + R_{ТА} + R_{1ш} + R_{1каб} + R_k + R_{кв} + R_{пл.вст}, \quad (8.2)$$

$$X_{1\Sigma} = X_c + X_{1Т} + X_p + X_{ТА} + X_{1ш} + X_{1каб} + X_{кв}. \quad (8.3)$$

Співвідношення між початковим значенням періодичної складової струму трифазного і двофазного металевго КЗ, беручи до уваги, що $R_{1\Sigma} = R_{2\Sigma}$, $X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma}$, становить $I_{п0}^{(3)}/I_{п0}^{(2)} = 2/\sqrt{3}$, при цьому початкове діюче значення періодичної складової струму двофазного КЗ можна визначити як $I_{п0}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{п0}^{(3)}$.

8.2.2 В електроустановках з автономним джерелом електроенергії початкове діюче значення періодичної складової струму двофазного КЗ $I_{п0}^{(2)}$ у кілоамперах визначається за формулою:

$$I_{п0}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}E_{\Phi}}{2\sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}}, \quad (8.4)$$

де E_{Φ} — надперехідна ЕРС (фазне значення) автономного джерела, В;

$R_{1\Sigma}$, $X_{1\Sigma}$ — відповідно сумарний активний і сумарний індуктивний опори прямої послідовності розрахункової схеми відносно точки КЗ, мОм.

8.3 Розрахунок струмів однофазного КЗ

8.3.1 При електропостачанні електроустановки від енергосистеми через понижувальний трансформатор початкове діюче значення періодичної складової струму однофазного КЗ $I_{п0}^{(1)}$ у кілоамперах визначається за формулою:

$$I_{п0}^{(1)} = \frac{\sqrt{3}U_{сер.НН}}{\sqrt{(2R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}}, \quad (8.5)$$

де $R_{1\Sigma}$, $X_{1\Sigma}$ — відповідно сумарний активний і сумарний індуктивний опори прямої послідовності розрахункової схеми відносно точки КЗ, мОм;

$R_{0\Sigma}$, $X_{0\Sigma}$ — відповідно сумарний активний і сумарний індуктивний опори нульової послідовності розрахункової схеми відносно точки КЗ, мОм.

$$R_{0\Sigma} = R_{0Т} + R_{ТА} + R_p + R_{0ш} + R_{0каб} + R_k + R_{кв}, \quad (8.6)$$

$$X_{0\Sigma} = X_{0Т} + X_{ТА} + X_p + X_{0ш} + X_{0каб} + X_{кв}, \quad (8.7)$$

де $R_{0Т}$, $X_{0Т}$ — активний та індуктивний опори нульової послідовності трансформатора, мОм;

$R_{ТА}$, $X_{ТА}$ — активний та індуктивний опори первинних обмоток трансформаторів струму, мОм;

R_p , X_p — активний та індуктивний опори реакторів, мОм;

$R_{0ш}$, $X_{0ш}$ — активний та індуктивний опори нульової послідовності шинопроводу, мОм;

$R_{0\text{каб}}, X_{0\text{каб}}$ — активний та індуктивний опори нульової послідовності кабелю, мОм;
 R_K — активний опір контактів і контактних з'єднань, мОм;
 $R_{\text{кв}}, X_{\text{кв}}$ — активний та індуктивний опори струмових котушок і контактів автоматичних викиачів, мОм.

8.3.2 В електроустановках з автономним джерелом електроенергії початкове діюче значення періодичної складової струму однофазного КЗ $I_{\text{п0}}^{(1)}$ у кілоамперах визначається за формулою:

$$I_{\text{п0}}^{(1)} = \frac{3E_{\text{ф}}}{\sqrt{(2R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}}, \quad (8.8)$$

де $E_{\text{ф}}$ — надперехідна ЕРС (фазне значення) автономного джерела, В;
 $R_{1\Sigma}, X_{1\Sigma}$ — відповідно сумарний активний і сумарний індуктивний опори прямої послідовності розрахункової схеми відносно точки КЗ, мОм;
 $R_{0\Sigma}, X_{0\Sigma}$ — відповідно сумарний активний і сумарний індуктивний опори нульової послідовності розрахункової схеми відносно точки КЗ, мОм.

9 РОЗРАХУНОК УДАРНОГО СТРУМУ КЗ

9.1 При визначенні максимального миттєвого значення струму КЗ, тобто ударного струму, в основному, враховують затухання тільки аперіодичної складової струму, вважаючи, що амплітуда надперехідного струму за півперіода практично зберігає своє початкове значення.

9.2 Ударний струм трифазного КЗ в електроустановках з одним джерелом електропостачання (енергосистема або автономне джерело) визначається за формулою:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}} \left(1 + e^{\frac{-t_{\text{уд}}}{T_{\text{а}}}} \right) = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}} K_{\text{уд}}, \quad (9.1)$$

де $K_{\text{уд}} = 1 + e^{\frac{-t_{\text{уд}}}{T_{\text{а}}}}$ — ударний коефіцієнт;
 $T_{\text{а}}$ — постійна часу затухання аперіодичної складової струму КЗ, с;
 $t_{\text{уд}}$ — час від початку КЗ до появи ударного струму, с, який визначається за формулою:

$$t_{\text{уд}} = 0,01 \frac{\frac{\pi}{2} + \varphi}{\pi}. \quad (9.2)$$

Кут зсуву за фазою напруги і періодичної складової струму КЗ дорівнює:

$$\varphi_K = \arctg X_{1\Sigma} / R_{1\Sigma}. \quad (9.3)$$

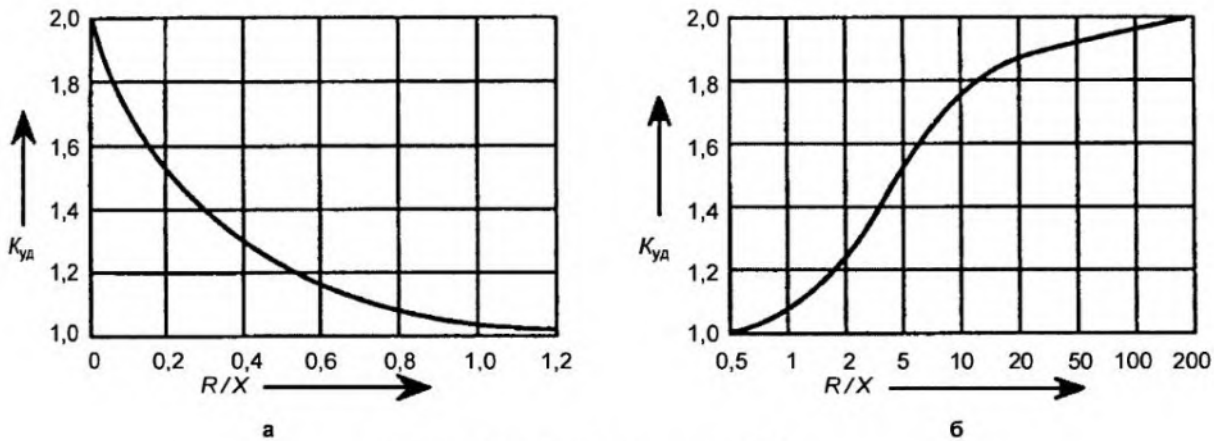
Ударний коефіцієнт залежить від постійної часу $T_{\text{а}}$ або відношенню індуктивного і активного опорів кола КЗ. Ця залежність представлена кривою на рисунку 2.

9.3 Якщо необхідно врахувати синхронні та асинхронні двигуни або комплексне навантаження, ударний струм КЗ слід визначати як суму ударних струмів від джерел енергії і від електродвигунів або комплексного навантаження.

9.4 Якщо точка КЗ ділить розрахункову схему на радіальні, незалежні одна від іншої вітки, то ударний струм КЗ слід визначати як суму ударних струмів окремих віток за формулою:

$$i_{\text{уд}} = \sum_{i=1}^m \sqrt{2} I_{\text{п0}i} \left(1 + e^{\frac{-t_{\text{уд}i}}{T_{\text{а}i}}} \right), \quad (9.4)$$

де m — кількість незалежних віток схеми;
 $I_{\text{п0}i}$ — початкове діюче значення періодичної складової струму КЗ в i -й вітці, кА;
 $t_{\text{уд}i}$ — час появи ударного струму в i -й вітці, с;
 $T_{\text{а}i}$ — постійна часу затухання аперіодичної складової струму КЗ в i -й вітці, с.


 Рисунок 2 — Криві залежності ударного коефіцієнта $K_{уд}$ від активного і індуктивного опорів кола КЗ

10 РОЗРАХУНОК АПЕРІОДИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ СТРУМУ КЗ

10.1 Найбільше початкове значення аперіодичної складової струму КЗ i_{a0} в загальному випадку слід вважати рівним амплітуді аперіодичної складової струму в початковий момент часу КЗ:

$$i_{a0} = \sqrt{2} \cdot I_{n0}. \quad (10.1)$$

10.2 У радіальних мережах аперіодичну складову струму КЗ у будь-який момент часу i_{at} слід визначати за формулою:

$$i_{at} = i_{a0} e^{-t/T_a}, \quad (10.2)$$

де t — час, с;

T_a — постійна часу затухання аперіодичної складової струму КЗ, с, яка визначається за формулою:

$$T_a = \frac{X_\Sigma}{\omega_c R_\Sigma}, \quad (10.3)$$

де X_Σ , R_Σ — результуючі індуктивний і активний опори кола КЗ, з урахуванням опорів асинхронного електродвигуна, мОм;

ω_c — синхронна кутова частота напруги мережі, рад/с.

При визначенні X_Σ і R_Σ синхронні генератори, синхронні і асинхронні двигуни слід вводити в схему заміщення у відповідності з вимогами 6.11 і 6.12.

Комплексне навантаження повинно бути введене в схему заміщення у відповідності з вимогами 6.13.

11 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ ДУГОВОГО КЗ

11.1 Урахування опору електричної дуги

11.1.1 При розрахунку струму стійкого дугового КЗ практично неможливо передбачити тип виникнення дуги і врахувати фактори, які впливають на її розвиток. Тому урахування електричної дуги у місці КЗ рекомендується проводити введенням у розрахункову схему активного опору дуги R_d , який визначається на підставі ймовірнісних характеристик впливу стійкої дуги на струм КЗ.

11.1.2 Середнє значення активного опору дуги у початковий момент КЗ можна визначати за формулою:

$$R_D = \sqrt{\frac{U_{\text{сеп.НН}}^2}{3I_{\text{п0}}^2 K_c^2} - X_{1\Sigma}^2 - R_{1\Sigma}}, \quad (11.1)$$

де $I_{\text{п0}}$ — початкове значення періодичної складової струму в місці металевго КЗ, кА, яке визначається згідно з розділом 7;

$X_{1\Sigma}$, $R_{1\Sigma}$ — відповідно сумарний індуктивний і сумарний активний опори кола КЗ, мОм;

K_c — середньостатичне значення поправочного коефіцієнта, який враховує пониження струму в початковий момент дугового КЗ порівняно зі струмом металевго КЗ, який можна визначити за формулою:

$$K_c = 0,6 - 0,0025Z_{\text{КЗ}} + 0,114\sqrt{Z_{\text{КЗ}}} - 0,13\sqrt[3]{Z_{\text{КЗ}}}, \quad (11.2)$$

де $Z_{\text{КЗ}}$ — опір кола КЗ, який залежить від виду КЗ:

— при трифазному КЗ:

$$Z_{\text{к}}^{(3)} = \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}, \quad (11.3)$$

— при двофазному КЗ:

$$Z_{\text{к}}^{(2)} = 2/\sqrt{3}\sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}, \quad (11.4)$$

— при однофазному КЗ:

$$Z_{\text{к}}^{(1)} = 1/3\sqrt{(2R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}. \quad (11.5)$$

11.1.3 Середнє значення активного опору дуги у будь-який момент часу при стійкому дуговому КЗ можна визначати за формулою:

$$R_{\text{дт}} = \sqrt{\frac{U_{\text{сеп.НН}}^2}{3I_{\text{пт}}^2 K_{\text{ct}}^2} - X_{1\Sigma}^2 - (R_{1\Sigma} + R_{1\text{каб.9т}})}, \quad (11.6)$$

де $I_{\text{пт}}$ — діюче значення періодичної складової струму металевго КЗ у будь-який момент часу, кА, з урахуванням збільшення активного опору кола КЗ, яке визначається згідно з розділом 12;

$R_{1\Sigma}$ — сумарний активний опір прямої послідовності кола КЗ, мОм, без урахування активного опору кабельної лінії і опору електричної дуги;

$R_{1\text{каб.9т}}$ — активний опір прямої послідовності кабельної лінії до моменту t , мОм, з урахуванням нагріву її струмом КЗ; визначається згідно з розділом 13;

K_{ct} — середньостатистичне значення поправочного коефіцієнта, який враховує пониження струму дугового КЗ порівняно зі струмом металевго КЗ, який можна визначити за формулою:

$$K_{\text{ct}} = 0,55 - 0,002Z_{\text{кт}} + 0,1\sqrt{Z_{\text{кт}}} - 0,12\sqrt[3]{Z_{\text{кт}}}, \quad (11.7)$$

де $Z_{\text{кт}}$ — опір кола КЗ, який залежить від виду КЗ:

— при трифазному КЗ:

$$Z_{\text{кт}}^{(3)} = \sqrt{(R_{1\Sigma} + R_{1\text{каб.9т}})^2 + X_{1\Sigma}^2}; \quad (11.8)$$

— при двофазному КЗ:

$$Z_{\text{кт}}^{(2)} = 2/\sqrt{3}\sqrt{(R_{1\Sigma} + R_{1\text{каб.9т}})^2 + X_{1\Sigma}^2}; \quad (11.9)$$

— при однофазному КЗ:

$$Z_{\text{кт}}^{(1)} = 1/3 \sqrt{[2(R_{1\Sigma} + R_{1\text{каб.лн}}) + R_{0\Sigma}]^2 + (2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}. \quad (11.10)$$

Наведені статистичні або ймовірнісні характеристики у вигляді поліномів (11.2) і (11.7) дозволяють врахувати комплексний вплив різних факторів КЗ на зміну параметрів дуги для початкового і будь-якого моменту КЗ.

Вирази (11.2) і (11.7), за якими визначається коефіцієнт K_c , відповідають наведеному на рисунку 3 кривим $K_c = f(Z_{\text{кз}})$.

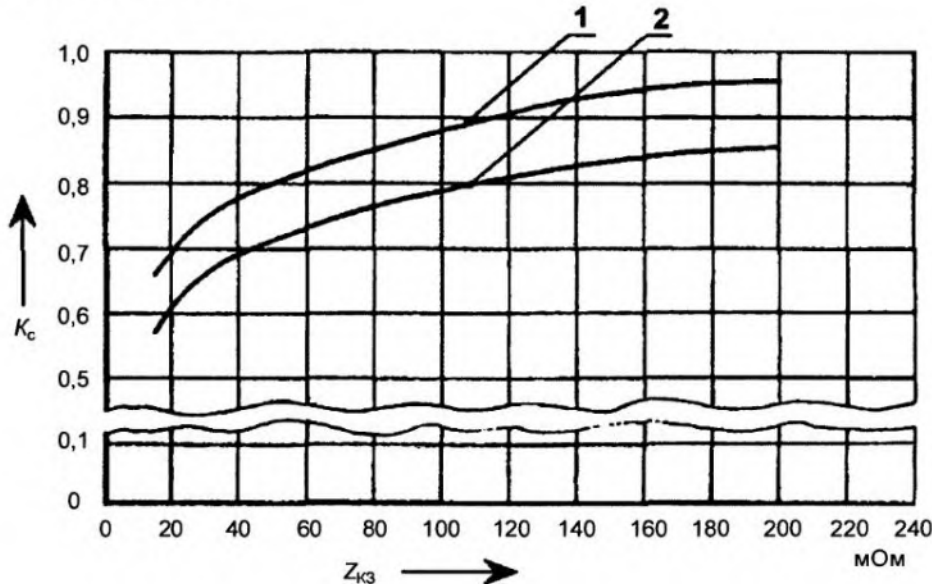


Рисунок 3 — Залежність коефіцієнта K_c , визначеного експериментально для початкового моменту КЗ — $t_{\text{кз}} < 0,05$ с (крива 1) і усталеного КЗ (крива 2) від опору кола КЗ

11.2 Розрахунок струму трифазного дугового КЗ

Імовірнісне значення струму трифазного дугового КЗ $I_{\text{п0}}^{(3)}$ початковий момент часу в кілоамперах визначається за формулою:

$$I_{\text{п0}}^{(3)} = \frac{U_{\text{сер.нн}}}{\sqrt{3} \sqrt{(R_{1\Sigma} + R_d)^2 + X_{1\Sigma}^2}}, \quad (11.11)$$

де $U_{\text{сер.нн}}$ — середня номінальна напруга мережі, в якій відбулося КЗ, В;

$R_{1\Sigma}, X_{1\Sigma}$ — відповідно сумарний активний і сумарний індуктивний опори прямої послідовності розрахункової схеми відносно точки КЗ, МОм.

11.3 Розрахунок струму двофазного дугового КЗ

Імовірнісне значення струму двофазного дугового КЗ $I_{\text{п0}}^{(2)}$ початковий момент часу в кілоамперах визначається за формулою:

$$I_{\text{п0}}^{(2)} = \frac{U_{\text{сер.нн}}}{2 \sqrt{\left(R_{1\Sigma} + \frac{R_d}{2}\right)^2 + X_{1\Sigma}^2}}, \quad (11.12)$$

де $U_{\text{сер.НН}}$ — середня номінальна напруга мережі, в якій відбулося КЗ, В;

$R_{1\Sigma}, X_{1\Sigma}$ — відповідно сумарний активний і сумарний індуктивний опори прямої послідовності розрахункової схеми відносно точки КЗ, МОм.

11.4 Розрахунок струму однофазного дугового КЗ

Імовірнісне значення струму однофазного дугового КЗ $I_{\text{п0}}^{(1)}$ у початковий момент часу в кілоамперах визначається за формулою:

$$I_{\text{п0}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3}U_{\text{сер.НН}}}{\sqrt{(2R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma} + 3R_{\text{д}})^2 + (2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}}, \quad (11.13)$$

де $R_{1\Sigma}, X_{1\Sigma}$ — відповідно сумарний активний та індуктивний опори прямої послідовності кола КЗ, МОм;

$R_{0\Sigma}, X_{0\Sigma}$ — відповідно сумарний активний та індуктивний опори нульової послідовності кола КЗ, МОм.

12 РОЗРАХУНОК ПЕРІОДИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ СТРУМУ КЗ ВІД АВТОНОМНОГО ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В БУДЬ-ЯКИЙ МОМЕНТ ЧАСУ

12.1 Значення періодичної складової струму в будь-який момент часу після виникнення трифазного КЗ необхідно знати для вибору комутаційної апаратури.

12.2 В наближених розрахунках для визначення діючого значення періодичної складової струму КЗ у будь-який момент часу від автономного джерела при радіальній схемі слід приймати типові криві, наведені на рисунку 4.

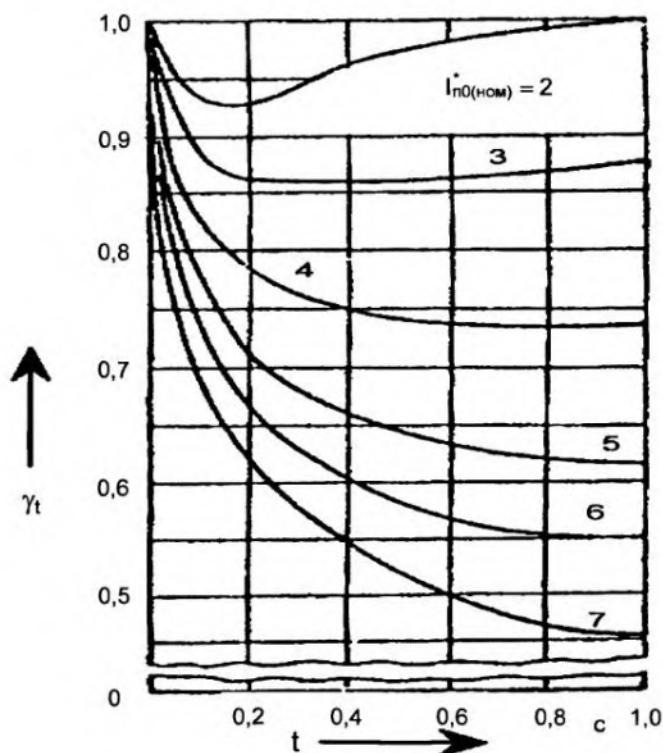


Рисунок 4 — Зміна періодичної складової струму КЗ від синхронної машини

Розрахункові криві характеризують зміну цієї складової у часі при різній віддаленості точки КЗ. Значення періодичної складової струму КЗ в будь-який момент часу I_{nt} віднесені до початкового значення цієї складової I_{n0} , а саме:

$$\gamma_t = \frac{I_{nt}}{I_{n0}}. \quad (12.1)$$

Віддаленість точки КЗ від синхронної машини I_{n0}^* (ном) характеризується відношенням діючого значення періодичної складової струму синхронної машини в початковий момент КЗ до його номінального струму.

При значенні відношення $I_{n0}/I_{ном}$ меншому ніж одиниця, можна вважати, що $I_{nt} = I_{n0} = \text{const}$.

Діюче значення періодичної складової струму КЗ в будь-який момент часу від синхронної машини I_{nt} (або декількох однотипних синхронних машин, які знаходяться в однакових умовах по відношенню до точки КЗ) розраховується за формулою:

$$I_{nt} = \gamma_t \cdot I_{n0}^* \cdot I_{ном} \quad (12.2)$$

13 УРАХУВАННЯ ЗМІНИ АКТИВНОГО ОПОРУ КАБЕЛЮ ПРИ КЗ

13.1 Протікання струму КЗ викликає нагрівання і відповідно збільшення активного опору всіх провідників, які складають коло КЗ, що в свою чергу приводить до зниження його величини. Зростання активного опору і відповідні зниження величини струму КЗ можуть бути досить значними. Зміна струму КЗ у часі за рахунок нагрівання провідників у колі КЗ називається тепловим спадом струму КЗ і повинна враховуватися під час перевірки чутливості захисних апаратів, які відключають КЗ з витримкою часу, при перевірці термічної і пожежної стійкості кабелів і перевірці селективності захисних апаратів в колі КЗ.

Ефект теплового спаду струму трифазного КЗ слід враховувати, якщо активний опір кабелю до моменту КЗ становить більш ніж 20 % сумарного індуктивного опору кола КЗ.

Активний опір кабелю при його початковій температурі визначається за формулою:

$$R_n = R_{пит} \cdot \frac{\tau_p + \vartheta_n}{\tau_p + \vartheta_{ном}}, \quad (13.1)$$

де $R_{пит}$ — питомий опір провідника, при нормованій температурі +20 °С, Ом/м;

l — довжина провідника до місця КЗ, м;

τ_p — постійна величина, яка залежить від матеріалу провідника, °С, для алюмінія $\tau_p = 236$ °С, для міді $\tau_p = 234$ °С;

ϑ_n — фактичне значення початкової температури провідника, °С;

$\vartheta_{ном}$ — нормоване значення температури провідника, дорівнює +20 °С.

Початкову температуру кабелю до моменту КЗ можна визначити, як:

$$\vartheta_n = \left(\frac{I_{ном.розр}}{I_{доп}} \right)^2 \cdot (\vartheta_{доп} - \vartheta_{ном}) + \vartheta_{нав.сер}, \quad (13.2)$$

де $I_{ном.розр}$ — розрахунковий струм нормального режиму, А;

$I_{доп}$ — допустимий струм тривалого режиму для провідника даного перетину, А;

$\vartheta_{доп}$ — допустима температура провідника в тривалому режимі, °С;

$\vartheta_{ном}$ — нормована температура навколишнього середовища, °С;

$\vartheta_{нав.сер}$ — температура навколишнього середовища, °С.

Збільшення активного опору кабелю при нагріванні його струмом КЗ рекомендується враховувати за допомогою коефіцієнта K_ϑ :

$$R_{\vartheta t} = R_n \cdot K_\vartheta. \quad (13.3)$$

Коефіцієнт збільшення активного опору провідника, який залежить від матеріалу, а також від початкової і кінцевої температури провідника визначається за формулою:

$$K_g = \frac{\tau_p + \vartheta_k}{\tau_p + \vartheta_n}, \quad (13.4)$$

де τ_p — постійна величина, яка залежить від матеріалу провідника, °C;

ϑ_k — значення кінцевої температури провідника, °C;

ϑ_n — фактичне значення початкової температури провідника, °C.

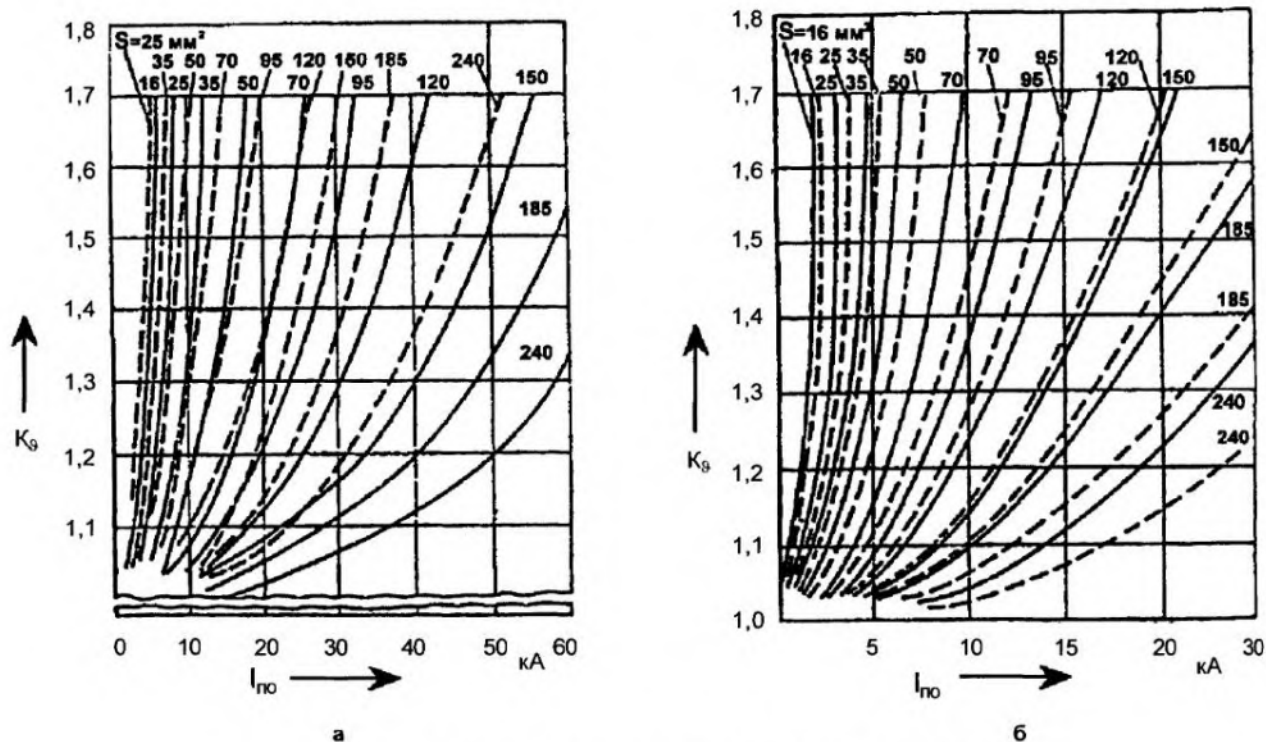
Коефіцієнт збільшення активного опору провідника K_g , який залежить від матеріалу і перетину провідника, струму КЗ і тривалості КЗ також можна визначити за кривими, наведеними на рисунках 5 і 6.

Криві, вказані на рисунках 5 і 6, отримані за такими розрахунковими умовами:

— КЗ проходить в радіальній схемі, яка має джерело незмінної за амплітудою ЕРС;

— температура кабелю змінюється від $\vartheta_n = 20$ °C до $\vartheta_{k \text{ доп}} = 200$ °C;

— тривалість КЗ $t_{\text{вимк}}$ становить 0,2; 0,6; 1,0; 1,5 с.



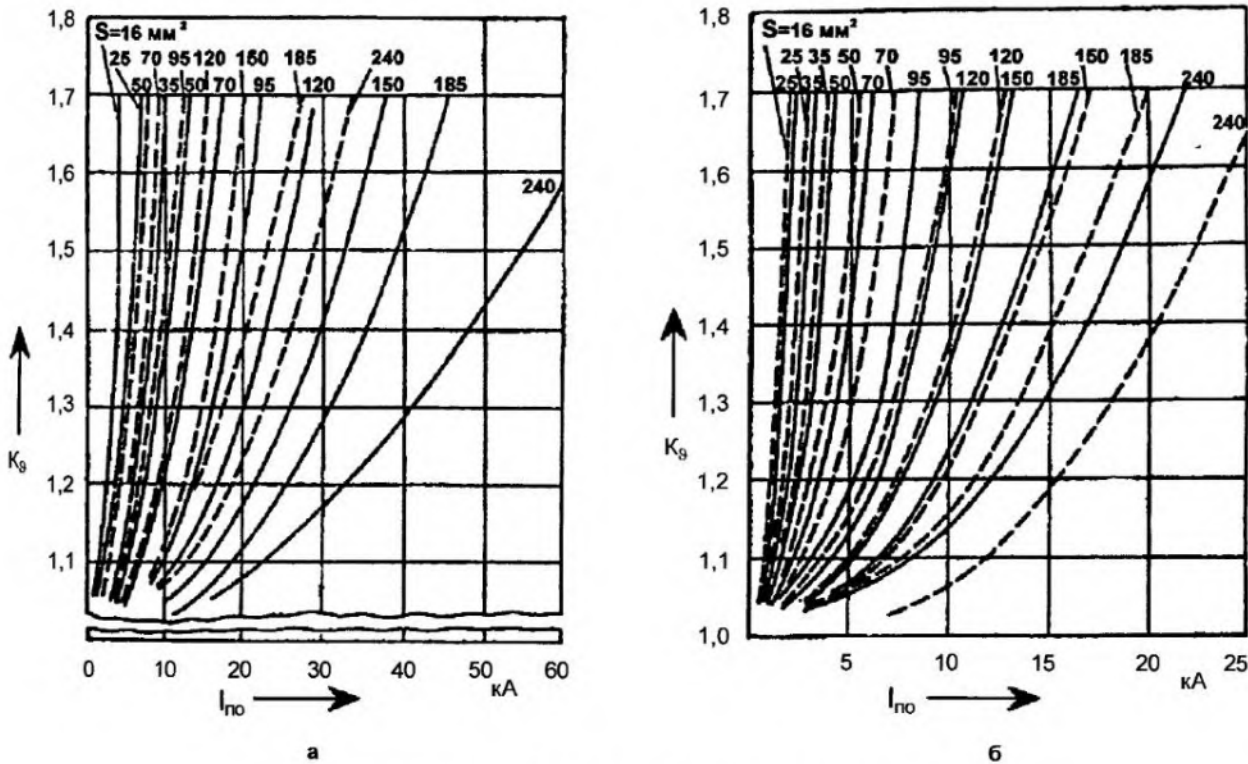
а — тривалість КЗ 0,2 с (суцільні лінії) і 0,6 с (пунктирні лінії);

б — тривалість КЗ 1,0 с (суцільні лінії) і 1,5 с (пунктирні лінії).

Рисунок 5 — Залежність коефіцієнта збільшення активного опору кабелів різного перетину з мідними жилами від струму КЗ

13.2 Розрахунок нагрівання провідника при КЗ слід виконувати з урахуванням віддачі тепла від жили провідника в ізоляцію і в навколишнє середовище в залежності від перетину провідника і тривалості КЗ.

Необхідність урахування віддачі тепла визначається співставленням розрахункового часу нагрівання (час вимкнення КЗ — $t_{\text{вимк}}$) і критичної тривалості КЗ ($t_{\text{кр}}$), при якому нехтування тепловіддачі від жили в ізоляцію призведе до похибки в розрахунках перевищення температури провідника над початковою в межах 5 %.



а — тривалість КЗ 0,2 с (суцільні лінії) і 0,6 с (пунктирні лінії);
б — тривалість КЗ 1,5 с (суцільні лінії) і 1,0 с (пунктирні лінії).

Рисунок 6 — Залежність коефіцієнта збільшення активного опору кабелів різного перетину з алюмінієвими жилами від струму КЗ

При значенні $t_{\text{вимк}} \geq t_{\text{кр}}$ слід враховувати віддачу тепла в ізоляцію і в навколишнє середовище.

Критична тривалість КЗ в секундах, яка залежить від площі перетину провідника S визначається:

- для кабелів з алюмінієвими жилами: $t_{\text{кр}} = 0,66 \cdot 10^{-2} \cdot S_{\text{каб}}$,
- для кабелів з мідними жилами: $t_{\text{кр}} = 1,22 \cdot 10^{-2} \cdot S_{\text{каб}}$.

13.3 При визначенні мінімального значення струму КЗ слід враховувати взаємний вплив зміни активного опору провідника внаслідок його нагрівання струмом КЗ і опір електричної дуги в місці КЗ.

Значення коефіцієнта K_g для кабелів з алюмінієвими жилами внаслідок нагрівання їх струмом дугового КЗ з урахуванням віддачі тепла визначають в залежності від перетину кабелю, струму КЗ ($I_{\text{по}}$) і тривалості КЗ за кривими, наведеними на рисунку 7, а для кабелів з мідними жилами — за кривими, наведеними на рисунку 8.

Криві, вказані на рисунках 7 і 8, отримані за такими розрахунковими умовами:

- КЗ проходить в радіальній схемі, яка має джерело незмінної за амплітудою ЕРС;
- температура кабелю змінюється від $\vartheta_n = 20^\circ\text{C}$ до $\vartheta_{\text{к.доп}} = 200^\circ\text{C}$;
- опір електричної дуги враховується згідно з 11.1;
- вплив віддачі тепла від жили кабелю в ізоляцію згідно з 13.2;
- тривалість КЗ $t_{\text{вимк}}$ становить 0,2; 0,6; 1,0—1,5 с.

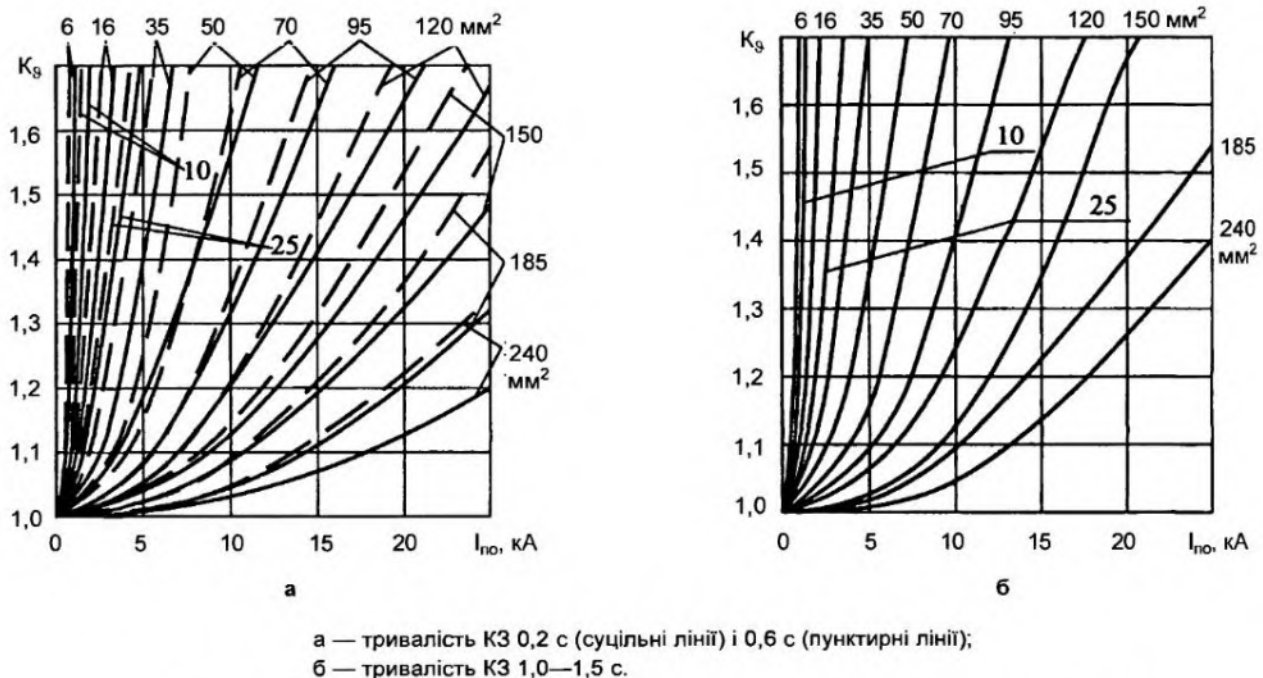


Рисунок 7 — Залежність коефіцієнта збільшення активного опору кабелів різного перетину з алюмінієвими жилами від струму КЗ з урахуванням віддачі тепла

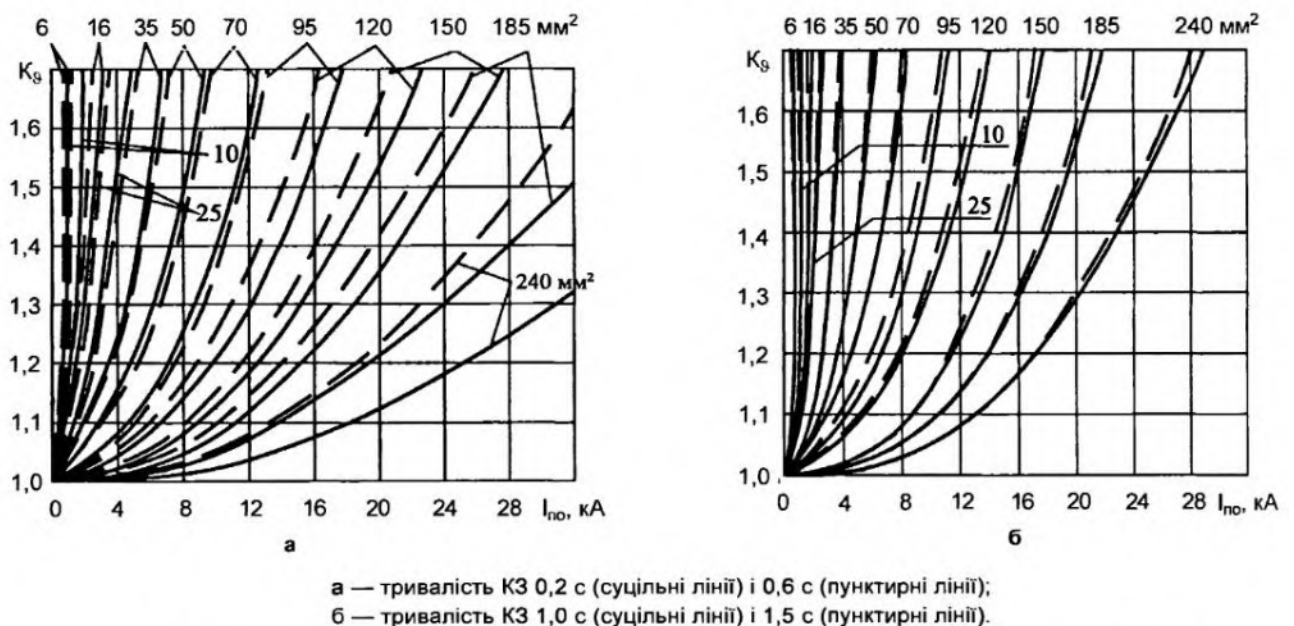


Рисунок 8 — Залежність коефіцієнта збільшення активного опору кабелів різного перетину з мідними жилами від струму КЗ з урахуванням віддачі тепла

14 УРАХУВАННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПІД ЧАС РОЗРАХУНКУ СТРУМІВ КЗ

14.1 Урахування синхронних двигунів під час розрахунку струмів КЗ

14.1.1 Під час розрахунку початкового діючого значення періодичної складової струму КЗ синхронні електродвигуни слід вводити у схему заміщення надперехідним опором по поздовжній осі ротора X_d'' , а для визначення постійної часу аперіодичної складової струму КЗ —

індуктивним опором для струмів зворотної послідовності X_2 і активним опором обмотки статора R_{cd} . При наближених розрахунках можна приймати $X_{d(ном)}'' = 0,15$; $X_2 = X_d''$; $R_{cd} = 0,15X_d''$.

14.1.2 У радіальній схемі початкове діюче значення періодичної складової струму КЗ від синхронних електродвигунів $I_{п0\text{ СД}}$ у кілоамперах розраховується за формулою:

$$I_{п0\text{ СД}} = \frac{E_{\text{ф. сд}}''}{\sqrt{(X_d'' + X_{1\Sigma})^2 + (R_{cd} + R_{1\Sigma})^2}}, \quad (14.1)$$

де $E_{\text{ф. сд}}''$ — надперехідна ЕРС синхронного двигуна (фазне значення), В;

X_d, R_{cd} — відповідно надперехідний індуктивний і активний опори двигуна, мОм;

$X_{1\Sigma}, R_{1\Sigma}$ — сумарний індуктивний і сумарний активний опори прямої послідовності кола, увімкненого між двигуном і розрахунковою точкою КЗ, мОм.

14.1.3 Значення надперехідної ЕРС $E_{\text{ф. сд}}''$, у вольтах, синхронних двигунів, які до КЗ працювали з перезбудженням, визначається за формулою:

$$E_{\text{ф. сд}}'' = \sqrt{(U_{\text{ф}(0)} \cos \varphi_{(0)} + I_{(0)} R_{cd})^2 + (U_{(0)} \sin \varphi_{(0)} + I_{(0)} X_d'')^2}. \quad (14.2)$$

Значення надперехідної ЕРС $E_{\text{ф. сд}}''$, у вольтах, синхронних двигунів, які до КЗ працювали з недозбудженням, визначається за формулою:

$$E_{\text{ф. сд}}'' = \sqrt{(U_{\text{ф}(0)} \cos \varphi_{(0)} + I_{(0)} R_{cd})^2 + (U_{(0)} \sin \varphi_{(0)} - I_{(0)} X_d'')^2}. \quad (14.3)$$

де $U_{\text{ф}(0)}$ — фазна напруга на виводах електродвигуна в момент, який передує КЗ, В;

$\varphi_{(0)}$ — усереднене значення зсуву фаз напруги і струму в момент, який передує КЗ;

$I_{(0)}$ — струм статора в момент, який передує КЗ, А.

X_d'', R_{cd} — відповідно надперехідний індуктивний і активний опори двигуна, Ом;

14.2 Урахування асинхронних двигунів під час розрахунку струмів КЗ

14.2.1 Під час розрахунку початкового діючого значення періодичної складової струму КЗ асинхронні двигуни слід вводити в схему заміщення надперехідним індуктивним опором. За необхідності проведення уточнених розрахунків треба також враховувати активний опір асинхронного двигуна.

14.2.2 Сумарний активний опір асинхронного двигуна $R_{ад}$ у міліомах в момент КЗ визначається за формулою:

$$R_{ад} = R_1 + 0,96 \cdot R_2', \quad (14.4)$$

де R_1 — активний опір статора, мОм;

R_2' — активний опір ротора, приведений до статора, мОм.

Значення R_2' у міліомах може бути визначене за формулою:

$$R_2' = \frac{0,36 M_p^* \cdot (P_{ном} + P_{мх})}{I_p^{*2} \cdot I_{ном}^2 (1 - s_{ном})} \cdot 10^6, \quad (14.5)$$

де M_p^* — кратність пускового моменту електродвигуна по відношенню до його номінального моменту;

$P_{ном}$ — номінальна потужність електродвигуна, кВт;

$P_{мх}$ — механічні втрати в електродвигуні, кВт;

I_p^* — кратність пускового струму електродвигуна по відношенню до його номінального струму;

$I_{\text{НОМ}}$ — номінальний струм електродвигуна, А;

$S_{\text{НОМ}}$ — номінальне ковзання, відн.од.

Активний опір статора R_1 у міліомах, якщо він не заданий заводом-виробником, може бути виміряний або визначений за формулою:

$$R_1 = \frac{S_{\text{НОМ}}}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2 \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{\text{НОМ}}}{P_{\text{НОМ}}} \cdot 10^6, \quad (14.6)$$

де $S_{\text{НОМ}}$ — номінальне ковзання, %;

$U_{\text{НОМ}}$ — номінальна напруга електродвигуна, кВ;

$\eta_{\text{НОМ}}$ — коефіцієнт корисної дії електродвигуна, відн.од;

$P_{\text{НОМ}}$ — номінальна потужність електродвигуна, кВт.

14.2.3 Надперехідний індуктивний опір асинхронного електродвигуна $X''_{\text{АД}}$ у міліомах розраховується за формулою:

$$X''_{\text{АД}} = \sqrt{\left(\frac{U_{\text{ф.НОМ}}}{I_{\text{п}} \cdot I_{\text{НОМ}}} \cdot 10^3 \right)^2 - R_{\text{АД}}^2}, \quad (14.7)$$

де $U_{\text{ф.НОМ}}$ — номінальна фазна напруга електродвигуна, В;

$I_{\text{п}}$ — кратність пускового струму електродвигуна по відношенню до його номінального струму;

$I_{\text{НОМ}}$ — номінальний струм електродвигуна, А;

$R_{\text{АД}}$ — сумарний активний опір електродвигуна в момент КЗ, мОм.

14.2.4 Значення надперехідної ЕРС асинхронного електродвигуна, $E''_{\text{ф.АД}}$ у вольтах визначається за формулою:

$$E''_{\text{ф.АД}} = \sqrt{(U_{\text{ф}(0)} \cos \varphi(0) - I(0) R_{\text{АД}})^2 + (U_{\text{ф}(0)} \sin \varphi(0) - I(0) X''_{\text{АД}})^2}, \quad (14.8)$$

де $U_{\text{ф}(0)}$ — фазна напруга на виводах електродвигуна в момент, який передує КЗ, В;

$\varphi(0)$ — усереднене значення зсуву фаз напруги і струму в момент, який передує КЗ;

$I(0)$ — струм статора в момент, який передує КЗ, А;

$X''_{\text{АД}}, R_{\text{АД}}$ — відповідно надперехідний індуктивний і активний опори електродвигуна, Ом.

14.2.5 Початкове діюче значення періодичної складової струму КЗ від асинхронних електродвигунів $I_{\text{п0 АД}}$ у кілоамперах розраховується за формулою:

$$I_{\text{п0 АД}} = \frac{E''_{\text{ф.АД}}}{\sqrt{(X''_{\text{АД}} + X_{1\Sigma})^2 + (R_{\text{АД}} + R_{1\Sigma})^2}}, \quad (14.9)$$

де $X_{1\Sigma}, R_{1\Sigma}$ — індуктивний і активний опори прямої послідовності кола, включеного між двигуном і розрахунковою точкою КЗ, мОм.

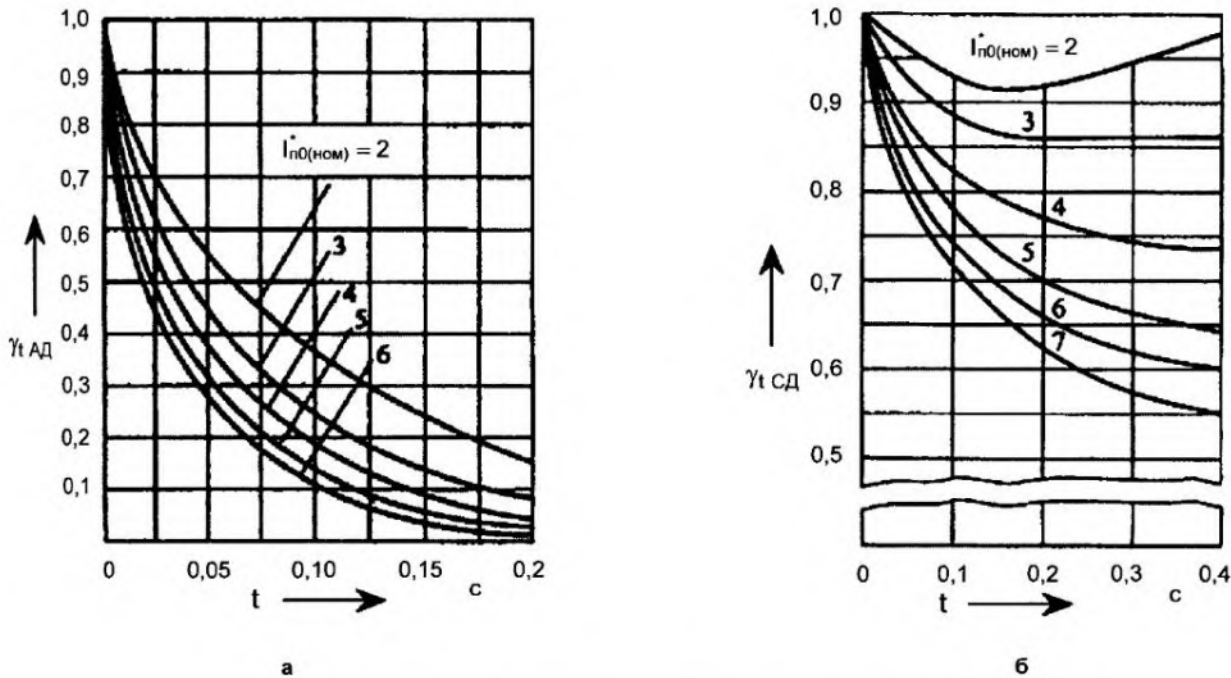
14.3 Періодична складова струму КЗ від синхронних і асинхронних двигунів у будь-який момент часу

14.3.1 Точний розрахунок діючого значення періодичної складової струму КЗ від синхронних і асинхронних двигунів у будь-який момент часу виконують, розв'язуючи відповідні системи диференціальних рівнянь перехідних процесів.

При наближених розрахунках цієї складової струму КЗ при радіальній схемі використовують типові криві, наведені на рисунку 9.

Типові криві асинхронного двигуна розроблені на базі параметрів схеми заміщення еквівалентного асинхронного двигуна, отриманих при еквівалентуванні таких серій асинхронних двигунів: А2, АОЛ2, 4А, 4АН, ВАО, АЗ-315, А, АО.

Типові криві синхронного двигуна розроблені також в результаті еквівалентування синхронних двигунів до 1 кВ.



а — типові криві для асинхронного двигуна напругою до 1 кВ;
б — типові криві для синхронного двигуна напругою до 1 кВ.

Рисунок 9 — Зміна періодичної складової струму КЗ від асинхронних і синхронних двигунів

14.3.2 Діюче значення періодичної складової струму КЗ в будь-який момент часу від синхронного або асинхронного електродвигуна $I_{nt\text{ СД}}$, $I_{nt\text{ АД}}$ у кілоамперах (або декількох електродвигунів, які знаходяться в однакових умовах по відношенню до точки КЗ), розраховується за формулою:

$$I_{nt\text{ СД}} = \gamma_{nt\text{ СД}} \cdot I_{n0(ном)}^* \cdot I_{ном\text{ СД}}, \quad (14.10)$$

$$I_{nt\text{ АД}} = \gamma_{nt\text{ АД}} \cdot I_{n0(ном)}^* \cdot I_{ном\text{ АД}}. \quad (14.11)$$

14.4 Розрахунок ударного струму КЗ від електродвигунів

14.4.1 При розрахунку ударного струму КЗ на виводах синхронних і асинхронних електродвигунів допускається приймати, що:

- ударний струм настає через 0,01 с після початку КЗ;
- амплітуда періодичної складової струму КЗ в момент часу $t = 0,01$ с дорівнює амплітуді цієї складової в початковий момент КЗ.

Під час визначення коефіцієнта $K_{уд}$ у колі із синхронними машинами враховуємо згасання тільки аперіодичної складової струму КЗ. Для періодичної складової струму КЗ вважаємо, що її значення протягом 0,01 с не змінюється і дорівнює початковому надперехідному струму.

Ударний коефіцієнт вітки асинхронного двигуна $K_{уд}$ обчислюємо, враховуючи, що протягом 0,01 с згаснуть періодична й аперіодична складові струму КЗ.

14.4.2 Значення ударного струму від асинхронних електродвигунів $i_{уд\ АД}$ визначається за формулою:

$$i_{уд\ АД} = \sqrt{2} \cdot I_{п0\ АД} \left(e^{-\frac{0,01}{T_p}} + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \right), \quad (14.12)$$

де T_p — розрахункова постійна часу затухання періодичної складової струму статора, с;
 T_a — постійна часу затухання аперіодичної складової струму статора, с.

Значення постійної часу затухання періодичної складової струму статора T_p і аперіодичної складової струму статора T_a розраховуються за формулами:

$$T_p = \frac{X''_{АД} + X_{1каб}}{\omega_c \cdot R_2^{\circ}}, \quad (14.13)$$

$$T_a = \frac{X''_{АД} + X_{1каб}}{\omega_c (R_1 + R_{1каб})}, \quad (14.14)$$

де ω_c — синхронна кутова частота, рад/с;
 R_1, R_2° — відповідно активний опір статора і активний опір ротора, приведений до статора, які можна розрахувати згідно з 14.2.2;
 $X_{1каб}, R_{1каб}$ — індуктивний і активний опір кабеля від двигуна до розрахункової точки КЗ, МОм.

14.4.3 Значення ударного струму від синхронних електродвигунів слід визначати згідно з 9.2, так як і від автономного джерела.

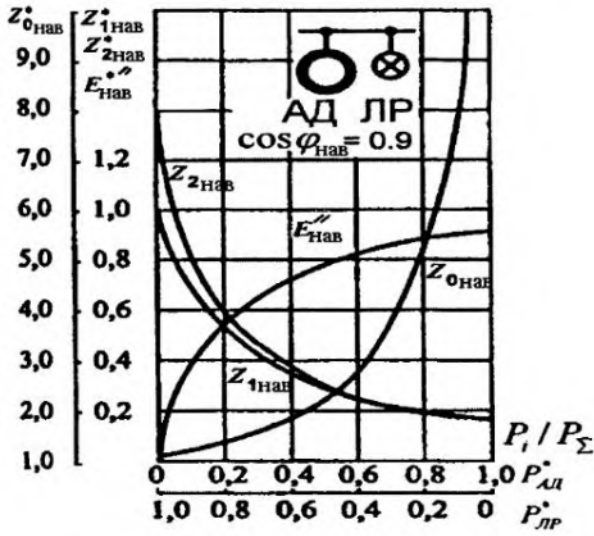
15 УРАХУВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПІД ЧАС РОЗРАХУНКУ СТРУМІВ КЗ

15.1 До складу комплексного навантаження можуть входити асинхронні та синхронні електродвигуни, перетворювачі, електротермічні установки, конденсаторні батареї, лампи розжарювання і газорозрядні джерела світла.

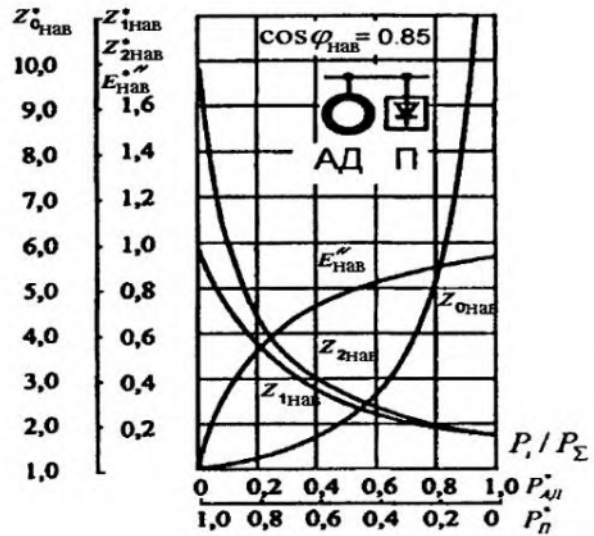
15.2 Для визначення початкового значення періодичної складової струму КЗ комплексне навантаження в схему заміщення прямої послідовності слід вводити еквівалентною надперехідною ЕРС $E''_{нав.}$ і опором прямої послідовності $Z_{1нав.}$ а в схему зворотної та нульової послідовностей — опорами $Z_{2нав.}$ і $Z_{0нав.}$.

15.3 Значення модулів повних опорів $Z_{1нав.}$, $Z_{2нав.}$ і $Z_{0нав.}$ а також еквівалентної надперехідної ЕРС комплексного навантаження $E''_{нав.}$ у відносних одиницях за відсутності інших, більш повних даних, можуть бути визначені за кривими, наведеними на рисунках 10 і 11 у залежності від відносного складу P_i/P_{Σ} споживачів вузла навантаження, де:

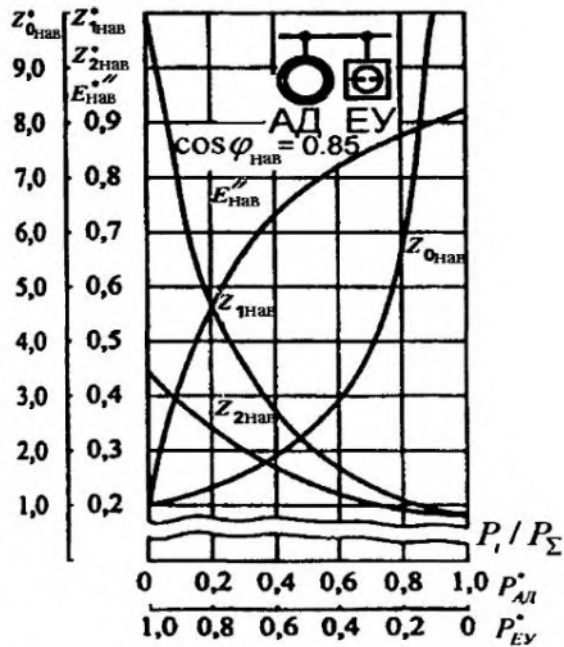
P_i — встановлена потужність i -го споживача навантаження, кВт;
 P_{Σ} — сумарна номінальна активна потужність навантаження, кВт, ($P_{АД}$ — асинхронного двигуна; $P_{СД}$ — синхронного двигуна; $P_{ЛР}$ — лампи розжарювання; $P_{ЕУ}$ — електротермічної установки; $P_{ЛГ}$ — газонаповненої лампи; $P_{П}$ — перетворювача).



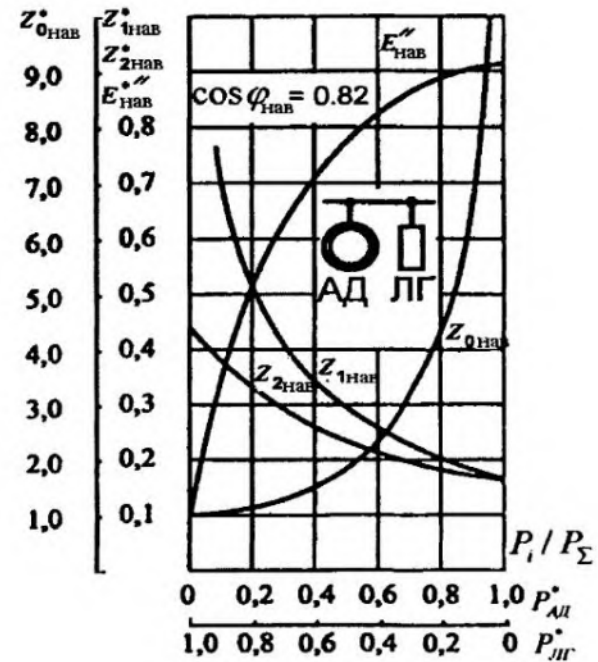
а



б



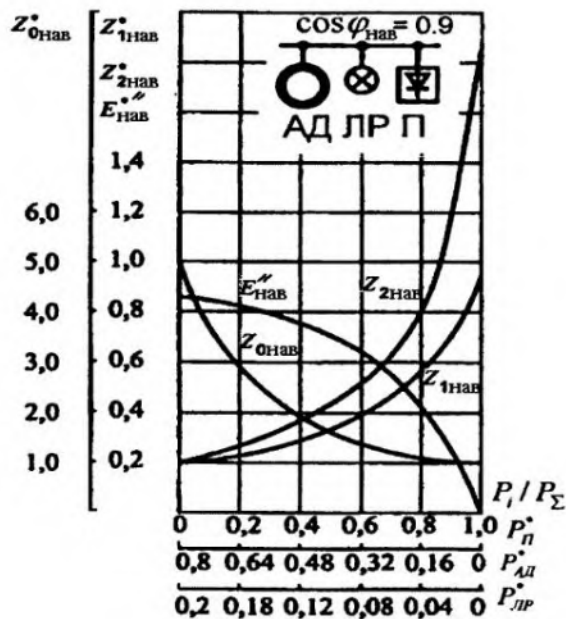
в



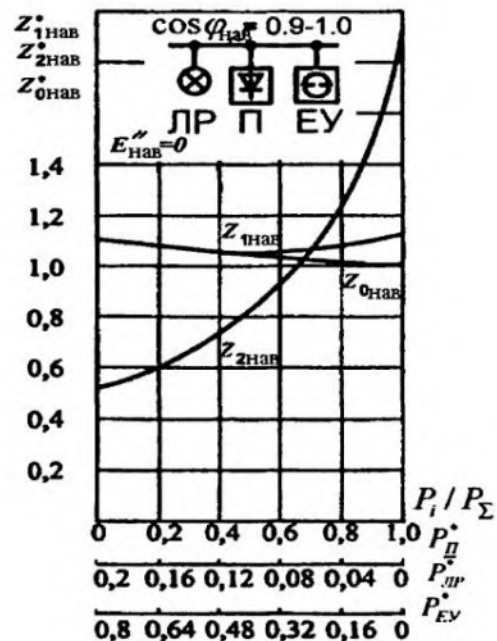
г

- а — споживачі: асинхронні двигуни (АД) і лампи розжарювання (ЛР);
 б — споживачі: асинхронні двигуни (АД) і перетворювачі (П);
 в — споживачі: асинхронні двигуни (АД) і електротермічні установки (ЕУ);
 г — споживачі: асинхронні двигуни (АД) і лампи газорозрядні (ЛР)

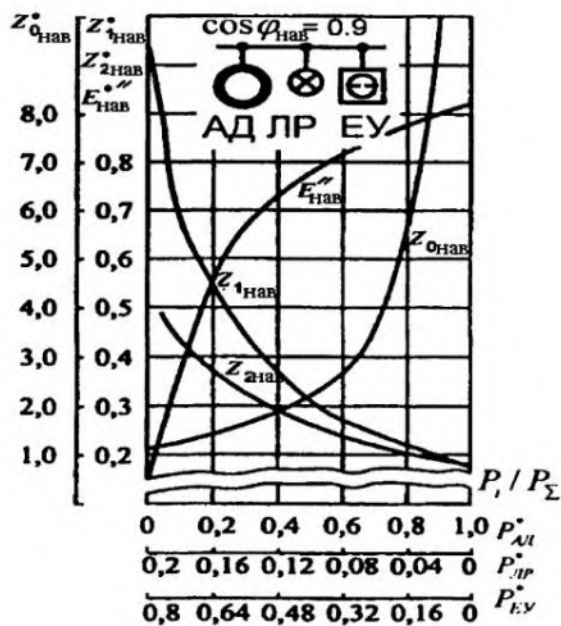
Рисунок 10 — Залежність параметрів комплексного навантаження $Z_{1наб}$, $Z_{2наб}$, $Z_{0наб}$, $E_{наб}$ від його складу



а



б

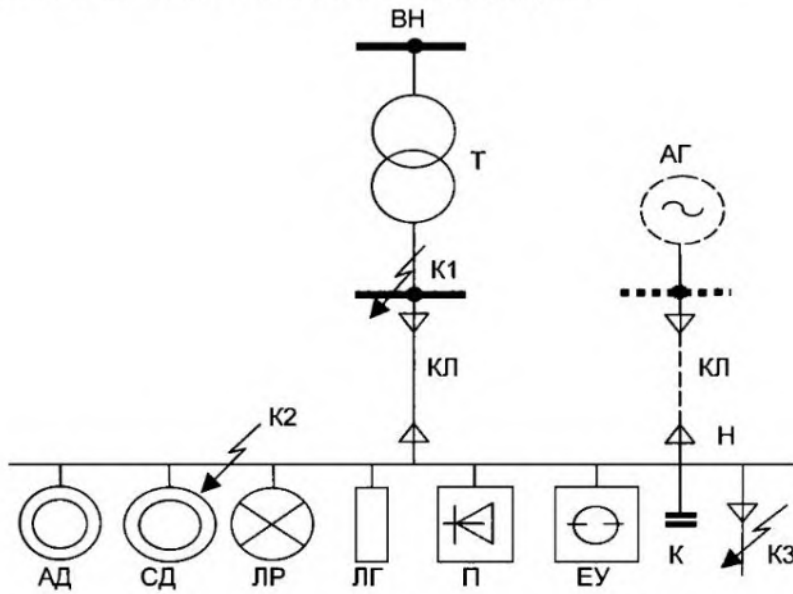


в

- а — споживачі: асинхронні двигуни (АД), перетворювачі (П) і лампи розжарювання (ЛР);
 б — споживачі: перетворювачі (П), лампи розжарювання (ЛР) і електротермічні установки (ЕУ);
 в — споживачі: асинхронні двигуни (АД), електротермічні установки (ЕУ) і лампи розжарювання (ЛР)

Рисунок 11 — Залежність параметрів комплексного навантаження $Z_{1наб}^*$, $Z_{2наб}^*$, $Z_{0наб}^*$, $E_{наб}''$ від його складу

15.4 Метод урахування комплексного навантаження залежить від характеру вихідної схеми комплексного навантаження, як вказано на рисунку 12.

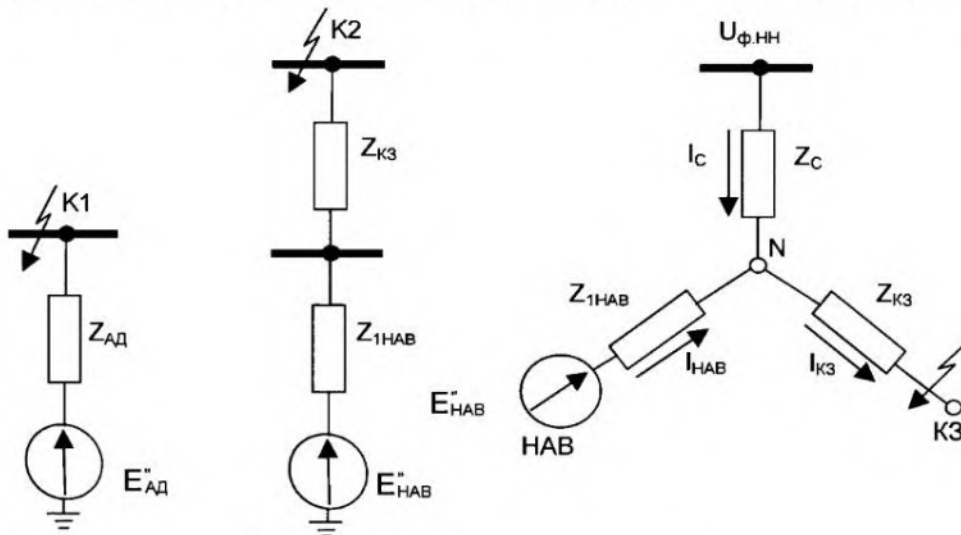


АД—асинхронні двигуни; СД—синхронні двигуни; ЛР—лампи розжарювання; ЛГ—лампи газорозрядні; П—перетворювачі; ЕУ—електротермічні установки; К—конденсаторні батареї; КЛ—кабельна лінія; АГ—автономне джерело; Т—трансформатор; K1, K2, K3 — точки КЗ.

Рисунок 12 — Типова розрахункова схема вузла комплексного навантаження

15.5 Метод урахування комплексного навантаження залежить також від положення точки КЗ, як зображено на рисунку 13.

15.5.1 У радіальній схемі (рис.13, а) допускається не враховувати впливу статичних споживачів (перетворювачів, електротермічних установок, електричного освітлення). Початкове значення періодичної складової струму $K3$, ударний струм, а також періодичну складову стру-



а — КЗ у радіальній схемі;
б — КЗ за спільним для вузла навантаження опором;
в — КЗ за спільним для вузла навантаження і системи опором

Рисунок 13 — Перетворення схеми заміщення комплексного навантаження

му КЗ у будь-який момент часу від асинхронних і синхронних двигунів у радіальних схемах слід розраховувати відповідно до розрахунків, викладених у розділі 14.

15.5.2 При КЗ за спільним для вузла навантаження опором (рис. 13, б) початкове значення періодичної складової струму трифазного КЗ $I_{п0нав.}$ у кілоамперах слід визначати з урахуванням впливу двигунів і статичного навантаження, використовуючи формулу:

$$I_{п0нав.} = \frac{E_{нав.}^{**} \cdot U_{сер.НН}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{\left(Z_{1нав.}^{*} \cdot \frac{U_{сер.НН}^2}{S_{\Sigma}} \cos \varphi_{нав.} + R_{1\Sigma} \right)^2 + \left(Z_{1нав.}^{*} \cdot \frac{U_{сер.НН}^2}{S_{\Sigma}} \sin \varphi_{нав.} + X_{1\Sigma} \right)^2}}, \quad (15.1)$$

де $E_{нав.}^{**}, Z_{1нав.}^{*}$ — еквівалентна ЕРС і опір прямої послідовності вузла навантаження їх значення у відносних одиницях слід визначати за кривими, наведеними на рисунках 10 і 11 у залежності від відносного складу споживачів;

$R_{1\Sigma}, X_{1\Sigma}$ — відповідно сумарний активний та сумарний індуктивний опори кола КЗ, мОм, згідно з 7.1;

S_{Σ} — сумарна номінальна потужність навантаження, кВ·А;

$U_{сер.НН}$ — середня номінальна напруга мережі, відповідної обмотки нижчої напруги трансформатора, В.

15.5.3 При КЗ за спільним для навантаження і системи опором (рис. 13, в) і однакових відношеннях X/R віток розрахункової схеми початкове значення періодичної складової струму трифазного КЗ $I_{п0кз}$ можна розраховувати за формулою:

$$I_{п0кз} = \frac{U_{сер.НН} \cdot \frac{1}{n_i} \cdot Z_{1нав.} + E_{нав.(ном)}^{**} \cdot U_{сер.НН} \cdot Z_c}{Z_c \cdot Z_{1нав.} + Z_c \cdot Z_{кз} + Z_{1нав.} \cdot Z_{кз}}, \quad (15.2)$$

де n_i — коефіцієнт трансформації трансформатора;

$E_{нав.(ном)}^{**}$ — ЕРС вузла навантаження у відносних одиницях;

$Z_{1нав.}, Z_c, Z_{кз}$ — модулі опорів віток вихідної схеми заміщення, які розраховуються за формулами:

$$Z_{1нав.} = Z_{1нав.}^{*} \cdot \frac{U_{сер.НН}^2}{S_{\Sigma}}, \quad (15.3)$$

$$Z_c = \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}, \quad (15.4)$$

$$Z_{кз} = \sqrt{R_{1\Sigmaкз}^2 + X_{1\Sigmaкз}^2}, \quad (15.5)$$

де Z_c — опір зовнішньої системи, мОм, розраховується згідно з 6.2;

$R_{1\Sigmaкз}$ і $X_{1\Sigmaкз}$ — відповідно сумарний активний та сумарний індуктивний опори кола КЗ, мОм.

ДОДАТОК А

до п. 6.1.3 нормативного документа Міністерства енергетики та вугільної промисловості України «Розрахунок струмів короткого замикання в мережі напругою до 1 кВ електростанцій і підстанцій з урахуванням впливу електричної дуги. Методичні вказівки» (довідковий)

ДОВІДНИКОВІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ СТРУМІВ КЗ
Таблиця А.1 — Значення опорів трансформаторів типу ТСЗ, ТСЗС

Потужність трансформатора, кВА	Напруга КЗ, %	Опір трансформатора, мОм, за схемою з'єднання							
		$\Delta/Y-11$				$\Delta/Y-0$			
		$R_1 = R_2$	$X_1 = X_2$	R_0	X_0	$R_1 = R_2$	$X_1 = X_2$	R_0	X_0
160	5,5	16,9	52,4	16,9	52,4	—	—	—	—
	4,5	—	—	—	—	16,6	41,7	151	367
250	5,5	9,7	33,8	9,7	33,8	—	—	—	—
	4,5	—	—	—	—	9,4	27,2	96,5	235
320	5,5	—	—	—	—	7,7	26,4	69,4	186
400	5,5	5,4	21,3	5,4	21,3	—	—	—	—
	4,5	5,9	17,0	5,9	17,0	5,5	17,1	55,6	149
560	5,5	—	—	—	—	3,8	15,3	34	108
630	5,5	2,9	13,7	2,9	13,7	3,1	13,6	30,3	96,2
750	5,5	—	—	—	—	2,5	11,4	25,4	80,7
1000	8,0	1,9	12,65	1,9	12,65	2,0	12,6	19,1	72,8
	5,5	1,8	8,6	1,8	8,6	2,0	8,5	19,1	60,6

Таблиця А.2 — Значення опорів трансформаторів 6—10 кВ зі схемою з'єднання Y/Y з вторинною напругою 400/230 В

Тип трансформатора	Опір трансформатора, мОм			
	$R_1 = R_2$	$X_1 = X_2$	R_0	X_0
ТМ-180; ТМА-180	19,8	44,7	134	326
ТМ-320; ТМА-320	9,5	25,8	69,4	186
ТМ-560; ТМА-560	4,8	15,0	34,0	108
ТМ-750/6; ТМА-750/6	3,4	11,2	25,4	80,7
ТМ-1000/6; ТМА-1000/10-10А	2,4	8,5	19,1	60,6

Таблиця А.3 — Значення опорів сухих трансформаторів 6—10 кВ з вторинною напругою 400/230 В

Потужність трансформатора, кВА	Схема з'єднання	Опір трансформатора, мОм			
		$R_1 = R_2$	$X_1 = X_2$	R_0	X_0
320	$Y/Y-0$	7,7	26,4	19,4	186
400	$\Delta/Y-11$	5,4	21,3	5,4	21,3
560	$Y/Y-0$	3,8	15,3	34,0	108

Таблиця А.4 — Значення опорів сухих трансформаторів 6—10 кВ з вторинною напругою 400 В

Потужність трансформатора, кВ·А	Схема з'єднання	Напруга КЗ, %	Опір трансформатора, мОм			
			$R_1 = R_2$	$X_1 = X_2$	R_0	X_0
25	Y/Y_H	4,5	154	244	1650	1930
	Y/Z_H	4,7	177	243	73	35,4
40	Y/Y_H	4,5	88	157	952	1269
	Y/Z_H	4,7	100	159	44	13,4
63	Y/Y_H	4,5	52	102	504	873
	Y/Z_H	4,7	59	105	28	12
100	Y/Y_H	4,5	31,5	65	254	582
	Y/Z_H	4,7	36,3	65,7	15,6	10,6
160	Y/Y_H	4,5	16,6	41,7	151	367
	Δ/Y_H				16,6	41,7
250	Y/Y_H	4,5	9,4	27,2	96,5	235
	Δ/Y_H				9,4	27,2
400	Y/Y_H	4,5	5,5	17,1	55,6	149
	Δ/Y_H		5,9	17,0	5,9	17
630	Y/Y_H	5,5	3,1	13,6	30,2	95,8
	Δ/Y_H		3,4	13,5	3,4	13,5
1000	Y/Y_H	5,5	1,7	8,6	19,6	60,6
	Δ/Y_H		1,9		1,9	8,6
1600	Y/Y_H	5,5	1,0	5,4	16,3	50
	Δ/Y_H		1,1		1,1	5,4
2500	Δ/Y_H	5,5	0,64	3,46	0,64	3,46

Таблиця А.5 — Опір $\frac{1}{3}z_T^{(1)}$ оливних трансформаторів нових типів з нижчою напругою 400—230 В (які випущені з 1967 р.)

Потужність трансформатора, кВ·А	Вища напруга, кВ	$\frac{1}{3}z_T^{(1)}$ приведений до напруги 400 В, Ом
1 Схема з'єднання зірка—зірка з виведеною нейтраллю		
25	6 і 10	1,04
40	6 і 10	0,65
63	6 і 10	0,41
	20	0,38
100	6—35	0,26
160	6—35	0,16

Кінець таблиці А.5

Потужність трансформатора, кВ·А	Вища напруга, кВ	$\frac{1}{3}z_T^{(1)}$ приведений до напруги 400 В, Ом
250	6–35	0,10
400	6–35	0,065
630	6–35	0,042
1000	6 і 10	0,027
	35	0,026
1600	6 і 10	0,018
	35	0,017
2 Схема з'єднання трикутник–зірка з виведеною нейтраллю		
400	6 і 10	0,019
630	6 і 10	0,014
1000	6 і 10	0,009
1600	6 і 10	0,006
3 Схема з'єднання зірка–зигзаг з виведеною нейтраллю		
25	6 і 10	0,30
40	6 і 10	0,19
63	6 і 10	0,12
100	6 і 10	0,075
160	6 і 10	0,05
250	6 і 10	0,03
	20 і 35	0,043

Таблиця А.6 — Опори $\frac{1}{3}z_T^{(1)}$ оливних і сухих трансформаторів (які випущені до 1967 р.) зі схемою з'єднання обмоток зірка — зірка з виведеною нейтраллю з нижчою напругою 400—230 В

Тип трансформатора	Вища напруга, кВ	$\frac{1}{3}z_T^{(1)}$ приведений до напруги 400 В, Ом
1 Оливні трансформатори		
ТМ-100	6 і 10	0,27
ТСМА-100	6 і 10	0,26
ТМА-100, ТСМ-100/35	35	0,255
ТСМА-160	6 і 10	0,16
ТМ-180, ТМА-180	6 і 10	0,15
ТМ-180, ТМА-180	35	0,14

Кінець таблиці А.6

Тип трансформатора	Вища напруга, кВ	$\frac{1}{3}z_T^{(1)}$ приведений до напруги 400 В, Ом
ТСМА-250	6 і 10	0,104
ТМ-320, ТМА-320	6 і 10	0,085
ТМ-320, ТМА-320	35	0,08
ТМАФ-400, ТМ-400/10-63	6 і 10	0,065
ТМ-560, ТМА-560, ТАМ-560/10	6 і 10	0,05
ТМ-560, ТМА-560	35	0,045
ТМ-630	6 і 10	0,038
ТМАФ-630, ТМ3-630/10А	6 і 10	0,043
ТМ-750, ТАМ-750/10	6 і 10	0,036
ТМ1000, ТМАФ-1000, ТМ-1000/10-63, ТАМ-1000/10	6 і 10	0,027
ТМ-1000/35А	20 і 35	0,026
2 Сухі трансформатори		
ТС-180/10, ТС3-180/10А	6 і 10	0,15
ТС-320/10, ТС-320/10А	6 і 10	0,085
ТС-560/10, ТС-560/10А	6 і 10	0,05
ТС-750/10, ТС-750/10А	6 і 10	0,036
ТС-1000/10, ТС-1000/10А	6 і 10	0,027

Таблиця А.7 — Технічні дані двообмоткових трифазних трансформаторів типу ТСМ випуску до 1970 року

Тип трансформатора	Номинальна потужність, S_H , кВ·А	Номинальна напруга, U_H , кВ		Втрати потужності, кВт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
		ВН	НН	$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$		
ТСМ-20/10;6	20	10; 6,3	0,23; 0,4	0,15	0,51	9,5	4,5
ТСМ-35/10;6	35	10; 6,3	0,23; 0,4	0,23	0,83	8,5	4,5
ТСМ-60/10;6	60	10; 6	0,23; 0,4; 0,525	0,35	1,30	7,5	4,5
ТСМ-100/10;6	100	10; 6	0,23; 0,4; 0,525	0,50	2,07	6,5	4,5
ТСМ-180/10;6	180	10; 6	0,23; 0,4; 0,525	0,80	3,20	6,0	4,5
ТСМ-320/10;6	320	10; 6	0,23; 0,4; 0,525	1,35	4,85	5,5	4,5
ТСМ-560/10;6	560	10; 6	0,23; 0,4; 0,525	2,00	7,20	5,0	4,5

Таблиця А.8 — Технічні дані двообмоткових трифазних трансформаторів

Тип трансформатора	Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, U_N , кВ		Втрати потужності, кВт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
		ВН	НН	$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$		
ТНЗ-25	25	10,5	0,4	0,120	0,490	3,0	4,5
ТНЗ-40	40	10,5	0,4	0,150	0,850	3,0	4,5
ТР -160	160	10,5	0,4	0,490	2,966	2,4	4,5
ТР -250	250	10,5	0,4	0,660	3,700	2,3	4,5
ТР -315	315	10,5	0,4	1,150	5,450	5,6	5,8
ТС -180	180	10,5	0,4	1,600	3,000	4,0	5,5
ТС -320	320	10,5	0,4	2,600	4,900	3,5	5,5
ТС -560	560	10,5	0,4	3,500	7,400	3,0	5,5
ТС -750	750	10,5	0,4	4,000	8,800	2,5	5,5

Таблиця А.9 — Технічні дані двообмоткових трифазних трансформаторів

Тип трансформатора	Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, U_N , кВ		Втрати потужності, кВт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
		ВН	НН	$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$		
ТД-5	5	6,3	0,4	0,06	0,185	10,0	5,5
ТД-10	10	6,3	0,4	0,105	0,335	10,0	5,5
ТД -20	20	6,3	0,4	0,180	0,600	9,0	5,5
ТД -30	30	6,3	0,4	0,250	0,850	8,0	5,5
ТД -50	50	6,3	0,4	0,350	1,325	7,0	5,5
ТД -100	100	6,3	0,4	0,600	2,400	6,5	5,5
ТД -180	180	6,3	0,4	1,000	4,000	6,0	5,5
ТД -320	320	6,3	0,4	1,600	6,070	6,0	5,5

Таблиця А.10 — Технічні дані двообмоткових трифазних трансформаторів типу ТМ випуску до 1970 року

Тип трансформатора	Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, U_N , кВ		Втрати потужності, кВт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
		ВН	НН	$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$		
ТМ-20/6	20	6,3; 10	0,23; 0,4	0,18	0,60	9,0	5,5
ТМ-20/10				0,22	0,60	10,0	5,5
ТМ-30/6	30	6,3; 10	0,23; 0,4	0,25	0,85	8,0	5,5
ТМ-30/10				0,30	0,85	9,0	5,5
ТМ-50/6	50	6,3	0,23; 0,4; 0,525	0,35	1,32	7,0	5,5
ТМ-50/10		10	0,23; 0,4	0,44	1,32	8,0	5,5

Кінець таблиці А.10

Тип трансформатора	Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, U_N , кВ		Втрати потужності, кВт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
		ВН	НН	$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$		
ТМ-100/6	100	6,3; 10	0,23; 0,4; 0,525	0,60	2,40	6,5	5,5
ТМ-100/10				0,73	2,40	7,5	5,5
ТМ-180/6	180	6,3; 10	0,23; 0,4; 0,525	1,00	4,00	6,0	5,5
ТМ-180/10				1,20	4,10	7,0	5,5
ТМ-180/35	180	35	0,4	1,50	4,10	8,0	6,5
ТМ-320/6	320	6,3; 10	0,23; 0,4; 0,525	1,60	6,10	6,0	5,5
ТМ-320/10				1,90	6,20	7,0	5,5
ТМ-320/35	320	35	0,4	2,30	6,20	7,5	6,5
ТМ-560/10	560	10	0,23; 0,4; 0,525	2,50	9,40	6,0	5,5
ТМ-560/35	560	35	0,4	3,35	9,40	6,5	6,5
ТМ-750/10; 6	750	10; 6,3	0,23; 0,4; 0,525	4,10	11,90	6,0	5,5
ТМ-1000/35	1000	35	0,4	8,00	24,00	5,5	6,5
ТМ-1800/10; 6	1800	10; 6,3	0,4; 525	8,00	24,00	4,5	5,5
ТМ-1800/35	1800	35	0,4	8,30	24,00	5,0	6,5

Таблиця А.11 — Технічні дані двообмоткових трифазних трансформаторів випуску після 1970 року

Тип трансформатора	Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, U_N , кВ		Втрати потужності, кВт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
		ВН	НН	$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$		
ТМ-25/10	25	6; 10	0,23; 0,4	0,130	0,60	3,2	4,5
ТМ-40/10	40	6; 10	0,23; 0,4	0,190	0,88	3,0	4,5
ТМ-63/10	63	6; 10	0,23; 0,4	0,265	1,28	2,8	4,5
ТМ-100/10	100	6; 10	0,23; 0,4	0,365	1,97	2,6	4,5
ТМ-100/35	100	35	0,4	0,465	1,97	2,6	6,5
ТМ-160/10	160	6; 10	0,23; 0,4	0,565	2,65	2,4	4,5
ТМВМ-160/10	160	6; 10	0,4; 0,69	0,460	2,65	2,4	4,5
ТМФ-160	160	6; 10	0,4	0,565	3,10	2,4	4,7
ТМ-160/35	160	35	0,4	0,700	3,10	2,4	6,8
ТМ-250/10	250	6; 10	0,23; 0,4	0,820	3,70	2,3	4,5
ТМВМ-250/10	250	6; 10	0,4; 0,69	0,660	3,70	2,3	4,5
ТМ-250/35	250	35	0,4	1,000	4,20	2,3	6,8
ТМФ-250	320	6; 10	0,69	0,820	4,20	2,3	4,5
ТМ-400/10	400	6; 10	0,23; 0,4	1,050	5,50	2,1	4,5

Кінець таблиці А.11

Тип трансформатора	Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, U_N , кВ		Втрати потужності, кВт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
		ВН	НН	$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$		
ТМ-400/10 АРМ ЗЗ	400	6; 10	0,4; 0,69	0,920	5,50	3,5	4,5
ТМ-400/10 ХЗТП	400	6; 10	0,23; 0,4; 0,69	1,080	5,90	2,1	4,5
ТМ-400/35	400	35	0,4	1,150	4,20	3,5	4,5
ТМ-630/10	630	6; 10	0,23; 0,4; 0,69	1,560	7,60	2,0	5,5
ТМ-630/10 БЗСТ	630	6; 10	0,4; 0,69	1,560	8,50	2,0	5,5
ТМ-630/10 АРМ ЗЗ	630	6; 10	0,4; 0,69	1,420	7,60	8,0	5,5
ТМ-630/10 ХЗТП	630	6; 10	0,4; 0,69	1,680	8,50	2,0	5,5
ТМФ-630	630	6; 10	0,4	1,560	8,50	2,0	5,5
ТМЗ-630/10 ЧТЗ	630	6; 10	0,4	2,278	8,50	3,2	5,5
ТМ-630/35	630	35	0,4	1,420	7,60	3,0	6,5
ТМ-1000/10	1000	6; 10	0,4; 0,63	2,400	12,20	1,4	5,5
ТМС-1000/10 ЗТЗ	1000	6; 10	0,4; 0,525	2,750	12,20	1,5	8,0
ТМ-1000/35	1000	35	0,4	2,750	12,20	1,5	6,5
ТМ-1600/10	1600	6; 10	0,4; 0,69	3,300	18,00	1,3	5,5
ТМ-1600/35	1600	35	0,4	3,650	18,00	1,4	6,5

Таблица А.12 — Технічні дані двообмоткових трифазних сухих трансформаторів

Тип трансформатора	Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, U_N , кВ		Втрати потужності, кВт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
		ВН	НН	$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$		
ТС3-160/10	160	6; 6,3	0,4	700	2700	4,0	5,5
		10; 10,5					
ТС3-250/10 ТС3-250/15	250	6; 10	0,4	1000	3800	3,5	5,5
		15,75		1100	4400	4,0	8,0
ТС3-400/10 ТС3-400/15	400	6; 6,3 10; 10,5	0,4	1300	5400	3,0	5,5
		15,75		1400	6000	3,5	8,0
ТС3-630/10 ТС3-630/15	630	6; 6,3	0,4	2000	7300	1,5	5,5
		10; 10,5		2300	8700	2,0	8,0
		15,75					

Кінець таблиці А.12

Тип трансформатора	Номинальна потужність, S_n , кВ·А	Номинальна напруга, U_n , кВ		Втрати потужності, кВт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
		ВН	НН	$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$		
ТСЗС-630/10	630	6; 6,3	0,4	2000	8500	2,0	8,0
		10; 10,5					
ТСЗ-1000/10	1000	6; 10	0,4	3000	11200	1,5	5,5
ТСЗ-1000/15		15,75		3200	12000	2,0	8,0
ТСЗС-1000/10	1000	6; 6,3	0,4	3000	12000	2,0	8,0
		10; 10,5					
ТСЗ-1600/10	1600	6	0,4	4200	16000	1,5	5,5
ТСЗ-1600/15		15,75		4300	16000	2,0	8,0
ТСЗС-1600/10-80УХЛ4	1600	6	0,4	3400	17000	0,7	5,5
		10; 10,5					

Таблиця А.13 — Технічні дані двообмоткових трифазних оливних трансформаторів

Тип трансформатора	Номинальна потужність, S_n , кВ·А	Номинальна напруга, U_n , кВ		Втрати потужності, кВт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
		ВН	НН	$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$		
ТМ-1000/10	1000	6; 10	0,4	2,45	11,0	1,4	5,5
ТМ-1000/35	1000	13,8; 15,8; 20	0,4	2,0	12,2	1,4	6,5
ТМ-1600/10	1600	6; 10	0,4	3,3	16,5	1,3	5,5
ТМ-1600/35	1600	20	0,4	2,75	18,0	1,3	6,5
ТМН-1600/35	1600	13,8; 15,8	0,4	2,9	18,0	1,3	6,5
ТМ-2500/10	2500	6; 10	0,4	3,85	23,5	1	6,5

Таблиця А.14 — Технічні дані двообмоткових трифазних оливних трансформаторів типу ТМ з нижчою напругою 400В ВАН Укрелектроапарат (м. Хмельницький)

	Номинальна потужність, S_n , кВ·А	Номинальна напруга, $U_{ВН}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Напруга КЗ, %
				$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$	
з радіаторними баками	100	6; 10	Y/Yn-0	305	1970	4,5
			Δ /Yn-11		2200	
	160	6; 10	Y/Yn-0	410	2650	4,5
			Δ /Yn-11		3100	
	250	6; 10	Y/Yn-0	550	3700	5
			Δ /Yn-11		4200	

Кінець таблиці А.14

	Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, $U_{ВН}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Напруга КЗ, %
				$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$	
з радіаторними баками	400	6; 10	Y/Yн-0	830	5500	4,5
			$\Delta Y_{н-11}$		5900	
	630	6; 10	Y/Yн-0	1050	7600	5,5
			$\Delta Y_{н-11}$		8500	
	1000	6; 10	Y/Yн-0	1550	10800	5,5
			$\Delta Y_{н-11}$			
	1250	6; 10	Y/Yн-0	1600	14700	5,5
			$\Delta Y_{н-11}$			
	1600	6; 10	Y/Yн-0	2050	16000	6
			$\Delta Y_{н-11}$			
	2500	6; 10	Y/Yн-0	2800	28000	6,5
			$\Delta Y_{н-11}$			
	4000	6; 10	Y/Yн-0	5200	33500	7,5
			$\Delta Y_{н-11}$			

Таблиця А.15 — Технічні дані двообмоткових трифазних оливних трансформаторів типу ТМ з нижчою напругою 400В ВЛТ Укрелектроапарат (м. Хмельницький)

	Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, $U_{ВН}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Напруга КЗ, %
				$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$	
з гофрованими баками	10	6; 10	Y/Yн-0	65	280	4
			$\Delta Y_{н-11}$			
	16	6; 10	Y/Yн-0	85	460	4
			$\Delta Y_{н-11}$		500	
	25	6; 10	Y/Yн-0	110	600	4,5
			$\Delta Y_{н-11}$		650	
	40	6; 10	Y/Yн-0	150	880	4,5
			$\Delta Y_{н-11}$		990	
	63	6; 10	Y/Yн-0	220	1280	4,5
			$\Delta Y_{н-11}$		1460	
	100	6; 10	Y/Yн-0	290	1970	4,5
			$\Delta Y_{н-11}$		2200	
	160	6; 10	Y/Yн-0	400	2650	4,5
			$\Delta Y_{н-11}$		3100	

Кінець таблиці А.15

	Номінальна потужність, $S_{\text{н}}$, кВ·А	Номінальна напруга, $U_{\text{вн}}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Напруга КЗ, %
				$\Delta P_{\text{нх}}$	$\Delta P_{\text{кз}}$	
з гофрованими баками	250	6; 10	Y/Yn-0	550	3700	4,5
			$\Delta/Yn-11$		4200	
	400	6; 10	Y/Yn-0	800	5400	5
			$\Delta/Yn-11$		5600	
	630	6; 10	Y/Yn-0	1010	7600	5,5
			$\Delta/Yn-11$		8500	
	1000	6; 10	Y/Yn-0	1400	10600	5,5
			$\Delta/Yn-11$			
	1250	6; 10	Y/Yn-0	1600	14700	5,5
			$\Delta/Yn-11$			
	1600	6; 10	Y/Yn-0	2050	16000	6
			$\Delta/Yn-11$			
	2500	6; 10	Y/Yn-0	2900	27000	6
			$\Delta/Yn-11$			

Таблиця А.16 — Технічні дані двообмоткових трифазних оливних трансформаторів типу ТМ з нижчою напругою 400В ВАТ Укрелектроапарат (м. Хмельницький)

Номінальна потужність, S _н , кВ·А	Номінальна напруга, U _{вн} , кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Напруга КЗ, %
			ΔP _{нх}	ΔP _{кз}	
з гофрованими баками					
25	15	Y/Yн-0	115	600	4,5
		Δ/Yн-11		750	
40	15	Y/Yн-0	165	880	4,5
		Δ/Yн-11		970	
63	15	Y/Yн-0	220	1410	4,5
		Δ/Yн-11		1600	
100	15	Y/Yн-0	270	2170	4,5
		Δ/Yн-11		2490	
160	15	Y/Yн-0	410	2860	4,5
		Δ/Yн-11		3190	
250	15	Y/Yн-0	580	4050	4,5
		Δ/Yн-11		4620	
400	15	Y/Yн-0	830	6050	5,5
		Δ/Yн-11			

Кінець таблиці А.16

Номінальна потужність, S _н , кВ·А	Номінальна напруга, U _{вн} , кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Напруга КЗ, %
			ΔP _{нх}	ΔP _{кз}	
630	15	Y/Yн-0	1000	8800	5,5
		Δ/Yн-11			
1000	15	Y/Yн-0	1500	12000	6
		Δ/Yн-11			
1250	15	Y/Yн-0	1600	15500	6
		Δ/Yн-11			
1600	15	Y/Yн-0	2100	17500	6
		Δ/Yн-11			
з радіаторними баками					
2000	15	Y/Yн-0	2600	24000	6
		Δ/Yн-11			
2500	15	Y/Yн-0	3000	26000	6
		Δ/Yн-11			

Таблиця А.17 — Технічні дані двообмоткових трифазних оливних трансформаторів типу ТМ, ТМГ з нижчою напругою 400В ВАТ Укрелектроапарат (м. Хмельницький)

Номінальна потужність, S_n , кВ·А	Номінальна напруга, $U_{вн}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Напруга КЗ, %
			$\Delta P_{нх}$	$\Delta P_{кз}$	
100	35	Y/Yn-0 $\Delta/Yn-11$	540	1950	5,5
160			600	2800	6
250			680	3900	6,5
400			950	6100	6,5
630			1200	9000	6,5
1000			1650	12200	7
1250			1940	15800	7
1600			2400	17000	7,2
2500			3800	28500	7,2
4000			5300	34000	7,5

Таблиця А.18 — Технічні дані двообмоткових трифазних сухих трансформаторів з нижчою напругою 400В ВАТ Укрелектроапарат (м. Хмельницький)

Номінальна потужність, S_H , кВ·А		Номінальна напруга, U_{BH} , кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Напруга КЗ, %
				ΔP_{HX}	ΔP_{K3}	
Серія ТСН, ТСЗН з ізоляцією обмоток «NOMEX»	25	6; 10	Y/YH-0 Δ /YH-11	110	600	4
	40			150	880	4
	63			220	1280	4
	100			290	1720	4
	160			400	2300	4
	250			550	2900	4
	400			800	4300	6
	630			1010	5500	6
	1000			1400	8250	6
	1600			2050	12350	6
Серія ТСГЛ з обмотками з литою ізоляцією «ГЕОФОЛЬ»	600	6; 10; 15; 20	Y/YH-0 Δ /YH-11	1815	6400	6
	1000			2530	9200	6
	1600			3410	11800	6
	2500			4700	17600	6

Таблиця А.19 — Технічні дані двообмоткових трифазних оливних трансформаторів типу ТМ з нижчою напругою 400/230В ТОВ «Трансформатор сервіс» (м. Хмельницький)

Номінальна потужність, S_N , кВ·А	Номінальна напруга, $U_{ВН}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
			$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$		
25	6; 10	У/Ун	115	600	2,8	4,5
		Δ /Ун		690		4,7
40	6; 10	У/Ун	155	880	2,6	4,5
		Δ /Ун		1000		4,7
63	6; 10	У/Ун	230	1400	2,4	4,5
		Δ /Ун		1460		4,7
100	6; 10	У/Ун	305	1970	2,2	4,5
		Δ /Ун		2220		
160	6; 10	У/Ун	410	2650	2,0	4,5
		Δ /Ун	450	3100		
250	6; 10	У/Ун	550	3700	1,9	5,0
		Δ /Ун	700	4200		
400	6; 10	У/Ун	830	5500	2,0	4,5
		Δ /Ун	920	5900		

Кінець таблиці А.19

Номінальна потужність, S_N , кВ·А	Номінальна напруга, $U_{ВН}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
			$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$		
630	6; 10	Y/Yn	1370	7600	1,8	5,5
		Δ/Yn		8500		
1000	6; 10	Y/Yn	2000	10800	1,2	5,5
		Δ/Yn		11000		

Таблиця А.20 — Технічні дані двообмоткових трифазних сухих трансформаторів типу ТС(3)Н з нижчою напругою 400/230 В ТОВ «Трансформатор сервіс» (м. Хмельницький)

Номінальна потужність, S_N , кВ·А	Номінальна напруга, $U_{ВН}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Напруга КЗ, %
			$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$	
25	6; 10	$\Delta/Yn-11$ Y/Yn-0	150	600	4,0
40	6; 10		220	880	4,0
63	6; 10		290	1280	4,0
100	6; 10		390	1720	4,0
160	6; 10		570	2300	4,0
250	6; 10		750	2900	4,0
400	6; 10		820	4300	6,0
630	6; 10		1300	5500	6,0
1000	6; 10		1900	8250	6,0
1600	6; 10		2500	12350	6,0

Таблиця А.21 — Технічні дані двообмоткових трифазних оливних трансформаторів типу ТМ з нижчою напругою 400 В ЗАТ «ЕРГО» (м. Обухів)

Номінальна потужність, S_N , кВ·А	Номінальна напруга, $U_{ВН}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
			$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$		
25	6; 10	Y/Yn-0	115	600	2,8	4,5
		$\Delta/Yn-11$		690		4,7
40	6; 10	Y/Yn-0	155	880	2,6	4,5
		$\Delta/Yn-11$		1000		4,7
63	6; 10	Y/Yn-0	230	1400	2,4	4,5
		$\Delta/Yn-11$		1460		
100	6; 10	Y/Yn-0	290	1900	2,2	4,5
		$\Delta/Yn-11$				
160	6; 10	Y/Yn-0	450	2650	1,9	4,5
		$\Delta/Yn-11$		3100		

Кінець таблиці А.21

Номінальна потужність, S_N , кВ·А	Номінальна напруга, $U_{ВН}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
			$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$		
250	6; 10	Y/Yn-0	700	3700	1,9	5,0
		$\Delta/Yn-11$		4200		
400	6; 10	Y/Yn-0	830	5500	2,0	4,5
		$\Delta/Yn-11$		5900		
630	6; 10	Y/Yn-0	1050	7600	1,8	5,5
		$\Delta/Yn-11$		8500		
1000	6; 10	Y/Yn-0	1550	10800	1,2	5,5
		$\Delta/Yn-11$				

Таблиця А.22 — Технічні дані двообмоткових трифазних оливних трансформаторів з нижчою напругою 400 В «ВАТ Тольяттинський трансформатор»

Тип трансформатора	Номінальна потужність, S_N , кВ·А	Номінальна напруга, $U_{ВН}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Напруга КЗ, %
				$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$	
ТМГ-160/10-У1, УХЛ1	160	6; 10	Y/Yn-0	410	2900	4,5
			$\Delta/Yn-11$			
ТМГ-250/10-У1, УХЛ1	250	6; 10	Y/Yn-0	570	3600	4,5
			$\Delta/Yn-11$			
ТМГ-400/10-У1, УХЛ1	400	6; 10	Y/Yn-0	750	5400	4,5
			$\Delta/Yn-11$			
ТМГ-630-У1, УХЛ1	630	6; 10	Y/Yn-0	920	7600	5,5
			$\Delta/Yn-11$			
ТМГ-1000/10-У1, УХЛ1	1000	6; 10	Y/Yn-0	1300	10800	5,5
			$\Delta/Yn-11$			
ТМГ-1600/10-У1, УХЛ1	1600	6; 10	Y/Yn-0	1800	18000	6,0
			$\Delta/Yn-11$			

Таблиця А.23 — Технічні дані двообмоткових трифазних сухих трансформаторів з нижчою напругою 400/230 В Мінського електротехнічного заводу ім. В. Козлова

Тип трансформатора	Номінальна потужність, S_N , кВ·А	Номінальна напруга, $U_{ВН}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
				$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$		
ТСГЛ-100/10-У3 ТСЗГЛ-100/10-У3 ТСЗГЛФ-100/10-У3	100	6; 10	Y/Yn-0 $\Delta/Yn-11$	600	1300	2,0	4,0

Кінець таблиці А.23

Тип трансформатора	Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, $U_{ВН}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
				$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$		
ТСГЛ-160/10-УЗ ТСЗГЛ-160/10-УЗ ТСЗГЛФ-160/10-УЗ	160	6; 10	Y/Yn-0 $\Delta/Yn-11$	650	2150	1,4	4,0
ТСГЛ-250/10-УЗ ТСЗГЛ-250/10-УЗ ТСЗГЛФ-250/10-УЗ	250	6; 10	Y/Yn-0 $\Delta/Yn-11$	900	3000	2,5	5,5
ТСГЛ-400/10-УЗ ТСЗГЛ-400/10-УЗ ТСЗГЛФ-400/10-УЗ	400	6; 10	Y/Yn-0 $\Delta/Yn-11$	1200	3900	2,5	5,5
ТСГЛ-630/10-УЗ ТСЗГЛ-630/10-УЗ ТСЗГЛФ-630/10-УЗ	630	6; 10	Y/Yn-0 $\Delta/Yn-11$	1650	5730	2,0	5,5
ТСГЛ-1000/10-УЗ ТСЗГЛ-1000/10-УЗ ТСЗГЛФ-1000/10-УЗ	1000	6; 10	Y/Yn-0 $\Delta/Yn-11$	2150	8400	1,5	6,0 8,0
ТСГЛ-1250/10-УЗ ТСЗГЛ-1250/10-УЗ ТСЗГЛФ-1250/10-УЗ	1250	6; 10	Y/Yn-0 $\Delta/Yn-11$	2250	10600	1,0	6,0 8,0
ТСГЛ-1600/10-УЗ ТСЗГЛ-1600/10-УЗ ТСЗГЛФ-1600/10-УЗ	1600	6; 10	Y/Yn-0 $\Delta/Yn-11$	3200	11300 або 12800	1,0	6,0 8,0
ТСГЛ-2500/10-УЗ ТСЗГЛ-2500/10-УЗ ТСЗГЛФ-2500/10-УЗ	2500	6; 10	Y/Yn-0 $\Delta/Yn-11$	4400	16400	0,5	6,0 8,0

Таблиця А.24 — Технічні дані двообмоткових трифазних оливних трансформаторів з нижчою напругою 400/230 В Мінського електротехнічного заводу ім. В. Козлова

Тип трансформатора	Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, $U_{ВН}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Напруга КЗ, %
				$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$	
ТМГ	16	6; 10	Y/Yn-0	85	440	4,5
			Y/Zn-11		500	5,0
ТМГ	25	6; 10; 15	Y/Yn-0	115	600	4,5
			Y/Zn-11		690	4,7

Продовження таблиці А.24

Тип трансформатора	Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, $U_{ВН}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Напруга КЗ, %
				$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$	
ТМГ	40	6; 10	Y/Yн-0	155	880	4,5
			Y/Zн-11		1000	4,7
		15	Y/Yн-0	165	880	4,5
			Y/Zн-11		1000	4,7
ТМГ	63	6; 10	Y/Yн-0	220	1280	4,5
			Y/Zн-11		1470	4,7
ТМГСУ	63	15	Y/Zн-11	220	1470	4,7
ТМГ	100	6; 10	Y/Yн-0	270	1970	4,5
			Y/Zн-11		2270	4,7
ТМГМШ	100	6; 10	Y/Yн-0	220	1970	4,5
ТМГСУ	100	15	Y/Zн-11	270	2270	4,7
		35	Y/Yн-0	320	1970	6,5
ТМГ	160	6; 10	Y/Yн-0	410	2600	4,5
			Y/Zн-11		2900	4,7
			$\Delta/Yн-11$			4,5
ТМГ ТМГСУ	160	15	Y/Zн-11	410	2900	4,7
		35	Y/Yн-0	480	2650	6,5
ТМГМШ	160	6; 10	Y/Yн-0	320	2600	4,5
ТМГ	250	10	Y/Yн-0	580	3700	4,5
					4200	
ТМГ	250	15	Y/ Δ -11	580	4200	4,5
		35	Y/Yн-0	700	3700	6,5
			Y/Zн-0		4200	6,8
ТМГ	400	6; 10	Y/Yн-0	600	5400	4,5
			$\Delta/Yн-11$		5600	
ТМГ	400	15	Y/Yн-0	830	5800	4,5
			Y/Zн-11			
ТМГ	630	6; 10	Y/Yн-0	940	7600	5,5
			$\Delta/Yн-11$	1240		
ТМГ	800	6; 10	$\Delta/Yн-11$	1370	9600	5,5
ТМГ	1000	6; 10	Y/Yн-0 $\Delta/Yн-11$	1600	10800	5,5

Кінець таблиці А.24

Тип трансформатора	Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, $U_{ВН}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Напруга КЗ, %
				$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$	
ТМГМШ	1000	6; 10	Y/Yn-0	1250	10800	5,5
ТМГ	1250	10	$\Delta/Yn-11$	1850	13500	5,5

Таблиця А.25 — Технічні дані двообмоткових трифазних оливних трансформаторів з нижчою напругою 400 В «ОАО Росенергопром»

Тип трансформатора	Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, $U_{ВН}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Напруга КЗ, %
				$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$	
ТМГ-16/10У1(ХЛ1)	16	6; 10	Y/Yn-0	85	450	4,5
			Y/Zn-11		500	5,0
ТМГ-25/10У1(ХЛ1)	25	6; 10	Y/Yn-0	95	600	4,5
			Y/Zn-11		690	4,7
ТМГ-40/10У1(ХЛ1)	40	6; 10	Y/Yn-0	130	850	4,5
			Y/Zn-11		990	4,7
ТМГ-63/10У1(ХЛ1)	63	6; 10	Y/Yn-0	195	1270	4,5
			Y/Zn-11		1470	4,7
ТМГ-100/10У1(ХЛ1)	100	6; 10	Y/Yn-0	270	1800	4,5
			Y/Zn-11		2000	4,7
ТМГ-160/10У1(ХЛ1)	160	6; 10	Y/Yn-0	390	2500	4,5
			Y/Zn-11		2800	4,7
			$\Delta/Yn-11$			4,5
ТМГ-250/10У1(ХЛ1)	250	10	Y/Yn-0	505	3650	4,5
			$\Delta/Yn-11$		4150	
ТМГ-400/10У1(ХЛ1)	400	6; 10	Y/Yn-0	820	5400	4,5
			$\Delta/Yn-11$		5600	
ТМГ-630/10У1(ХЛ1)	630	6; 10	Y/Yn-0 $\Delta/Yn-11$	1050	7600	5,5
ТМГ-1000/10У1	1000	6; 10	Y/Yn-0 $\Delta/Yn-11$	1550	10600	5,5
ТМГ-1250/10У1	1250	6; 10	Y/Yn-0 $\Delta/Yn-11$	1650	12400	6,0
ТМГ-1600/10У1	1600	6; 10	Y/Yn-0 $\Delta/Yn-11$	1950	15800	6,0

Таблиця А.26 — Технічні дані двообмоткових трифазних сухих трансформаторів з нижчою напругою 400 В «БАТ Електротехнічна компанія Біробіджанський завод силових трансформаторів»

Тип трансформатора	Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, $U_{вн}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
				$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$		
ТС(З)Н	630	6; 10	$\Delta Yn-11$	1,9	9,15	1,6	6,0
	1000			2,8	12,0	1,4	
	1600			3,7	18,6	1,2	

Таблиця А.27 — Технічні дані двообмоткових трифазних сухих трансформаторів з нижчою напругою 400 В заводу Високовольтні технології БАТ «Трансенергоком»

Тип трансформатора	Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, $U_{вн}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Напруга КЗ, %
				$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$	
ТС(З)Н-25/10УЗ	25	6; 10	$Y/Yn-0$ $\Delta Yn-11$	150	600	4,0
ТС(З)Н-40/10УЗ	40			220	880	4,0
ТС(З)Н-63/10УЗ	63			290	1280	4,0
ТС(З)Н-100/10УЗ	100			390	1720	4,0
ТС(З)Н-160/10УЗ	160			570	2300	4,0
ТС(З)Н-250/10УЗ	250			750	2900	4,0
ТС(З)Н-400/10УЗ	400			820	4300	6,0
ТС(З)Н-630/10УЗ	630			1300	5500	6,0
ТС(З)Н-1000/10УЗ	1000			1900	8250	6,0
ТС(З)Н-1600/10УЗ	1600			2500	12350	6,0

Таблиця А.28 — Технічні дані двообмоткових трифазних олиивних трансформаторів з нижчою напругою 400 В «Електросила»

Тип трансформатора	Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, $U_{вн}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
				$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$		
ТМ(Г)-160/10-У1	160	6; 10	$Y/Yn-0$ $\Delta Yn-11$	440	3100	1,8	4,5
ТМ(Г)-250/10-У1	250			560	4100	1,7	
ТМ(Г)-400/10-У1	400			800	5400	1,6	
ТМ(Г)-630/10-У1	630			1100	8100	1,5	5,5
ТМ(Г)-1000/10-У1	1000			1700	10600	1,3	

Таблиця А.29 — Технічні дані двообмоткових трифазних оливних трансформаторів з нижчою напругою 400 В «Електроцит»

Тип трансформатора	Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, $U_{ВН}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
				$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$		
ТМ(Г)-100/20	100	15; 20	Y/Yn-0 Δ /Yn-11	270	1970	2,2	4,7
ТМ(Г)-160/20	160			410	2650	2,0	
ТМ(Г)-250/20	250			530	3700	1,9	
ТМ(Г)-400/20	400			800	5500	1,8	5,5
ТМ(Г)-630/20	630			1100	7600	1,6	
ТМ(Г)-1000/20	1000			1600	11000	1,2	

Таблиця А.30 — Технічні дані двообмоткових трифазних оливних трансформаторів з нижчою напругою 400 В «Ураленергосила»

Тип трансформатора	Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, $U_{ВН}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
				$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$		
ТМГ	250	6; 10	Y/Yn-0	610	3700	1,9	4,5
	400			900	5500	1,7	
	630			1250	7600	1,7	
	1000			1850	1200	1,0	5,5
ТМН	1000	35	Y/Yn-0	2100	12200	1,4	
	1600			2900	18000	1,3	7,2

Таблиця А.31 — Технічні дані двообмоткових трифазних трансформаторів з нижчою напругою 400 В «Електропромислова компанія Siemens PARTNER»

Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, $U_{ВН}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
			$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$		
400	6; 10	Y/Yn-0 Δ /Yn-11	830	5500	2,0	4,5
630	6; 10		1050	7600	1,8	5,5
1000	6; 10		1550	10800	1,2	5,5
1600	6; 10	Δ /Yn-11 Y/Yn-0	2050	16000	1,3	6,0
2500	6; 10		2800	24000	0,8	6,0

Таблиця А.32 — Технічні дані двообмоткових трифазних сухих трансформаторів з епоксидною ізоляцією Geafol компанії «Siemens Transzformator Kft»

Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, $U_{ВН}$, кВ	Втрати потужності, Вт		Напруга КЗ, %
		$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$ при 75°	
100	6; 10	320	1600	4
		440		
160	6; 10	440	2300	4
		610		

Кінець таблиці А.32

Номінальна потужність, S_n , кВ·А	Номінальна напруга, $U_{вн}$, кВ	Втрати потужності, Вт		Напруга КЗ, %
		$\Delta P_{нх}$	$\Delta P_{кз}$ при 75°	
250	6; 10	600	2800	4
		820		
400	6; 10	880	3800	4
		1150		
630	6; 10	1150	6500	6
		1370	6400	
1000	6; 10	1500	8300	6
		2000	8500	
1600	6; 10	2100	12300	6
		2800		
2000	6; 10	2600	13600	6
		3400		
2500	6; 10	3000	16300	6

Таблиця А.33 — Технічні дані двообмоткових трифазних оливних трансформаторів з нижчою напругою 400 В компанії «Elettromeccanica Colombo» (Італія)

Номінальна потужність, S _н , кВ·А		Номінальна напруга, U _{вн} , кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Напруга КЗ, %
				ΔP _{нх}	ΔP _{кз} при 75°	
Тип RIDOTTE	100	6; 10; 15; 20	Y/Yн-0 Δ/Yн-11	250	1400	4
	160			360	1850	4
	200			430	2170	4
	250			520	2600	4
	315			610	3050	4
	400			740	3650	4
	500			800	4500	4
	630			900	5600	6
	800			1100	7200	6
	1000			1300	9000	6
	1250			1600	10600	6
	1600			2000	13000	6
	2000			2400	16000	6
	2500			2900	21000	6

Кінець таблиці А.33

Номинальна потужність, S_N , кВ·А		Номинальна напруга, $U_{ВН}$, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Напруга КЗ, %
				$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$ при 75°	
Тип NORMAL	100	6; 10; 15; 20	Y/YH-0 Δ /YH-11	320	1750	4
	160			460	2350	4
	200			550	2800	4
	250			650	3250	4
	315			790	4000	4
	400			930	4600	4
	500			1100	5500	4
	630			1300	6500	6
	800			1500	8500	6
	1000			1700	10500	6
	1250			2100	13500	6
	1600			2600	17000	6
	2000			3200	22000	6
	2500			3800	26500	6
Тип ENERGETICA	100	6; 10; 15; 20	Y/YH-0 Δ /YH-11	460	2100	4
	160			540	2950	4
	200			630	3500	4
	250			780	4100	4
	315			900	4950	4
	400			1100	6500	4
	500			1300	7800	4
	630			1500	9000	4
	800			1700	11000	5
	1000			2000	12800	6
	1250			2400	14200	6
	1600			2700	18500	6
	2000			3200	25000	6
	2500			4000	30000	6

Таблиця А.34 — Технічні дані двообмоткових трифазних сухих трансформаторів з литою ізоляцією з нижчою напругою 400 В компанії «Elettromeccanica Colombo» (Італія)

Номинальна потужність, S_N , кВ·А		Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
			$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$ при 75°		
$U_{ном} = 6$ кВ	100	Y/YH-0 $\Delta/YH-11$	500	1900	2,3	6
	160		600	2950	2,0	
	200		700	3400	1,9	
	250		750	3950	1,8	
	315		910	4800	1,7	
	400		1000	5450	1,5	
	500		1250	6000	1,4	
	630		1450	7300	1,3	
	800		1700	8700	1,2	
	1000		2000	9900	1,1	
	1250		2250	12000	1,0	
	1600		2700	13700	0,9	
	2000		3000	17000	0,8	
	2500		3350	20000	0,7	
	3150		4000	22000	0,6	7
$U_{ном} = 15$ кВ	100	Y/YH-0 $\Delta/YH-11$	550	1800	2,3	6
	160		650	2800	2,0	
	200		750	3250	1,9	
	250		800	3800	1,8	
	315		1000	4600	1,7	
	400		1100	5200	1,5	
	500		1350	5800	1,4	
	630		1600	7000	1,3	
	800		1850	8300	1,2	
	1000		2200	9500	1,1	
	1250		2500	11500	1,0	
	1600		3000	13000	0,9	
	2000		3300	16200	0,8	
	2500		3700	19000	0,7	
	3150		4400	21300	0,6	7

Кінець таблиці А.34

Номінальна потужність, S_N , кВ·А		Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
			$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$ при 75°		
$U_{ном} = 35$ кВ	100	Y/Yn-0 Δ Yn-11	900	2800	2,5	5
	160		1000	3150	2,2	6
	200		1050	3300	2,1	
	250		1150	3500	2,0	
	315		1300	3800	1,9	
	400		1500	4200	1,7	
	500		1650	4900	1,6	
	630		2000	6000	1,5	
	800		2500	6600	1,4	
	1000		3000	7900	1,3	
	1250		3400	9300	1,2	
	1600		4000	10900	1,1	
	2000		4900	13100	1,0	
	2500		5500	16200	0,8	6,5
	3150		5900	20200	0,7	8

Таблиця А.35 — Технічні дані двообмоткових трифазних сухих трансформаторів серії CTR з нічою напругою 400 В компанії «IMEFY» (Італія)

Номінальна потужність, S_N , кВ·А		Втрати потужності, Вт			Напруга КЗ, %	Струм НХ, %
		$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$ при 75°	$\Delta P_{КЗ}$ при 120°		
$U_{вн} = 10(6)$ кВ	250	820	3000	3450	4	1,8
		800	3300	3800	6	
	315	980	3700	4250	4	1,5
		900	4200	4800	6	
	400	1150	4300	4950	4	1,3
		1050	5000	5750	6	
	500	1350	5300	6100	4	1,1
		1200	6000	6900	6	
	630	1500	6400	7350	4	1,0
		1450	7200	8300	6	
	800	1650	8000	9200	6	0,9
	1000	2000	8800	10150		0,8

Кінець таблиці А.35

Номинальна потужність, S_N , кВ·А		Втрати потужності, Вт			Напруга КЗ, %	Струм НХ, %
		$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$ при 75°	$\Delta P_{КЗ}$ при 120°		
$U_{ВН} = 10 (6)$ кВ	1250	2400	10400	12000	6	0,8
	1600	2800	12700	14600		0,7
	2000	3800	15400	17700		0,6
	2500	5000	20000	23000		0,55
	3150	6000	22000	25300		0,5
$U_{ВН} = 35$ кВ	250	1280	3450	4000	6	1,5
	315	1450	4100	4700		1,3
	400	1650	4800	5500		1,3
	500	2000	5600	6400		1,2
	630	2200	6950	8000		1,0
	800	2650	8600	9900		1,1
	1000	3100	10000	11500		1,0
	1250	3500	12000	13750	7	0,9
	1600	4200	14800	17000		0,8
	2000	4700	18000	20700		0,7
	2500	5800	21000	24150		0,6
	3150	6900	23000	26450	8	0,5

Таблиця А.36 — Технічні дані двообмоткових трифазних сухих трансформаторів з литою ізоляцією типу ТЗР компанії GBE S.p.A (Італія)

Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, кВ		Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, кВт		Напруга КЗ, %
	$U_{ВН}$	$U_{НН}$		$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$ при 120°	
50	6	0,4	$\Delta/Y_{НН}-11;$ $Y/Y_{НН}-0$	0,34	1,42	4
100				0,50	1,93	
160				0,70	2,60	
200				0,84	3,11	
250				0,96	3,38	
315				1,14	4,05	
400				1,32	4,83	
500				1,56	6,18	
630				1,74	7,18	
800				1,75	9,32	6
1000				2,00	9,84	
1250				2,40	12,53	

Кінець таблиці А.36

Номінальна потужність, S_N , кВ·А	Номінальна напруга, кВ		Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, кВт		Напруга КЗ, %
	$U_{ВН}$	$U_{НН}$		$\Delta P_{нх}$	$\Delta P_{КЗ}$ при 120°	
1600	6	0,4	$\Delta/Y_{Н-11};$ $Y/Y_{Н-0}$	2,80	14,16	6...7
2000				3,40	17,84	
2500				4,30	20,00	
3150				5,40	25,45	
4000				6,80	28,78	7...8
5000				7,50	31,95	

Таблиця А.37 — Технічні дані двообмоткових трифазних сухих трансформаторів з литою ізоляцією типу Т3R компанії GBE S.p.A (Італія)

Номінальна потужність, S_N , кВ·А	Номінальна напруга, кВ		Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, кВт		Напруга КЗ, %
	$U_{ВН}$	$U_{НН}$		$\Delta P_{нх}$	$\Delta P_{КЗ}$ при 120°	
50	10	0,4	$\Delta/Y_{Н-11};$ $Y/Y_{Н-0}$	0,28	1,60	6
100				0,42	2,13	
160				0,58	2,89	
200				0,70	3,28	
250				0,80	3,84	
315				0,95	4,63	
400				1,15	5,47	
500				1,30	6,41	
630				1,45	7,53	
800				1,75	9,32	
1000				2,00	9,84	
1250				2,40	12,53	
1600				2,80	14,16	6...7
2000				3,40	17,84	
2500				4,30	20,00	
3150				5,40	25,45	
4000				6,80	28,78	
5000				7,50	31,95	

Таблиця А.38 — Технічні дані двообмоткових трифазних сухих трансформаторів з литою ізоляцією типу Т3R компанії GBE S.p.A (Італія)

Номінальна потужність, S_N , кВ·А	Номінальна напруга, кВ		Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, кВт		Напруга КЗ, %
	$U_{ВН}$	$U_{НН}$		$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$ при 120°	
100	35	0,4	$\Delta Y_{Н-11};$ $Y Y_{Н-0}$	0,70	3,11	6
160				0,88	3,45	
200				1,05	3,84	
250				1,15	4,75	
315				1,30	5,65	
400				1,60	1,36	
500				1,80	7,23	
630				2,00	8,59	
800				2,30	9,83	
1000				2,70	11,87	
1250				3,10	14,13	
1600				3,90	16,95	
2000				5,00	19,78	
2500				5,80	23,73	7
3150				7,00	27,69	
4000				8,10	30,96	8
5000				9,40	33,90	

Таблиця А.39 — Технічні дані двообмоткових трифазних сухих трансформаторів з литою ізоляцією Trihal компанії «Schneider Electric»

Номінальна потужність, S_N , кВ·А	Номінальна напруга, кВ		Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Струм НХ, %	Напруга КЗ, %
	$U_{ВН}$	$U_{НН}$		$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$ при 75°		
160	6; 10	0,4	$\Delta Y_{Н-11}$ або $\Delta Y_{Н-5}$	610	2300	2,3	4
250				820	3100	2,0	
315				950	3600	1,8	
400				1150	4300	1,5	
500				1300	5200	1,5	
630				1500	6400	1,3	
800				1700	7700	1,3	6
1000				2000	8800	1,2	
1250				2500	10500	1,2	
1600				2800	12300	1,2	
2000				3500	14900	1,1	
2500				4300	18300	1,0	
3150				5500	22000	1,0	7

Таблиця А.40 — Технічні дані двообмоткових трифазних сухих трансформаторів фірми АВВ з литими обмотками DTE

Номінальна потужність, S_N , кВ·А	Номінальна напруга, кВ		Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт			Напруга КЗ, %
	$U_{ВН}$	$U_{НН}$		$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$ при 75°	$\Delta P_{КЗ}$ при 120°	
50	10	0,4	$\Delta Yn-11$ або $\Delta Yn-5$	350	1230	1400	4
100				440	1760	2000	
160				610	2380	2700	
250				820	3080	3500	
315				1100	3780	4300	
400				1150	4310	4900	
500				1350	5630	6400	6
630				1370	6690	7600	
800				1800	8010	9000	
1000				2000	8900	10000	
1250				2500	11130	12500	
1600				2800	12460	14000	
2000				3600	16200	18000	
2500				4300	18900	21000	
3150				6000	22500	25000	
160	35	0,4	$\Delta Yn-11$ або $\Delta Yn-5$	960	2550	2900	6
250				1280	3520	4000	
315				1500	4220	4800	
400				1650	5020	5700	
500				1950	6250	7100	
630				2200	7040	8000	7
800				2800	8630	9700	
1000				3100	10240	11500	8
1250				3700	12280	13800	
1600				4200	15130	17000	
2000				5000	18900	21000	
2500				5800	22500	25000	
3150				7500	26100	29000	

Таблиця А.41 — Технічні дані двообмоткових трифазних сухих трансформаторів фірми АВВ з литою ізоляцією Resiblok

Номінальна потужність, S_N , кВ·А	Номінальна напруга, кВ		Схема і група з'єднання обмоток	Втрати потужності, Вт		Напруга КЗ, %
	U_{BH}	U_{HH}		ΔP_{HX}	ΔP_{K3} при 75°	
250	10	0,4	$\Delta Yn-11$ $\Delta Yn-5$	690	3400	6
400				1000	5000	
500				1200	5700	
630				1370	6600	
800				1700	7700	
1000				2000	8800	
1250				2400	10500	
1600				2800	12700	
2000				3500	15500	
2500				4300	19000	
3150				5200	22600	
250	20	0,4	$\Delta Yn-11$ $\Delta Yn-5$	880	3300	6
400				1200	4800	
500				1400	6000	
630				1650	6900	
800				1900	8100	
1000				2300	9600	
1250				2700	11500	
1600				3100	14000	
2000				4000	16700	
2500				5000	20000	
3150				6000	24000	

Таблиця А.42 — Технічні дані двообмоткових трифазних сухих трансформаторів з литою ізоляцією фірми SGB з нижчою напругою 400 В

Тип трансформатора	Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, $U_{ВН}$, кВ	Втрати потужності, Вт		Напруга КЗ, %
			$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$ при 75°	
Сухі трансформатори з литою ізоляцією типу DTTH (GD)	400	6; 10	1150	4300	4
	500	6; 10	1350	5500	4
	630	6; 10	1500	6400	4
	800	6; 10	1750	7600	6
	1000	6; 10	2000	8800	6
	1250	6; 10	2400	10700	6
	1600	6; 10	2800	12500	6
	2000	6; 10	3500	16000	6
	2500	6; 10	4300	18500	6
	3150	6; 10	5000	21000	6

Таблиця А.43 — Технічні дані двообмоткових трифазних сухих трансформаторів з литою ізоляцією фірми SGB з нижчою напругою 400 В

Тип трансформатора	Номинальна потужність, S_N , кВ·А	Номинальна напруга, $U_{ВН}$, кВ	Втрати потужності, Вт		Напруга КЗ, %
			$\Delta P_{НХ}$	$\Delta P_{КЗ}$ при 75°	
Сухі трансформатори з литою ізоляцією типу DTTH (GD)	400	35	1600	5400	6
	500	35	1900	6700	6
	630	35	2200	7600	6
	800	35	2650	8300	6
	1000	35	3000	10000	6
	1250	35	3900	11800	6
	1600	35	4300	14500	6
	2000	35	5100	17000	6
	2500	35	6400	21000	6,5
	3150	35	7500	25000	6

Таблиця А.44 — Дані реактора

Потужність, Вт	Напруга, В	Струм, А	Індуктивність, мГн	Частота, Гц
140	380	50	0,48	50

Таблиця А.45 — Дані реактора

Тип	Напруга, В	Струм, А	Номинальний опір, мОм	Частота, Гц
РТТ-0,38-50-14УЗ	380	50	0,14	50

Таблиця А.46 — Значення перехідних опорів контактних з'єднань кабелів

Значення опорів контактних з'єднань кабелів, мОм, для алюмінієвого кабелю перерізом, мм ²							
16	25	35	70	95	120	150	240
0,085	0,064	0,056	0,043	0,029	0,027	0,021	0,012

Таблиця А.47 — Значення перехідних опорів контактних з'єднань шинопроводів

Значення опорів контактних з'єднань шинопровода, мОм, при номінальному струмі шинопровода, А					
ШРА-73 250	ШРА-73 400	ШРА-73 630	ШМА-73 1600	ШМА-68Н 2500	ШМА-68Н 4000
0,009	0,006	0,004	0,003	0,002	0,001

Таблиця А.48 — Приблизні значення опорів роз'ємних контактів комутаційних апаратів напругою до 1 кВ

Номінальний струм апарата, А	Значення активного опору, мОм		
	Автоматичний вимикач	Рубильник	Роз'єднувач
50	1,30	—	—
70	1,00	—	—
100	0,75	0,50	—
150	0,65	—	—
200	0,60	0,40	—
400	0,40	0,20	0,20
600	0,25	0,15	0,15
1000	0,12	0,08	0,08
3000	—	—	0,02

Таблиця А.49 — Значення опорів первинних обмоток багатовиткових трансформаторів струму

Коефіцієнт трансформації трансформатора струму	Значення опорів, мОм, первинних обмоток багатовиткових трансформаторів струму, класу точності			
	1		2	
	X _{ТА}	R _{ТА}	X _{ТА}	R _{ТА}
20/5	67	42	17	19
30/5	30	20	8	8,2
40/5	17	11	4,2	4,8
50/5	11	7	2,8	3
75/5	4,8	3	1,2	1,3
100/5	2,7	1,7	0,7	0,75
150/5	1,2	0,7	0,3	0,33
200/5	0,67	0,42	0,17	0,19
300/5	0,3	0,2	0,08	0,088
400/5	0,17	0,11	0,04	0,05
500/5	0,07	0,05	0,02	0,02

Таблиця А.50 — Значення опорів полюсів автоматичних вимикачів серії АЕ-20

Номинальний струм теплового розчіплювача, А	Опір полюса вимикача, МОм	Номинальний струм теплового розчіплювача, А	Опір полюса вимикача, МОм
0,6	21700	12,5	48
0,8	12500	16	31
1,0	8000	20	20
1,25	5100	25	13
1,6	3100	31,5	8
2,0	2000	40	5
2,5	1300	50	3,2
3,15	800	63	2
4,0	500	80	2,3
5,0	300	100	1,5
6,3	200	125	1,28
8,0	125	160	0,78
10	80		

Таблиця А.51 — Значення опорів полюсів автоматичних вимикачів серії АВМ

Тип вимикача	Номинальний струм вимикача, А	Опір полюса вимикача, МОм
АВМ-4	400	0,40
АВМ-10	1000	0,12
АВМ-10	750	0,25
АВМ-15	1500	0,12
АВМ-20	2000	0,10
АВМ-20	1500	0,12

Таблиця А.52 — Значення опорів полюсів автоматичних вимикачів серії АП-50

Номинальний струм теплового розчіплювача, А	Опір полюса вимикача, МОм
1,6	3900
2,5	1600
4	625
6,4	244
10	100
16	39
25	16
40	6,2
50	4

Таблиця А.53 — Значення опорів полюсів автоматичних вимикачів серії АК-63

Номінальний струм розчіплювача, А	Опір полюса вимикача, МОм		Номінальний струм розчіплювача, А	Опір полюса вимикача, МОм	
	Виконання МГ	Виконання М		Виконання МГ	Виконання М
0,6	27000	16600	8	156	93
0,8	15625	9375	10	100	60
1,0	10000	6000	12	69	41
1,25	6400	3840	12,5	64	38
1,6	3900	2343	16	39	23
2,0	2500	1500	20	25	15
2,5	1600	960	25	16	9,6
3,15	1000	604	31,5	10	6
4,0	625	375	40	8,25	3,75
5,0	400	240	50	4	2,4
6,3	251	151	63	2,51	1,51

Таблиця А.54 — Значення опорів котушок і контактів $X_{кв}$ і $R_{кв}$ автоматичних вимикачів у залежності від номінального струму $I_{ном}$ вимикачів

$I_{ном}$, А	$R_{кв}$, МОм	$X_{кв}$, МОм	$I_{ном}$, А	$R_{кв}$, МОм	$X_{кв}$, МОм
50	7	4,50	600	0,41	0,13
70	3,50	2,00	1000	0,25	0,10
100	2,15	1,20	1600	0,14	0,08
140	1,30	0,70	2500	0,13	0,07
200	1,10	0,50	4000	0,10	0,05
400	0,65	0,17			

Примітка. В таблиці вказані сумарні опори котушок і контактів автоматичних вимикачів серії АЗ700, «Електрон» і ВА. Значення активних та індуктивних опорів нульової послідовності слід приймати рівними значенням опорів прямої послідовності.

Таблиця А.55 — Значення опорів полюсів автоматичних вимикачів Compact NSX 100-250 компанії «Schneider Electric»

Тип вимикача		Номинальний струм вимикача, А	Опір полюса вимикача, мОм
з розчіплювачами ТМ-D і ТМ-G	NSX100	16	11,42
		25	6,42
		32	3,94
		40	3,42
		50	1,64
		63	2,17
		80	1,37
		100	0,88
	NSX160	80	1,26
		100	0,77
		125	0,69
		160	0,55
	NSX250	125	0,61
		160	0,46
		200	0,39
		250	0,3

Таблиця А.56 — Значення опорів полюсів автоматичних вимикачів Compact NSX 100-630 компанії «Schneider Electric»

Тип вимикача		Номинальний струм вимикача, А	Опір полюса вимикача, мОм
з розчіплювачами МА/1,3-М	NSX100	2,5	148,42
		6,3	99,02
		12,5	4,05
		25	1,66
		50	0,67
		100	0,52
	NSX160	150	0,38
	NSX250	220	0,3
	NSX400	320	0,12
з розчіплювачами Micrologic	NSX100	40	0,84
		100	0,468
	NSX160	40	0,73
		100	0,36
		160	0,36
	NSX250	100	0,27
		250	0,28
	NSX400	400	0,12
	NSX630	630	0,1

Таблиця А.57 — Значення опорів плавких вставок запобіжників

Тип запобіжника	Номинальний струм патрона, А	Номинальний струм плавкої вставки, А	Опір, мОм
НПН-2-60	60	6,3	83
		10	40
		16	23
		20	20
		25	16
		31,5	12
		40	8,75
		63	4,5
ПН-2-100	100	30	3,4
		40	2,4
		50	1,8
		60	1,4
		80	1,05
		100	0,85
ПН2-250	250	80	1,05
		100	0,85
		120	0,63
		150	0,50
		200	0,41
		250	0,29
ПН2-400	400	200	0,39
		250	0,29
		300	0,24
		350	0,21
		400	0,16
ПН2-600	600	300	0,23
		400	0,15
		500	0,13
		600	0,10

Таблиця А.58 — Значення опорів комплектних шинопроводів

Тип шинопроводу	Номинальна напруга, кВ	Номинальний струм, А	Опір фази, мОм/м		Опір нульового провідника, мОм/м	
			R ₁	X ₁	R ₁	X ₁
ШМА4-1250	0,38/0,66	1250	0,034	0,016	0,054	0,053
ШМА4-1600	0,38/0,66	1600	0,030	0,014	0,037	0,042
ШМА4-3200	0,38/0,66	3200	0,010	0,005	0,064	0,035
ШМА-68Н	0,38/0,66	4000	0,013	0,015	0,007	0,045
ШРА-73	0,38	250	0,210	0,210	0,120	0,210
ШРА-73	0,38	400	0,150	0,170	0,162	0,164
ШРА-73	0,38	630	0,100	0,130	0,162	0,164
КЗШ-0,4	0,38	—	0,024	0,117	0,201	0,572
АДО-0,4 (КРУ-0,5)	0,50	—	0,0255	0,120	0,211	0,535

Таблиця А.59 — Опір шин

Перетин шини, мм	Активний опір при +65 °С, мОм/м		Індуктивний опір, мОм/м при D _{ср} , мм			
	мідь	алюміній	100	150	200	300
25×3	0,268	0,475	0,179	0,2	0,225	0,244
30×3	0,223	0,394	0,163	0,189	0,206	0,235
30×4	0,167	0,296	0,163	0,189	0,206	0,235
40×4	0,125	0,222	0,145	0,170	0,189	0,214
40×5	0,100	0,177	0,145	0,170	0,189	0,214
50×5	0,080	0,142	0,137	0,157	0,18	0,2
50×6	0,067	0,118	0,137	0,157	0,18	0,2
60×6	0,0558	0,099	0,1195	0,145	0,163	0,189
60×8	0,0418	0,074	0,1195	0,145	0,163	0,189
80×8	0,0313	0,055	0,102	0,126	0,145	0,17
80×10	0,025	0,0445	0,102	0,126	0,145	0,17
100×10	0,02	0,0355	0,090	0,113	0,133	0,157
2(60×8)	0,0209	0,037	0,120	0,145	0,163	0,189
2(80×8)	0,0157	0,0277	—	0,126	0,145	0,17
2(80×10)	0,0125	0,0222	—	0,126	0,145	0,17
2(100×10)	0,01	0,0178	—	—	0,133	0,157

Таблиця А.60 — Параметри кабелю з алюмінієвими жилами у алюмінієвій оболонці

Перетин кабелю, мм ²	Опір трижильних кабелів у алюмінієвій оболонці, мОм/м			
	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
3×4	9,61	0,092	10,95	0,579
3×6	6,41	0,087	7,69	0,523
3×10	3,84	0,082	5,04	0,461
3×16	2,40	0,078	3,52	0,406
3×25	1,54	0,062	2,63	0,359
3×35	1,10	0,061	2,07	0,298
3×50	0,769	0,060	1,64	0,250
3×70	0,549	0,059	1,31	0,211
3×95	0,405	0,057	1,06	0,174
3×120	0,320	0,057	0,92	0,157
3×150	0,256	0,056	0,78	0,135
3×185	0,208	0,056	0,66	0,122
3×240	0,160	0,055	0,553	0,107

Таблиця А.61 — Параметри кабелю з алюмінієвими жилами у свинцевій оболонці

Перетин кабелю, мм ²	Опір трижильних кабелів у свинцевій оболонці, мОм/м			
	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
3×4	9,61	0,092	11,6	1,24
3×6	6,41	0,087	8,38	1,20
3×10	3,84	0,082	5,78	1,16
3×16	2,40	0,078	4,32	1,12
3×25	1,54	0,062	3,44	1,07
3×35	1,10	0,061	2,96	1,01
3×50	0,769	0,060	2,60	0,963
3×70	0,549	0,059	2,31	0,884
3×95	0,405	0,057	2,10	0,793
3×120	0,320	0,057	1,96	0,742
3×150	0,256	0,056	1,82	0,671
3×185	0,208	0,056	1,69	0,606
3×240	0,160	0,055	1,55	0,535

Таблиця А.62 — Параметри кабелю з алюмінієвими жилами у неprovідній оболонці

Перетин кабелю, мм ²	Опір трижильних кабелів у неprovідній оболонці, мОм/м			
	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
3×4	9,61	0,092	11,7	2,31
3×6	6,41	0,087	8,51	2,274
3×10	3,84	0,082	5,94	2,24
3×16	2,40	0,078	4,50	2,20
3×25	1,54	0,062	3,64	2,17
3×35	1,10	0,061	3,30	2,14
3×50	0,769	0,060	2,869	2,08
3×70	0,549	0,059	2,649	2,07
3×95	0,405	0,057	2,505	2,05
3×120	0,320	0,057	2,42	2,03
3×150	0,256	0,056	2,36	2,00

Таблиця А.63 — Параметри кабелю з алюмінієвими жилами у алюмінієвій оболонці

Перетин кабелю, мм ²	Опір чотирижильних кабелів у алюмінієвій оболонці, мОм/м			
	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
3×4 + 1×2,5	9,61	0,098	10,87	0,57
3×6 + 1×4	6,41	0,094	7,60	0,466
3×10 + 1×6	3,84	0,088	4,94	0,401
3×16 + 1×10	2,40	0,084	3,39	0,336
3×25 + 1×16	1,54	0,072	2,41	0,256
3×35 + 1×16	1,10	0,068	1,93	0,232
3×50 + 1×25	0,769	0,066	1,44	0,179
3×70 + 1×35	0,549	0,065	1,11	0,145
3×95 + 1×50	0,405	0,064	0,887	0,124

Таблиця А.64 — Параметри кабелю з алюмінієвими жилами у свинцевій оболонці

Перетин кабелю, мм ²	Опір чотирижильних кабелів у свинцевій оболонці, мОм/м			
	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
3×4 + 1×2,5	9,61	0,098	11,52	1,13
3×6 + 1×4	6,41	0,094	8,28	1,05
3×10 + 1×6	3,84	0,088	5,63	0,966
3×16 + 1×10	2,40	0,084	4,09	0,831
3×25 + 1×16	1,54	0,072	3,08	0,668
3×35 + 1×16	1,10	0,068	2,63	0,647

Кінець таблиці А.64

Перетин кабелю, мм ²	Опір чотирижильних кабелів у свинцевій оболонці, мОм/м			
	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
3×50 + 1×25	0,769	0,066	2,10	0,50
3×70 + 1×35	0,549	0,065	1,71	0,393
3×95 + 1×50	0,405	0,064	1,39	0,317
3×120 + 1×50	0,320	0,064	1,27	0,301
3×150 + 1×70	0,256	0,063	1,05	0,248
3×185 + 1×70	0,208	0,063	0,989	0,244

Таблиця А.65 — Параметри кабелю з алюмінієвими жилами у непровідній оболонці

Перетин кабелю, мм ²	Опір чотирижильних кабелів у непровідній оболонці, мОм/м			
	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
3×4 + 1×2,5	9,61	0,098	11,71	2,11
3×6 + 1×4	6,41	0,094	8,71	1,968
3×10 + 1×6	3,84	0,088	5,90	1,811
3×16 + 1×10	2,40	0,084	4,39	1,558
3×25 + 1×16	1,54	0,072	3,42	1,258
3×35 + 1×16	1,10	0,068	2,97	1,241
3×50 + 1×25	0,769	0,066	2,449	0,949
3×70 + 1×35	0,549	0,065	2,039	0,741
3×95 + 1×50	0,405	0,064	1,665	0,559
3×120 + 1×50	0,320	0,064	1,540	0,545
3×150 + 1×70	0,256	0,063	1,276	0,430

Таблиця А.66 — Значення опорів контрольних кабелів у непровідній оболонці

Перетин кабелю, мм ²	Опір, мОм/м			
	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
1,5	12,3	0,105	14	2,5
2,5	7,35	0,102	12,9	2,3
4	4,6	0,098	11,71	2,11

Таблиця А.67 — Параметри кабелю з мідними жилами у стальній оболонці

Перетин кабелю, мм ²	Опір трижильних кабелів, мОм/м, при температурі жили 65 °С			
	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
3×6	3,54	0,094	4,07	1,69
3×10	2,13	0,088	2,66	1,65
3×16	1,33	0,082	1,86	1,61
3×25	0,85	0,082	1,38	1,57
3×35	0,61	0,079	1,14	1,54
3×50	0,43	0,078	0,96	1,51
3×70	0,3	0,065	0,83	1,48
3×95	0,22	0,064	0,76	1,45
3×120	0,18	0,062	0,71	1,43
3×150	0,14	0,061	0,67	1,41
3×185	0,115	0,061	0,65	1,39
3×240	0,089	0,06	0,62	1,36

Таблиця А.68 — Параметри кабелю з мідними жилами у стальній оболонці

Перетин кабелю, мм ²	Опір чотирижильних кабелів, мОм/м, при температурі жили 65 °С			
	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
3×6 + 1×4	3,54	0,01	4,19	1,56
3×10 + 1×6	2,13	0,095	2,82	1,46
3×16 + 1×10	1,33	0,09	2,07	1,31
3×25 + 1×16	0,85	0,089	1,63	1,11
3×35 + 1×16	0,61	0,086	1,37	1,09
3×50 + 1×25	0,43	0,086	1,18	0,88
3×70 + 1×25	0,3	0,073	1,05	0,851
3×70 + 1×35	0,3	0,074	1,01	0,654
3×95 + 1×35	0,22	0,072	0,92	0,69
3×95 + 1×50	0,22	0,072	0,84	0,54
3×120 + 1×35	0,18	0,07	0,88	0,68
3×120 + 1×70	0,18	0,07	0,7	0,47
3×150 + 1×50	0,14	0,07	0,74	0,54
3×150 + 1×70	0,14	0,07	0,66	0,42
3×185 + 1×50	0,115	0,069	0,7	0,54
3×185 + 1×95	0,115	0,069	0,54	0,34

Таблиця А.69 — Параметри кабелю з мідними жилами у стальній оболонці

Перетин кабелю, мм ²	Опір чотирижильних кабелів, мОм/м, при температурі жили 65 °C			
	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
4×6	3,54	0,01	4,21	1,49
4×10	2,13	0,095	2,88	1,34
4×16	1,33	0,09	2,12	1,11
4×25	0,85	0,089	1,63	0,91
4×35	0,61	0,086	1,33	0,74
4×50	0,43	0,086	1,05	0,58
4×70	0,3	0,073	0,85	0,42
4×95	0,22	0,072	0,66	0,35
4×120	0,18	0,07	0,54	0,31
4×150	0,14	0,07	0,45	0,28
4×185	0,115	0,069	0,37	0,27

ДОДАТОК Б

до п.6.1.4 нормативного документа Міністерства енергетики та вугільної промисловості України "Розрахунок струмів короткого замикання в мережі напругою до 1 кВ електростанцій і підстанцій з урахуванням впливу електричної дуги. Методичні вказівки" (довідковий)

ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ СТРУМІВ КЗ У МЕРЕЖІ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ 0,4 кВ

Б.1 Вихідні дані

Схема для розрахункової перевірки струмів КЗ в мережі власних потреб 0,4 кВ наведена на рисунку Б.1.

Б.1.1 Система:

$S_{КЗ} = 100 \text{ мВ} \cdot \text{А}$; $U_{\text{сер.ВН}} = 6,0 \text{ кВ}$.

Трансформатор Т: ТСЗС-1000/6,0. Схема з'єднання обмоток Y/Y_0 .

$U_{КЗ} = 8\%$; $S_T = 1000 \text{ кВ} \cdot \text{А}$; $U_{ВН} = 6,3 \text{ кВ}$;

$P_{КЗ} = 11,2 \text{ кВт}$; $X_{от} = 72,8 \text{ мОм}$; $R_{от} = 19,1 \text{ мОм}$.

Б.1.2 Шинопроводи:

Ш1: ШМА-4-1600. Довжина 15 м.

$R_{1Ш1} = 0,03 \text{ мОм/м}$,

$R_{0Ш1} = 0,037 \text{ мОм/м}$,

$X_{1Ш1} = 0,014 \text{ мОм/м}$;

$X_{0Ш1} = 0,042 \text{ мОм/м}$.

Ш2: АДО-0,4. Довжина 10 м.

$R_{1Ш2} = 0,0255 \text{ мОм/м}$,

$R_{0Ш2} = 0,211 \text{ мОм/м}$,

$X_{1Ш2} = 0,12 \text{ мОм/м}$;

$X_{0Ш2} = 0,535 \text{ мОм/м}$.

Ш3: ШРА-73-630. Довжина 50 м.

$R_{1Ш3} = 0,1 \text{ мОм/м}$,

$R_{0Ш3} = 0,162 \text{ мОм/м}$,

$X_{1Ш3} = 0,13 \text{ мОм/м}$;

$X_{0Ш3} = 0,164 \text{ мОм/м}$.

Б.1.3 Кабельні лінії:

КЛ1: АВВГ-2 (3х185+1х70), довжина — 150 м;

$R_1 = 0,208 \text{ мОм/м}$,

$R_0 = 0,989 \text{ мОм/м}$,

$X_1 = 0,063 \text{ мОм/м}$;

$X_0 = 0,244 \text{ мОм/м}$.

КЛ2: АВВГ-3х35+1х16, довжина — 20 м;

$R_1 = 1,1 \text{ мОм/м}$,

$R_0 = 2,63 \text{ мОм/м}$,

$X_1 = 0,068 \text{ мОм/м}$;

$X_0 = 0,647 \text{ мОм/м}$.

КЛ3: АВВГ-3х185+1х70, довжина — 90 м;

$R_1 = 0,208 \text{ мОм/м}$,

$R_0 = 0,989 \text{ мОм/м}$,

$X_1 = 0,063 \text{ мОм/м}$;

$X_0 = 0,244 \text{ мОм/м}$.

Б.1.4 Автоматичні вимикачі:

QF1: "Електрон": $I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А}$,

QF2: АЗ794С: $I_{\text{НОМ}} = 400 \text{ А}$,

QF3: АЕ2056: $I_{\text{НОМ}} = 100 \text{ А}$,

QF4: АЗ794Б: $I_{\text{НОМ}} = 400 \text{ А}$,

QF5: "Електрон": $I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А}$,

QF6: "Електрон": $I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А}$,

$R_{\text{КВ}} = 0,25 \text{ мОм}$,

$R_{\text{КВ}} = 0,65 \text{ мОм}$,

$R_{\text{КВ}} = 2,15 \text{ мОм}$,

$R_{\text{КВ}} = 0,65 \text{ мОм}$,

$R_{\text{КВ}} = 0,25 \text{ мОм}$,

$R_{\text{КВ}} = 0,25 \text{ мОм}$,

$X_{\text{КВ}} = 0,1 \text{ мОм}$;

$X_{\text{КВ}} = 0,17 \text{ мОм}$;

$X_{\text{КВ}} = 1,2 \text{ мОм}$;

$X_{\text{КВ}} = 0,17 \text{ мОм}$;

$X_{\text{КВ}} = 0,1 \text{ мОм}$;

$X_{\text{КВ}} = 0,1 \text{ мОм}$.

Б.1.5 Вимірвальні трансформатори струму:

ТА1, ТА2: $I_{\text{НОМ}} = 200 \text{ А}$, $R_{\text{ТА}} = 0,42 \text{ мОм}$, $X_{\text{ТА}} = 0,67 \text{ мОм}$;

ТА3: $I_{\text{НОМ}} = 500 \text{ А}$, $R_{\text{ТА}} = 0,05 \text{ мОм}$, $X_{\text{ТА}} = 0,07 \text{ мОм}$.

Б.1.6 Прогоничні контактні з'єднання:

Величини контактних з'єднань $R_{\text{К}}$, наведені на рисунку Б.1.

Б.1.7 Асинхронні двигуни:

АД1: АО102-12/8/6/4: $P_{\text{ном}} = 55 \text{ кВт}$, $I_{\text{ном}} = 109 \text{ А}$, $\eta_{\text{ном}} = 87,5 \%$, $\cos\varphi_{\text{н}} = 0,87$,
 $I_{\text{пуск}} / I_{\text{ном}} = 5,7$; $M_{\text{пуск}} / M_{\text{ном}} = 1,1$; $M_{\text{макс}} / M_{\text{ном}} = 2,2$.
 АД2 } АД3-315М-6У3: $P_{\text{ном}} = 132 \text{ кВт}$, $I_{\text{ном}} = 238 \text{ А}$, $\eta_{\text{ном}} = 93,5 \%$, $\cos\varphi_{\text{н}} = 0,9$;
 АД3 } $I_{\text{пуск}} / I_{\text{ном}} = 7,0$; $M_{\text{пуск}} / M_{\text{ном}} = 1,6$; $M_{\text{макс}} / M_{\text{ном}} = 2,6$;
 $s_{\text{ном}} = 1,7 \%$; $n_c = 1000 \text{ об/хв}$.

Б.1.8 Комплексне навантаження:

Сумарна активна потужність становить $P_{\Sigma} = 350 \text{ кВт}$, $\cos\varphi = 0,8$. До складу комплексного навантаження входять асинхронні двигуни (АД), лампи розжарювання (ЛР), перетворювачі (П) в такому співвідношенні:

$P_{\text{АД}} = 175 \text{ кВт}$, $P_{\text{ЛР}} = 35 \text{ кВт}$, $P_{\text{П}} = 140 \text{ кВт}$.

Б.2 Розрахунок параметрів схеми заміщення

Б.2.1 Опір системи X_c , розрахований за формулою (6.1), становить:

$$X_c = \frac{(400)^2}{100} \cdot 10^{-3} = 1,6 \text{ мОм}.$$

Б.2.2 Активний та індуктивний опори трансформатора R_T і X_T , розраховані за формулами (6.2) і (6.3), становлять:

$$R_T = \frac{11,2 \cdot 0,4^2}{(1000)^2} \cdot 10^6 = 1,79 \text{ мОм},$$

$$X_T = \sqrt{8^2 - \left(\frac{100 \cdot 11,2}{1000}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{1000} \cdot 10^4 = 12,67 \text{ мОм}.$$

Б.2.3 Активний та індуктивний опори шинопровода становлять:

Ш1: $R_{1\text{ш1}} = 0,03 \cdot 15 = 0,45 \text{ мОм}$, $X_{1\text{ш1}} = 0,014 \cdot 15 = 0,21 \text{ мОм}$;
 $R_{0\text{ш1}} = 0,037 \cdot 15 = 0,555 \text{ мОм}$, $X_{0\text{ш1}} = 0,042 \cdot 15 = 0,63 \text{ мОм}$.
 Ш2: $R_{1\text{ш2}} = 0,0255 \cdot 10 = 0,255 \text{ мОм}$, $X_{1\text{ш2}} = 0,12 \cdot 10 = 1,2 \text{ мОм}$;
 $R_{0\text{ш2}} = 0,211 \cdot 10 = 2,11 \text{ мОм}$, $X_{0\text{ш2}} = 0,535 \cdot 10 = 5,35 \text{ мОм}$.
 Ш3: $R_{1\text{ш3}} = 0,1 \cdot 50 = 5,0 \text{ мОм}$, $X_{1\text{ш3}} = 0,13 \cdot 50 = 6,5 \text{ мОм}$;
 $R_{0\text{ш3}} = 0,162 \cdot 50 = 8,1 \text{ мОм}$, $X_{0\text{ш3}} = 0,164 \cdot 50 = 8,2 \text{ мОм}$.

Б.2.4 Активний та індуктивний опори кабельних ліній становлять:

КЛ1: $R_{1\text{кл1}} = 0,208 \cdot 150/2 = 15,6 \text{ мОм}$, $X_{1\text{кл1}} = 0,063 \cdot 150/2 = 4,725 \text{ мОм}$;
 $R_{0\text{кл1}} = 0,989 \cdot 150/2 = 74,17 \text{ мОм}$, $X_{0\text{кл1}} = 0,244 \cdot 150/2 = 18,3 \text{ мОм}$.
 КЛ2: $R_{1\text{кл2}} = 1,1 \cdot 20 = 22 \text{ мОм}$, $X_{1\text{кл2}} = 0,068 \cdot 20 = 1,36 \text{ мОм}$;
 $R_{0\text{кл2}} = 2,63 \cdot 20 = 52,6 \text{ мОм}$, $X_{0\text{кл2}} = 0,647 \cdot 20 = 12,94 \text{ мОм}$.
 КЛ3: $R_{1\text{кл3}} = 0,208 \cdot 90 = 18,72 \text{ мОм}$, $X_{1\text{кл3}} = 0,063 \cdot 90 = 5,67 \text{ мОм}$;
 $R_{0\text{кл3}} = 0,989 \cdot 90 = 89,01 \text{ мОм}$, $X_{0\text{кл3}} = 0,244 \cdot 90 = 21,96 \text{ мОм}$.

Б.3 Параметри асинхронного двигуна АД 2, АД 3

Б.3.1 Активний опір ротора, приведений до статора за формулою (14.5), приймаючи $P_{\text{мх}} = 0,01 P_{\text{ном}}$ дорівнює:

$$R_2^* = \frac{0,36 \cdot 1,6 \cdot (132 + 1,32)}{7^2 \cdot 238^2 \cdot (1 - 0,017)} \cdot 10^6 = 28,14 \text{ мОм}.$$

Активний опір статора за формулою (14.6) дорівнює:

$$R_1 = \frac{1,7}{100} \cdot \frac{0,38^2 \cdot 0,9 \cdot 0,935}{132} \cdot 10^6 = 15,65 \text{ мОм}.$$

Сумарний активний опір асинхронного двигуна в момент КЗ дорівнює:

$$R_{\text{АД}} = 15,65 + 0,96 \cdot 28,14 = 42,66 \text{ мОм.}$$

Значення надперехідного індуктивного опору асинхронного двигуна дорівнює:

$$X''_{\text{АД}} = \sqrt{\left(\frac{220}{7 \cdot 238} \cdot 10^3\right)^2 - 42,66^2} = 124,8 \text{ мОм.}$$

Б.3.2 Значення надперехідної ЕРС асинхронного двигуна дорівнює:

$$E''_{\text{ф.АД}} = \sqrt{(220 \cdot 0,9 - 238 \cdot 0,0427)^2 + (220 \cdot 0,44 - 238 \cdot 0,125)^2} = 200 \text{ В.}$$

Б.3.3 Постійна часу затухання періодичної складової струму статора становить:

$$T_p = \frac{124,8 + 5,67}{314 \cdot 28,14} = 0,015 \text{ с.}$$

Б.3.4 Постійна часу затухання аперіодичної складової струму статора становить:

$$T_a = \frac{124,8 + 5,67}{314 \cdot (15,65 + 18,72)} = 0,012 \text{ с.}$$

Б.4 Параметри комплексного навантаження

Значення модулів повних опорів, а також еквівалентної надперехідної ЕРС комплексного навантаження визначається за кривими на рисунку 10 у залежності від відносного складу споживачів вузла навантаження P_i/P_Σ , а саме:

$P^*_{\text{АД}} = 175/350 = 0,5$; $P^*_{\text{ЛР}} = 35/350 = 0,1$; $P^*_{\text{П}} = 140/350 = 0,4$ у відносних одиницях становлять: $Z^*_{\text{нг}} = 0,3$; $Z^*_{2\text{нг}} = 0,35$; $E^{\text{II}}_{\text{нг}} = 0,75$.

Б.5 Розрахунок струмів КЗ у мережі власних потреб 0,4 кВ

Вибір виду КЗ в електроустановках напругою до 1000 кВ залежить від мети розрахунку. Металеве трифазне КЗ звичайно є розрахунковим видом для перевірки на вимикаючу здатність захисних апаратів, термічну стійкість і пожежну безпеку кабелів. Дугове однофазне КЗ — розрахунковим КЗ для перевірки на чутливість захисних апаратів. Під час перевірки комутаційних апаратів і кабелів на термічну стійкість, згідно з ГОСТ 30323, слід враховувати залежність часу вимкнення КЗ від сили струму. Інтеграл Джоуля при трифазному КЗ, з урахуванням дуги, може мати значення більше ніж при металевому КЗ.

Вибір місця КЗ в основному зумовлено діючими галузевими нормами. Для перевірки на термічну стійкість і пожежну безпеку ПУЕ рекомендує розглядати КЗ на початку кабельної лінії. Під час перевірки низьковольтних автоматичних вимикачів і запобіжників на вимикаючу здатність струм розраховується при КЗ на затискачах апаратів зі сторони найбільш потужного джерела. Під час перевірки чутливості захисних апаратів місце КЗ вибирається за найбільш електрично віддаленим захисним апаратом наступного рівня захисту або на затискачах останнього електроприймача.

Для схеми, наведеної на рисунку Б.1 показані два характерні випадки КЗ — т.К1 і т.К2, для яких виконаємо розрахунок струмів металевих КЗ і струмів КЗ з урахуванням дуги, розрахунок ударного струму при КЗ і аперіодичної складової струму КЗ, покажемо вплив асинхронних електродвигунів на значення періодичної складової струму у місці КЗ.

Б.5.1 Коротке замикання в точці К1

Б.5.1.1 Розрахунок струму трифазного КЗ

Сумарний активний і індуктивні опори прямої послідовності розрахункової схеми відносно точки К1:

$$R_{1\Sigma} = R_{1T} + R_{1\text{ш1}} + R_{\text{кв1}} + R_{\text{кв2}} + R_{1\text{кл1}} + R_{\text{кв3}} + R_{\text{ТА1}} + R_{1\text{кл2}} + R_{\text{к}} = \\ = 1,79 + 0,45 + 0,25 + 0,65 + 15,6 + 2,15 + 0,42 + 22,0 + 0,088 = 43,4 \text{ мОм;}$$

$$X_{1\Sigma} = X_c + X_{1T} + X_{1ш1} + X_{кв1} + X_{кв2} + X_{1кл1} + X_{кв3} + X_{ТА1} + X_{1кл2} =$$

$$= 1,6 + 12,67 + 0,21 + 0,1 + 0,17 + 4,725 + 1,2 + 0,67 + 1,36 = 22,7 \text{ мОм.}$$

Початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ:

$$I_{п0}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \sqrt{43,4^2 + 22,7^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 48,98} = 4,721 \text{ кА.}$$

Б.5.1.2 Розрахунок струму двофазного КЗ

Початкове діюче значення періодичної складової струму двофазного КЗ:

$$I_{п0}^{(2)} = \frac{400}{2 \sqrt{43,4^2 + 22,7^2}} = 4,083 \text{ кА.}$$

Б.5.1.3 Розрахунок струму однофазного КЗ

Сумарний активний і індуктивні опори нульової послідовності розрахункової схеми відносно точки К1:

$$R_{0\Sigma} = R_{0T} + R_{0ш1} + R_{кв1} + R_{кв2} + R_{0кл1} + R_{кв3} + R_{ТА1} + R_{0кл2} + R_k =$$

$$= 19,1 + 0,555 + 0,25 + 0,65 + 74,17 + 2,15 + 0,42 + 52,6 + 0,088 = 149,98 \text{ мОм;}$$

$$X_{0\Sigma} = X_{0T} + X_{0ш1} + X_{кв1} + X_{кв2} + X_{0кл1} + X_{кв3} + X_{ТА1} + X_{0кл2} =$$

$$= 72,8 + 0,63 + 0,1 + 0,17 + 18,3 + 1,2 + 0,67 + 12,94 = 106,81 \text{ мОм.}$$

Початкове діюче значення періодичної складової струму однофазного КЗ:

$$I_{п0}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 43,4 + 149,98)^2 + (2 \cdot 22,8 + 106,81)^2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{281,5} = 2,458 \text{ кА.}$$

Б.5.1.4 Розрахунок струмів дугового КЗ

Середньостатичне значення поправочного коефіцієнта K_c , який враховує пониження струму в початковий момент дугового КЗ порівняно зі струмом металевого КЗ, визначений за формулою (11.2), становить:

— при трифазному КЗ: $Z_K^{(3)} = \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2} = \sqrt{43,4^2 + 22,7^2} = 48,98 \text{ мОм;}$

$$K_c = 0,6 - 0,0025 \cdot 48,98 + 0,114 \sqrt{48,98} - 0,13 \sqrt[3]{48,98} = 0,8.$$

— при двофазному КЗ: $Z_K^{(2)} = 2/\sqrt{3} \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2} = 2/\sqrt{3} \sqrt{43,4^2 + 22,7^2} = 56,62 \text{ мОм;}$

$$K_c = 0,6 - 0,0025 \cdot 56,62 + 0,114 \sqrt{56,62} - 0,13 \sqrt[3]{56,62} = 0,82.$$

— при однофазному КЗ: $Z_K^{(1)} = 1/3 \sqrt{(2R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2} =$

$$= 1/3 \sqrt{(2 \cdot 43,4 + 149,98)^2 + (2 \cdot 22,7 + 106,81)^2} = 93,83 \text{ мОм;}$$

$$K_c = 0,6 - 0,0025 \cdot 93,83 + 0,114 \sqrt{93,83} - 0,13 \sqrt[3]{93,83} = 0,88.$$

Активний опір дуги у початковий момент КЗ, визначений за формулою (11.1) становить:

— при трифазному КЗ: $R_d = \sqrt{\frac{400^2}{3 \cdot 4,721^2 \cdot 0,8^2} - 22,7^2 - 43,4} = 13,38 \text{ мОм,}$

— при двофазному КЗ: $R_d = \sqrt{\frac{400^2}{3 \cdot 4,082^2 \cdot 0,82^2} - 22,7^2 - 43,4} = 21,76 \text{ мОм,}$

— при однофазному КЗ: $R_d = \sqrt{\frac{400^2}{3 \cdot 2,458^2 \cdot 0,88^2} - 22,7^2 - 43,4} = 60,9 \text{ мОм.}$

Імовірнісне значення струму КЗ в початковий момент часу дорівнює:
— трифазного дугового КЗ:

$$I_{\text{п0 д}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \sqrt{(43,4 + 13,38)^2 + 22,7^2}} = 3,781 \text{ кА;}$$

— двофазного дугового КЗ:

$$I_{\text{п0 д}}^{(2)} = \frac{400}{2 \sqrt{\left(43,4 + \frac{21,76}{2}\right)^2 + 22,7^2}} = 3,401 \text{ кА;}$$

— однофазного дугового КЗ:

$$I_{\text{п0 д}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 43,4 + 149,98 + 3 \cdot 60,9)^2 + (2 \cdot 22,7 + 106,81)^2}} = 1,551 \text{ кА.}$$

Б.5.2 Коротке замикання в точці К2

Б.5.2.1 Розрахунок струму трифазного металевого КЗ

Сумарний активний і індуктивні опір прямої послідовності розрахункової схеми відносно точки К2 становить:

$$R_{1\Sigma} = R_{1T} + R_{1ш1} + R_{кв1} + R_k + R_{1ш2} = 1,79 + 0,45 + 0,25 + 0,003 + 0,255 = 2,75 \text{ мОм;}$$

$$X_{1\Sigma} = X_c + X_{1T} + X_{1ш1} + X_{кв1} + X_{1ш2} = 1,6 + 12,67 + 0,21 + 0,1 + 1,2 = 15,78 \text{ мОм.}$$

Початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного металевого КЗ дорівнює:

$$I_{\text{п0}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2,75^2 + 15,78^2}} = 14,451 \text{ кА.}$$

Б.5.2.2 Розрахунок струму трифазного дугового КЗ

Середньостатичне значення поправочного коефіцієнта K_c , який враховує пониження струму в початковий момент дугового КЗ порівняно зі струмом металевого КЗ становить:

$$\text{— при трифазному КЗ: } Z_k^{(3)} = \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2} = \sqrt{2,75^2 + 15,78^2} = 16 \text{ мОм;}$$

$$K_c = 0,6 - 0,0025 \cdot 16 + 0,114 \sqrt{16} - 0,13 \sqrt[3]{16} = 0,69.$$

Активний опір дуги у початковий момент КЗ становить:

$$\text{— при трифазному КЗ: } R_d = \sqrt{\frac{400^2}{3 \cdot 14,451^2 \cdot 0,69^2} - 15,78^2 - 2,75} = 14,2 \text{ мОм.}$$

Імовірнісне значення струму трифазного дугового КЗ в початковий момент часу дорівнює:

$$I_{\text{п0 д}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \sqrt{(2,75 + 14,2)^2 + 15,78^2}} = 9,984 \text{ кА.}$$

Б.5.2.3 Розрахунок ударного струму КЗ

Значення ударного коефіцієнта $K_{уд}$ визначається за кривою $K_{уд} = f(X/R)$ на рисунку 2 для розрахункової схеми відносно точки К2:

$$X_{1\Sigma} / R_{1\Sigma} = 15,78 / 2,75 = 5,74, K_{уд} = 1,6.$$

Значення ударного струму в т. К2 в початковий момент часу дорівнює:

$$i_{уд} = \sqrt{2} I_{п0} K_{уд} = \sqrt{2} \cdot 14,451 \cdot 1,6 = 32,601 \text{ кА}.$$

Б.5.2.4 Розрахунок аперіодичної складової струму К3

Значення аперіодичної складової струму К3 в початковий момент К3 дорівнює:

$$i_{a0} = \sqrt{2} I_{п0} = \sqrt{2} \cdot 14,451 = 20,376 \text{ кА}.$$

Значення аперіодичної складової струму К3 для моменту часу $t > 0$ необхідно знати для вибору комутаційної апаратури. За розрахунковий час, для якого визначимо аперіодичну складову струму К3, приймемо $t = \tau = 0,05 \text{ с}$, тоді:

$$i_{at} = i_{a0} e^{-t/T_a} = 20,376 \cdot e^{-\frac{0,05}{0,018}} = 20,376 \cdot 0,062 = 1,267 \text{ кА}.$$

Постійна часу затухання T_a аперіодичної складової струму К3, визначена за формулою (10.3), дорівнює 0,018 с.

Б.5.2.5 Урахування асинхронних двигунів під час розрахунку струмів К3

Під час розрахунку струмів К3 у мережі власних потреб 0,4 кВ допускається не враховувати вплив асинхронних електродвигунів, якщо їх сумарний номінальний струм не перевищує 1 % від номінального значення періодичної складової струму у місці К3, розрахованого без урахування електродвигунів.

У розрахунковій схемі до шин 0,4 кВ підключені два асинхронних двигуна потужністю 132 кВт і номінальним струмом 238 А. Відношення $2 \cdot I_{ном.дв}$ до $I_{п0}^{(3)}$ становить 2,3 %, і тому вплив асинхронних двигунів слід враховувати.

У розрахунковій схемі до силової збірки 0,4 кВ підключений асинхронний двигун потужністю 55 кВт з номінальним струмом 109 А. Двигуни, які живляться від силових збірок не мають суттєвого впливу на значення струму К3 безпосередньо на збірних шинах 0,4 кВ власних потреб, а тому в практичних розрахунках струмів цих замикань впливом віддалених електродвигунів допустимо нехтувати.

Б.5.2.5.1 Розрахунок періодичної складової струму К3 в точці К2 від асинхронних двигунів

Індуктивний і активний опори прямої послідовності кола, включеного між двигуном і розрахунковою точкою К3 дорівнюють:

$$R_{1\Sigma} = R_k + R_{1кл3} + R_{ТА2} + R_{кв4} = 0,01 + 18,42 + 0,42 + 0,65 = 19,5 \text{ мОм};$$

$$X_{1\Sigma} = X_{1кл3} + X_{ТА2} + X_{кв4} = 5,67 + 0,67 + 0,17 = 6,51 \text{ мОм}.$$

Початкове діюче значення періодичної складової струму К3 від асинхронних електродвигунів $I_{п0 АД}$, розраховане за формулою (14.9), дорівнює:

$$I_{п0 АД} = \frac{200}{\sqrt{(124,8 + 6,51)^2 + (42,66 + 19,5)^2}} = 2,753 \text{ кА}.$$

Початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного К3 в точці К2 визначається як сума струмів від енергосистеми і від двигунів:

$$I_{\Sigma п0} = 14,451 + 2,753 = 17,204 \text{ кА}.$$

Б.5.2.5.2 Розрахунок значення ударного струму К3 в точці К2 від асинхронних двигунів

Ударний струм має місце через 0,01 с після початку К3. Постійна часу затухання періодичної складової струму статора дорівнює 0,012 с. Постійна часу затухання аперіодичної складової струму статора дорівнює 0,015 с.

Значення ударного струму від асинхронних електродвигунів, визначене за формулою (14.12), дорівнює:

$$i_{уд.АД} = \sqrt{2} \cdot I_{п0 АД} \left(e^{-\frac{0,01}{T_p}} + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \right) = \sqrt{2} \cdot 2,753 \cdot \left(e^{-\frac{0,01}{0,012}} + e^{-\frac{0,01}{0,015}} \right) = \sqrt{2} \cdot 2,753 \cdot 0,947 = 3,676 \text{ кА.}$$

Значення ударного струму в т. К2 у початковий момент часу від енергосистеми і від асинхронних двигунів дорівнює:

$$i_{\Sigma уд} = 32,601 + 3,676 = 36,277 \text{ кА.}$$

Б.5.2.6 Урахування комплексного навантаження під час розрахунку струмів КЗ

Під час розрахунку струмів КЗ у мережі власних потреб 0,4 кВ рекомендується враховувати вплив комплексного навантаження (електродвигуни, перетворювачі, електротермічні установки, лампи розжарювання), на струм КЗ, якщо номінальний струм електродвигунів навантаження перевищує 1 % від початкового значення періодичної складової струму у місці КЗ, розрахованого без урахування навантаження.

Відношення $I_{ном.АД}$ комплексного навантаження до $I_{п0}^{(3)}$ становить 1,2 %, і тому вплив комплексного навантаження на струм металевого трифазного КЗ слід враховувати.

Б.5.2.6.1 Розрахунок складової струму КЗ в точці К2 від комплексного навантаження

Індуктивний і активний опори прямої послідовності кола КЗ, включеного між навантаженням і розрахунковою точкою КЗ дорівнюють:

$$R_{1\Sigma} = R_k + R_{кв6} + R_{1ш3} + R_{ТА3} + R_{кв5} = 0,004 + 0,25 + 5,0 + 0,05 + 0,25 = 5,55 \text{ мОм,}$$

$$X_{1\Sigma} = X_{кв6} + X_{1ш3} + X_{ТА3} + X_{кв5} = 0,1 + 6,5 + 0,07 + 0,1 = 6,77 \text{ мОм.}$$

Початкове діюче значення періодичної складової струму КЗ від комплексного навантаження $I_{п0 нав.}$ розраховане за формулою (15.1), дорівнює:

$$I_{п0 нав.} = \frac{0,75 \cdot 400}{\sqrt{3} \sqrt{(110 \cdot 0,8 + 5,55)^2 + (110 \cdot 0,6 + 6,77)^2}} = 1,463 \text{ кА.}$$

Визначимо початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ в точці К2 як суму струмів від енергосистеми, асинхронних двигунів і комплексного навантаження:

$$I_{\Sigma п0} = 14,451 + 2,753 + 1,463 = 18,667 \text{ кА.}$$

Значення ударного струму від комплексного навантаження, визначене за формулою (9.1), дорівнює:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{п0} \left(1 + e^{-\frac{-t_{уд}}{T_a}} \right) = \sqrt{2} \cdot 1,463 \cdot 1 = 2,069 \text{ кА.}$$

Значення ударного струму в точці К2 у початковий момент часу від енергосистеми, асинхронних двигунів і комплексного навантаження дорівнює:

$$i_{\Sigma уд} = 32,601 + 3,676 + 2,069 = 38,346 \text{ кА.}$$

ДОДАТОК В

до п. 5.4, п. 6.9, п.13.3 нормативного документа
Міністерства енергетики та вугільної промисло-
вості України «Розрахунок струмів короткого зами-
кання в мережі напругою до 1кВ електростанцій
і підстанцій з урахуванням впливу електричної
дуги. Методичні вказівки»

(довідковий)

БІБЛІОГРАФІЯ

1 ГКД 341.004.001-94 Норми технологічного проектування підстанцій змінного струму з ви-
щою напругою 6-750 кВ.

2 СОУ 31.2-21677681-69:2009 Випробування та контроль стану заземлювальних пристроїв
електроустановок. Типова інструкція.

3 РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания
и выбору электрооборудования — М.: Изд-во НЦ ЭНАС (Керівні вказівки з розрахунку струмів
короткого замикання і вибору електрообладнання — М.: Вид-во НЦ ЕНАС).

4 Релейная защита элементов сети собственных нужд 6,3 и 0,4 кВ электростанций с тур-
богенераторами. 192713.0000036.02955.000.АЭ.01 «Атомэнергопроект» 1987. (Релейний захист
елементів мережі власних потреб 6,3 і 0,4 кВ електростанцій з турбогенераторами.
192713.0000036.02955.000.АЕ.01 «Атоменергопроект»).

УКНД 27.100
УДК 621.311.4

Ключові слова: коротке замикання, струм короткого замикання, заземлення, електрична дуга, схема заміщення, розрахунок, методичні вказівки.

Видавець: Об'єднання енергетичних підприємств
«Галуzeвий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики»

01032, м. Київ, вул., Симона Петлюри, 27

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції ДК № 1435 від 18.07.2003 р.

Верстка та друк ТОВ «7КО»
свідоцтво про державну реєстрацію Серія А01, №263916,
дата проведення реєстрації 29.05.2008 р.
адреса: 01042, м. Київ, вул. Філатова 22/8
тел./факс: (044) 538-10-88

Друк офсетний. Папір офсетний.
Формат 60 x 84/8. Ум. Друк. Арк 9.77
Замовлення № 413. Наклад: 20 прим.