

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання індивідуального завдання №1
на тему «Дослідження проблематики виникнення перехідних процесів
у сучасних умовах»

з дисципліни

«СИСТЕМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ»

Запоріжжя 2024



УКЛАДАЧ(І):

- 1 Папаїка Юрій, доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації, електро- та робототехнічних систем;

УЗГОДЖЕНО:

Гарант освітньої програми
«Енергоефективні технології в
системах електрозабезпечення
гірничих та металургійних
підприємств»

Віктор ХІЛОВ

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри

Олексій КОЙФМАН



1 ВСТУП

Причини виникнення перехідних процесів


Головне в матеріальній реалізації концепції «інтелектуальних» електричних мереж – її технічна та технологічна платформа, яка передбачає перехід на реалізацію концепції Smart Grid. Ключовий принцип, що визначає перспективу і функціонування «інтелектуальних» електричних мереж, полягає в забезпеченні високого рівня надійного, безпечного й ефективного режиму їх роботи за вимогами споживачів. Практично створюється принципово нова технологія керування електричними мережами в реальному часі з урахуванням умов і вимог ринку електроенергії. Основний напрям технологічного розвитку, відповідно до концепції Smart Grid, полягає в створенні «інтелектуальних» систем моніторингу і вимірювань, упровадженні засобів керування з використанням сучасних досягнень силової електроніки та комп'ютерних технологій.

Прикладами інноваційних технологій є: пристрої FACTS; високовольтні системи передачі електроенергії на змінному і постійному струмах; надпровідники; Smart-пристрої; силова електроніка на базі сучасних напівпровідникових пристроїв, у тому числі з використанням відновлюваних джерел енергії та сучасної елементної бази комп'ютерних систем.

Постійне удосконалення систем електропостачання підприємств (СЕР) визначається інтенсивним розвитком промисловості, високотехнологічних виробництв, транспорту, будівництва, агропромислового комплексу. Підприємства цих галузей у складній інфраструктурі промислових центрів і міст – основні споживачі електричної енергії.

Системи електропостачання цих комплексів характеризуються: багаторівневими ступенями розподілу електроенергії; великими вузлами навантаження з різними видами перетворення параметрів електромагнітної енергії, складом електроприймачів; джерелами живлення від електроенергетичної системи та відновлюваної генерації, місцевих теплових електростанцій (ТЕС), синхронних компенсаторів, джерел реактивної потужності (ДРП).

Зі збільшенням потужності електроустановок їхні пошкодження та значні відхилення від нормальних режимів роботи супроводжувалися важкими наслідками. Це потребує системної оцінки перехідних процесів в енергосистемі. Виконано розробку спеціальних заходів і засобів для забезпечення роботи електроустановок в аварійних ситуаціях. Оскільки успіх цього залежав від знання явищ в аварійних ситуаціях, необхідно було розробити відповідні методи їх розрахунку, запроваджувати засоби захисту електроустановок від пошкоджень з



урахуванням перехідних процесів, вирішити проблему забезпечення стійкості режиму енергосистеми.

Перехідні процеси в системі електропостачання – результат зміни режимів, спричинених експлуатаційними умовами або наслідками пошкодження ізоляції чи струмоведучих частин електроустановок.

Електромагнітні перехідні процеси виникають за умов:

- 1) **короткі замикання** в електричній системі, повторні включення (відключення) короткозамкненого кола;
- 2) **форсування збудження** генераторів;
- 3) **виникнення місцевої несиметрії** в електричній системі;
- 4) **зниження збудження генераторів** (гасіння їх магнітного поля).


Необхідність вивчення електромагнітних перехідних процесів визначається завданнями:

- **розробити** раціональні варіанти ефективних, надійних і безпечних схем електропостачання;
- **вибрати** електричне обладнання, стійке до термічної та динамічної дії аварійного режиму;
- **розрахувати** струми короткого замикання з метою:
 - а) розрахунку електрообладнання на термічну та динамічну стійкість;
 - б) вибору засобів захисту;
 - в) обмеження струму аварійного режиму.

Електромагнітні перехідні процеси досліджуються за умови: усі працюючі електричні машини (генератори) станцій протягом перехідного процесу зберігають швидкість обертання ротора незмінною (незмінна частота в системі). Це відповідає сучасним вимогам до засобів захисту: відключення аварійного режиму відбувається за долі секунди (десяті, соті).

Причинами виникнення перехідних процесів можуть бути впливи на елементи системи:

- вмикання, вимикання чи перемикання джерел електричної енергії, трансформаторів, ЛЕП, електроприймачів та інших елементів;
- поява несиметрії фазних струмів і напруг через вимикання окремих фаз, несиметричних змін навантаження, обривів фаз тощо;
- короткі замикання в елементах системи електропостачання;
- прискорення збудження синхронних машин та гасіння їх магнітного поля;
- раптові накиди та скиди навантаження;
- асинхронний пуск двигунів та синхронних компенсаторів;
- реверсування асинхронних двигунів;
- асинхронний хід синхронних машин після їх випадання із синхронізму;
- кліматичні впливи на елементи системи електропостачання;



– повторні вмикання та вимикання короткозамкнених ланцюгів мереж.

Перехідні процеси, викликані комутаційними перемиканнями елементів системи, виконанням випробувань і регулюванням режимів, належать до умов нормальної експлуатації, а короткі замикання, обриви фаз, повторні вмикання та вимикання короткозамкнених частин схеми, випадання генераторів із синхронізму та інші порушення нормальних режимів – з розряду аварійних ситуацій.

Граничні значення параметрів режиму електроустановок при перехідних процесах у нормальних режимах експлуатації враховуються під час виготовлення електричного устаткування, проектування та спорудження СЕП, при обґрунтуванні експлуатаційних режимів.

Призначення розрахунків перехідних процесів


Перехідні процеси в системах електропостачання вивчають після одержання необхідних знань із загальноосвітніх та спеціальних дисциплін, в яких розглядаються окремі елементи СЕП. Перехідні процеси в СЕП аналізують з урахуванням зв'язків між елементами системи і поточних змін параметрів режиму.

Мета досліджень і розрахунків перехідних процесів в тому, щоб, з'ясувавши особливості роботи та якісно нові властивості при кількісних змінах у СЕП, навчитися передбачати перебіг перехідних процесів і керувати ними. Тому потрібно вміти їх розраховувати, прогнозувати за зміною параметрів системи кількісні зміни режимів і через регулювальні пристрої впливати на перехідний процес.

Дослідження та розрахунки перехідних процесів – необхідні умови вирішення багатьох завдань, що виникають при проектуванні та експлуатації СЕП. Зокрема, для вибору принципів дії і настроювання автоматичних пристроїв протиаварійного керування, аналізу електромеханічних перехідних процесів з метою визначення умов стійкості електричного навантаження та розробки заходів для забезпечення безперервної роботи промислових підприємств у різних режимах системи електропостачання.

На основі досліджень і розрахунків перехідних процесів вирішуються найважливіші питання проектування, спорудження та експлуатації СЕП:

- обґрунтування економічно доцільних систем передачі, розподілу і споживання електричної енергії;
- забезпечення належного режиму після перехідних процесів у системі;
- виконання вимог щодо якісних показників перехідних процесів;
- забезпечення стійкості переходу від одного режиму до іншого;
- оцінка стійкості режиму після закінчення перехідних процесів;

- 
- визначення тривалості та впливу перехідного процесу на зміну параметрів режиму системи;
 - випробування апаратів та СЕП у перехідних режимах.

За результатами досліджень і розрахунків перехідних процесів варто проектувати такі системи електропостачання, перехідні процеси в яких закінчувалися б припустимим усталеним режимом. При цьому перехідні процеси слід розглядати з двох позицій:

- надійності СЕП;
- поведінки системи та її окремих елементів при зміні умов роботи.

З урахуванням перехідних процесів повинні бути забезпечені зміни параметрів режиму СЕП, за якими якісні показники електропостачання споживачів істотно б не знижувалися. Тому таке важливе значення має зменшення тривалості перехідного процесу, вилучення можливості виникнення нових перехідних процесів, завершення перебігу перехідного процесу достатньо надійним режимом.


Якість електромагнітних перехідних процесів

Основне джерело в електропостачанні промислових підприємств – електроенергетична система. Тенденції зростання кількості та потужності джерел електричної енергії в енергосистемі, наближення джерел живлення до споживачів, збільшення числа і потужності синхронних та асинхронних двигунів у вузлах навантаження означають одночасно підвищення рівня потужності і струмів короткого замикання на шинах знижувальних підстанцій та в «інтелектуальних» розподільних електричних мережах. Це обумовлює підвищені вимоги відносно **електродинамічної та термічної стійкості** елементів системи, а також функціонування комутаційної апаратури, засобів захисту, системної автоматики.

При створенні «розумних» систем електропостачання слід узгоджувати поставлені вимоги до її елементів з можливими перехідними процесами. Аналіз електромагнітних перехідних процесів з оцінкою їх якості необхідний для проектування і правильної експлуатації електрообладнання.

Перехідні процеси щодо узгодження з вимогами до системи з їх елементами характеризуються якісними та кількісними показниками. Останні звичайно є функціоналами залежності параметрів режиму від тривалості або їх граничними значеннями і містять певну інформацію. Показники якості електромагнітних перехідних процесів, що виникають при переході системи від нормального режиму роботи до аварійного, оцінюють за такими їх властивостями, характеристиками та наслідками.

Тривалість перехідного процесу – інтервал часу, протягом якого система (її складові) переходить з одного стійкого стану до іншого. Тривалість процесів, близьких до аперіодичних, можна оцінити інтервалом часу $t_{\text{трив}} \leq 3T_a$, якщо скористатися значенням



еквівалентної постійної часу електричної мережі T_a . При перехідних процесах, які виникають внаслідок раптових порушень нормального режиму, звичайно прагнуть скоротити час аварійного режиму. Оцінюючи розрахункову тривалість короткого замикання, цей інтервал часу складають з мінімального часу дії засобів захисту t_{3min} та власного часу вимикання комутаційної апаратури $t_{3вим}$:

$$\tau = t_{3min} + t_{3вим}.$$

Можливі порушення режиму (вмикання, вимикання, коротке замикання, пуск тощо) розраховують за тривалістю для кожного виду електроустаткування з метою порівняння з допустимим часом перебігу перехідного режиму, який може обмежуватися технічними чи технологічними умовами, вимогами безпеки, перегріванням і т. ін.

Характер перехідного процесу оцінюють за зміною струму протягом певного часу. Характер електромагнітного перехідного процесу залежить від потужності джерел електричної енергії, параметрів електричних мереж, наявності на генераторах пристроїв АРЗ, встановлення в електричних мережах пристроїв АПВ.

Характер перехідного процесу зміни параметрів режиму може бути аперіодичним, коливальним з незмінною або аперіодично мінливою амплітудою чи монотонним. При розрахунку параметрів режиму КЗ використовують якісну оцінку характеру перехідного процесу за амплітудою. Щодо розмагнічувальної дії реакції статора генераторів при перебігу струму короткого замикання джерела енергії умовно розподіляють на джерела необмеженої та обмеженої потужності (за електричною віддаленістю від місця замикання).

Кількісні оцінки у визначенні характеру перехідного процесу – **коефіцієнт затухання періодичної складової струму** короткого замикання:

$$\gamma_{пт} = I_{пт} / I'' \quad (1)$$

і **коефіцієнт затухання аперіодичної складової струму** короткого замикання:

$$\gamma_{ат} = i_{ат} / i_{а0}. \quad (2)$$

Небезпечні наслідки для електрообладнання системи оцінюють відповідно такими показниками перехідного процесу струму короткого замикання:

- електродинамічною стійкістю елементів системи (перевіряється за ударним струмом при трифазному короткому замиканні);
- термічною стійкістю елементів системи (оцінюється за найбільшим тепловим імпульсом струму при три- або двофазному короткому замиканні):

$$B_K = \int_0^t i_K(t) dt. \quad (3)$$

Вплив параметрів аварійного перехідного процесу на нормальні режими роботи СЕП та її елементів оцінюють таким чином. Для систем електропостачання підприємств оцінку цього впливу відображають залежності показників якості електричної енергії в електроприймачів зі складним режимом споживання енергії від рівня потужності короткого замикання:

– коефіцієнтом несинусоїдальності:

$$K_{НС} = S_{на} / S_K \leq 0,05, \quad (4)$$

пропорційний сумарній потужності перетворювальних агрегатів $S_{на}$ та обернено пропорційний потужності короткого замикання;

– коефіцієнтом зворотної послідовності:

$$K_{2U} \approx S_{HO} / S_K \leq 0,02, \quad (5)$$

пропорційний потужності однофазного навантаження S_{HO} та обернено пропорційний потужності короткого замикання;

– коливанням напруги:

$$\delta V = (\Delta P x_{pez} / r_{pez} + \Delta Q) / S_K, \quad (6)$$

пропорційні накиду потужності реактивного навантаження та обернено пропорційні потужності короткого замикання;

– коливанням частоти:

$$\Delta f \approx (\Delta P / \Delta t) / (2\pi S_K), \quad (7)$$

пропорційні швидкості накиду активної потужності у електроприймачів з різкозмінним навантаженням та обернено пропорційні потужності короткого замикання.

Вартість додаткових заходів для поліпшення необхідних характеристик перехідного процесу в СЕП оцінюють таким чином. Для системи електропостачання великих підприємств струми короткого замикання досягають на приймальних пунктах електричної енергії таких значень, що без їх обмежень не обійтися. Вирішення цього завдання вимагає додаткових капітальних вкладень.

Як бачимо, показники якості електромагнітних перехідних процесів по-різному характеризують умови функціонування системи та електроприймачів. В основі якісної оцінки всіх показників лежать струми та потужності короткого замикання. Для системи характерне протиріччя в оцінці їх рівня. З погляду зниження вартості елементів системи та поліпшення умов їх роботи рівні струмів та потужності короткого замикання бажано зменшувати, а забезпечення якості електричної енергії у електроприймачів, навпаки – підвищувати. Звідси – пошук компромісного вибору показників якості електромагнітних перехідних процесів та рівнів струму і потужності короткого замикання.

2. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Визначити значення теплового імпульсу струму короткого замикання та перевірити на можливість установки вимикача високої напруги у приєднанні силового трансформатора. Вихідні дані прийняти з таблиці 1. Технічні дані вимикачів високої напруги наведено у таблиці 2.

Таблиця 1 - Вихідні дані для виконання індивідуального завдання

Номер варіанту	Тип силового тр-ру	$U_{нвн},$ кВ	$U_{ннн},$ кВ	$I_{по},$ кА	$t_{рз},$ с	$T_a,$ с	Примітки
1	ТДН-10000/110	110	10	17,5	0,65	0,055	обрати вимикач для приєднання сторони НН (схема №1)
2	ТРДН-32000/150	150	6	11,5	1,1	0,035	обрати вимикач для приєднання сторони ВН (схема №3)
3	ТРДН-25000/110	110	6	22,7	0,55	0,05	обрати вимикач для приєднання сторони НН (схема №4)
4	ТРДН-40000/220	220	10	15	1,0	0,03	обрати вимикач для приєднання сторони ВН (схема №4)
5	ТРДН-32000/150	150	6	28,5	0,65	0,055	обрати вимикач для приєднання сторони НН (схема №3)
6	ТДН-6300/110	110	6	11,5	0,6	0,05	обрати вимикач для приєднання сторони НН (схема №1)
7	ТРДН-63000/110	110	10	32,5	0,65	0,055	обрати вимикач для приєднання сторони НН (схема №4)
8	ТРДН-63000/150	150	6	24,8	1,2	0,025	обрати вимикач для приєднання сторони ВН (схема №4)
9	ТРДН-63000/110	110	10	17,5	0,65	0,055	обрати вимикач для приєднання сторони НН (схема №2)

10	ТРДН-40000/110	110	6	28,5	0,65	0,055	обрати вимикач для приєднання сторони НН (схема №3)
----	----------------	-----	---	------	------	-------	---

Таблиця 2 - Технічні дані вимикачів високої напруги

Тип вимикача	Номинальна напруга, кВ	Найбільша робоча напруга, кВ	Номинальний струм, А	Номинальний струм вимикання, кА	Струм електродинамічної стійкості, кА	Струм термічної стійкості (за час 3 секунди), кА	Повний час вимикання не більше, с	Нормоване значення аперіодичної складової струму $I_{ном}$, %	Власний час вимикання не більше, с
вакуумні									
ВРС-10-20/630У2	10	12	630	20	52	20	0,065	40	0,035-0,05
ВРС-10-20/1000У2	10	12	1000	20	52	20	0,065	40	0,035-0,05
ВРС-10-20/1250У2	10	12	1250	20	52	20	0,065	40	0,035-0,05
ВРС-10-20/1600У2	10	12	1600	20	52	20	0,065	40	0,035-0,05
ВРС-10-31,5/630У2	10	12	630	31,5	80	31,5	0,065	35	0,035-0,05
ВРС-10-31,5/1000У2	10	12	1000	31,5	80	31,5	0,065	35	0,035-0,05
ВРС-10-31,5/1250У2	10	12	1250	31,5	80	31,5	0,065	35	0,035-0,05
ВРС-10-31,5/1600У2	10	12	1600	31,5	80	31,5	0,065	35	0,035-0,05
ВРС-10-31,5/2000У2	10	12	2000	31,5	80	31,5	0,065	35	0,035-0,05
ВРС-10-31,5/2500У2	10	12	2500	31,5	80	31,5	0,065	35	0,035-0,05
ВРС-10-31,5/3150У2	10	12	3150	31,5	80	31,5	0,065	35	0,035-0,05
ВР0-10-12,5/630У2	10	12	630	12,5	32	12,5	0,057	40	0,028-0,042
ВР0-10-12,5/1000У2	10	12	1000	12,5	32	12,5	0,057	40	0,028-0,042
ВР1-10-20/630У2	10	12	630	20	52	20	0,057	40	0,028-0,042
ВР1-10-20/1000У2	10	12	1000	20	52	20	0,057	40	0,028-0,042
ВР2-10-31,5/630У2	10	12	630	31,5	80	31,5	0,065	35	0,035-0,05
ВР2-10-31,5/1000У2	10	12	1000	31,5	80	31,5	0,065	35	0,035-0,05
ВР2-10-31,5/1600У2	10	12	1600	31,5	80	31,5	0,065	35	0,035-0,05
ВР2-10-20/1600У2	10	12	1600	20	52	20	0,065	35	0,035-0,05
ВР2-10-31,5/2000У2	10	12	2000	31,5	80	31,5	0,065	35	0,035-0,05
ВР3-10-40/2000У2	10	12	2000	40	102	40	0,065	40	0,035-0,05
ВР3-10-40/3150У2	10	12	3150	40	102	40	0,065	40	0,035-0,05
ВР3-10-40/2500Т3	11	12	2500	40	102	40	0,065	40	0,035-0,05
ЗАН5	12	12	800	20	52	20	0,05	40	0,035-0,05
	12	12	1250	20	52	20	0,05	40	0,035-0,05
ВВ/TEL-10-12,5/630У2	10	12	630	12,5	32	12,5	0,025	40	0,015
ВВ/TEL-10-12,5/1000У2	10	12	1000	12,5	32	12,5	0,025	40	0,015
ВВ/TEL-10-20/630У2	10	12	630	20	52	20	0,025	40	0,015
ВВ/TEL-10-20/1000У2	10	12	1000	20	52	20	0,025	40	0,015
ВВ/TEL-10-20/1600У2	10	12	1600	20	52	20	0,025	40	0,015
ВВ/TEL-10-31,5/1600У2	10	12	1600	31,5	80	31,5	0,025	40	0,015
ВР35НС-35-20/1600У1	35	40,5	1600	20	52	20	0,065	40	0,035-0,05
ВР35-35-20/1000У2	35	40,5	1000	20	52	20	0,065	40	0,035-0,05
ВР35-35-20/1250У2	35	40,5	1250	20	52	20	0,065	40	0,035-0,05
ВБНК-35-20/1600У1Турп	35	40,5	1600	20	52	20	0,07	40	0,05
ВБЭ-110-25/1600У2	110	126	1600	25	52	25	0,07	40	0,05
ВБЭ-110-31,5/1600У2	110	126	1600	31,5	80	31,5	0,07	40	0,05
елегазові									

LTB-145D1/B	110	126	3150	40	104	40	0,04	40	0,022
LTB-170D1/B	150	172	3150	40	104	40	0,04	40	0,022
LTB-170E1	170		4000	50	125	50	0,04	40	0,017
LTB-245E1	245		4000	50	125	50	0,04	40	0,017

Приклад

Для приєднання силового трансформатора на знижувальній трансформаторній підстанції 150/6 кВ необхідно обрати вимикач на сторону напруги 6 кВ (рис.1). На підстанції встановлено два силових трансформатори ТДН-16000/150, $I_{пнНН}=20$ кА, $t_{рз}=0,7$ с, $T_a=0,05$ с.

Розрахувати тепловий імпульс струму КЗ та перевірити обраний вимикач на термічну стійкість.

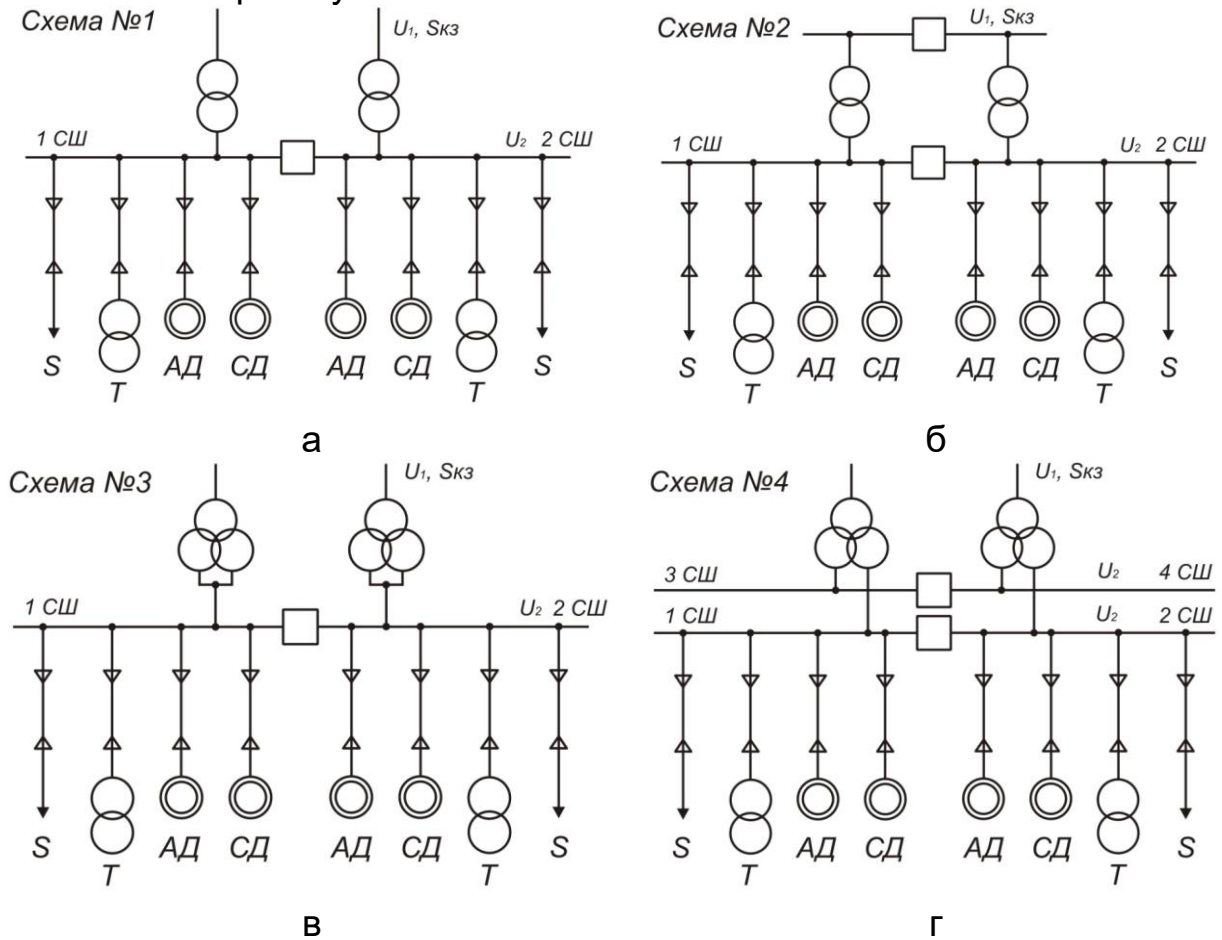


Рис. 1. Типові схеми знижувальних трансформаторних підстанцій
а – два блоки «лінія-трансформатор» з неавтоматичною перемишкою сторони ВН;
б - два блоки «лінія-трансформатор» з автоматичною перемишкою сторони ВН;
в – схема з'єднання вторинних обмоток трансформаторів ТРДН на паралельну роботу;
г – схема з трансформаторами типу ТРДН при роздільній роботі обмоток.

1. Визначаємо розрахункові струми приєднань трансформаторів:

$$I_{рнВН} = \frac{0,7 S_{шт}}{n_g \cdot \sqrt{3} \cdot U_{нВН}} = \frac{0,7 \cdot 16000}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 150} = 43,1 \text{ А},$$

де n_g – число введів;



$U_{нВН}$ – значення напруги на стороні ВН.

$$I_{рнНН} = \frac{0,7S_{нм}}{n_g \cdot \sqrt{3} \cdot U_{нНН}} = \frac{0,7 \cdot 16000}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 6} = 1079 \text{ A}.$$

Струми форсованого режиму роботи підстанції:

$$I_{рфВН} = 2I_{рнВН} = 2 \cdot 43,1 = 86,2 \text{ A}$$

$$I_{рфНН} = 2I_{рнНН} = 2 \cdot 1079 = 2158 \text{ A}$$

2. Для приєднання силового трансформатора по стороні НН обираємо вимикач ВРЗ-10-40/3150У2.
3. Перевірка на термічну стійкість необхідна для визначення можливості вимикача даної конструкції вимкнути розрахований струм КЗ:

$$B_k = I_{но}^2 (t_g + T_a) = 20^2 (0,765 + 0,05) = 326 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} - \text{тепловий імпульс струму КЗ},$$

де $I_{но}=20$ кА – періодична складова струму КЗ;

t_g – повний час вимикання струму КЗ, с;

$T_a=0,05$ с постійна часу затухання аперіодичної складової струму КЗ.

$$t_g = t_{рз} + t_{н.вим} = 0,7 + 0,065 = 0,765 \text{ с},$$

де $t_{рз}=0,7$ с – час дії РЗ;

$t_{н.вим}=0,065$ с – повний час вимикання вимикача ВРЗ.

4. Умова перевірки вимикача на термічну стійкість:

$$I_{m.c}^2 \cdot t_{m.c} \geq B_k \left(\text{кА}^2 \cdot \text{с} \right)$$

$$40^2 \cdot 3 = 4800 > 326 \left(\text{кА}^2 \cdot \text{с} \right).$$

Умова перевірки виконується, остаточно приймаємо до установки вимикач **ВРЗ-10-40/3150У2**.



РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими: за заг. ред. акад. НАН України О.В. Кириленка / Інститут електродинаміки НАН України. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. – 400 с.
2. Transients in Electric Power Supply Systems. Textbook for institutions of high education: under the editorship of G.G. Pivnyak / G.G. Pivnyak, I.V. Zhezhelenko, Y.A. Papaika; Ministry of Education and Science of Ukrainian, National Mining University – 5-th edition, revised and expanded: Translation from Ukrainian. – Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, 2016. – 382 p.
3. Півняк Г.Г., Кириленко О.В., Азюковський О.О., Папаїка Ю.А., Луценко І.М. Перехідні процеси в системах електропостачання (шосте видання) М-во освіти і науки України, НТУ «ДП». – 6-те вид., доопрац. та допов. – Дніпро, Грані, 2024. – 712 с. ISBN 978-617-7351-87-9.
4. Кириленко О.В., Півняк Г.Г., Азюковський О.О., Папаїка Ю.А., Луценко І.М. Стійкість режиму енергосистеми з розподіленою генерацією. М-во освіти і науки України, НТУ «ДП».- Дніпро: Грані, 2024, -284 с. ISBN 978-617-7351-90-9.