

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра систем електропостачання

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
дипломної роботи
магістра

спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка»

на тему «Аналіз негативних впливів провалів напруги на роботу систем електропостачання промислових підприємств»

Виконавець: _____ Перець І.Г.
(підпис)

	Прізвище та ініціали	Оцінка	Підпис
Керівник:	Проф. Рогоза М.В.		
Рецензент			
Нормоконтроль	Доц. Олішевський Г.С.		
Економічна частина	Доц. Тимошенко Л. В.		

Дніпро
2018

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри СЕП

_____ проф. С.І. Випанасенко
(підпис)

« ____ » _____ 2017 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на виконання кваліфікаційної роботи магістра
спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка»

Перця Івана Геннадійовича

*«Аналіз негативних впливів провалів напруги на роботу систем
електропостачання промислових підприємств»*

Керівник
Кваліфікаційної
роботи

проф. Рогоза М.В.

Дніпро
2018

ВСТУП

Сьогодні енергетична галузь займає важливу роль в житті кожного суспільства. Особливо це актуально для країн з перехідною економікою, в яких життєвий рівень населення залежить від рівня забезпеченості енергоресурсами.

Шкода, що теперішня ситуація в енергетиці змінюється дуже швидко і не в кращу сторону. Великий термін служби основного обладнання, триваюче падіння об'ємів промислового виробництва, низька платоспроможність вітчизняних споживачів – основні причини поганого стану в енергетиці.

Тому головними задачами в області енергетики є зниження втрат електроенергії, вирішення питання якості електричної енергії, раціональне використання існуючої енергосистеми, природних ресурсів, перехід теплових електростанцій на більш екологічно чисте паливо, удосконалення енергетичних потужностей.

Питанням якості електричної енергії останнім часом приділяється дуже велика увага.

Електрична енергія використовується у всіх сферах життєдіяльності людини, має ряд специфічних властивостей і безпосередньо бере участь в створенні інших видів продукції, впливаючи на їх якість. Кожен електроприймач призначений для роботи при певних параметрах електричної енергії: номінальних частоті, напрузі та ін., тому для нормальної його роботи повинно бути забезпечена необхідна якість електричної енергії. Таким чином, якість електричної енергії визначається співвідношенням характеристик електричної енергії, при яких електроприймачі можуть нормально працювати і виконувати закладені в них функції.

Важливість проблеми підвищення якості електричної енергії зросла разом з розвитком та широким впровадженням на підприємстві вентильних перетворювачів та різних високоефективних технологічних установок, таких як дугові сталеплавильні печі, зварювальні установки, застосування потужних

двигунів. Отже виникає парадокс: застосування нових технологій, які є економічні і технологічно ефективні, котрі покращують життя та працю людей, негативно впливають на якість електричної енергії в електричних мережах.

Все це дедалі більше спонукає до якомога глибшого вивчення та дослідження одного з найважливіших питань якості електричної енергії, яке щорічно завдає збитків вітчизняним промисловцям на значні суми, а саме дослідженню процесів провалу напруги на промислових підприємствах.

В дипломній роботі досліджуються процеси провалів напруги на промислових підприємствах, та негативні явища, що супроводжуються та являються наслідками даних процесів.

Для подальшого підвищення якості електричної енергії та мінімізації зупинок технологічного процесу, необхідно більш детально розглянути конкретні види обладнання та технологічні установки, які піддаються і є значно чутливими до провалів напруги.

1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора НГУ від "23" 2017р № 287-Л.

2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ

Об'єкт досліджень – електромагнітні процеси в мережах систем електроспоживання промислових підприємств.

Предмет досліджень – провали напруги в системах електропостачання промислових підприємств Придніпровського регіону.

Мета НДР – аналіз негативних впливів провалів напруги на систему електроспоживання підприємства; дослідження процесів самозапуску синхронних та асинхронних двигунів, які відбуваються внаслідок втрати або зниження живлячої напруги; розробка методів щодо захисту електрообладнання від провалів напруги.

Вихідні дані для проведення роботи:

- ◆ ГОСТ 13109-97 "Якість електричної енергії";
- ◆ технічні дані деяких електричних двигунів, які встановлені на ГЗК "Дніпрокаолін".

3 ОЧІКУВАНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

Наукова новизна результатів, що очікуються, полягає у:

- ◆ розробці та дослідженні методів захисту електрообладнання технологічного процесу від провалів напруги;

Практична цінність результатів полягає у:

- ◆ обґрунтуванні найбільш допустимого часу провалу напруги, під час якого процес самозапуску проходить без різкого збільшення пускового струму.

4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Результати повинні відповідати вимогам МОН України до виконання та оформлення науково-дослідницьких робіт.

5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строк и виконання робіт (початок-кінець)
1	2
Стан питання та постановка задачі дослідження.	2.10.2017 – 31.10.2017
Розробка та технічне обґрунтування методів захисту від провалів напруги	01.11.2017 – 30.11.2017
Економічна доцільність впровадження методів захисту від провалів напруги на підприємстві	01.12.2017 – 29.12.2017

6 РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Реалізація досягається шляхом впровадження нових методів, які зменшують вплив провалів напруги на промислове обладнання.

Економічний ефект від реалізації результатів роботи очікується позитивним, завдяки суттєвого зменшення економічних збитків, які визвані зупинкою технологічного процесу та недовипуском готової продукції.

Соціальний ефект від реалізації результатів роботи буде позитивним завдяки більш ефективному використанню електричної енергії, що в свою чергу призведе до раціонального використання енергоресурсів.

7 ДОДАТКОВІ ВИМОГИ

Відповідність оформлення ДСТУ 3008-95. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 47 с., 5 рис.

Об'єкт дослідження: електромагнітні процеси в електричних мережах систем електропостачання промислових підприємств Придніпровського регіону.

Мета дипломної роботи: проаналізувати негативний вплив провалів напруги на систему електропостачання підприємства, дослідити процеси самозапуску синхронних та асинхронних двигунів, які відбуваються внаслідок втрати або зниження живлячої напруги.

У вступі приведено стан проблеми якості електричної енергії на підприємстві та її негативний вплив на систему електропостачання підприємств та технологічний процес взагалі, конкретизовано завдання на дипломну роботу.

В спеціальній частині досліджено явище провалів напруги, їх сутність, основні параметри та вплив на систему електропостачання; розроблені та досліджені методи захисту промислового обладнання від короткочасних порушень нормального електропостачання, пов'язаного з провалами напруги у вузлі навантаження, до якого входять асинхронні двигуни.

Наукова новизна полягає в тому, що дану методику можливо застосувати до будь-якого діючого підприємства чи того, що проектується.

Практичне значення отриманих результатів в даній роботі полягає в тому, що вони можуть бути використані на підприємстві. Також по отриманій методиці можливо буде вести розрахунок і для інших підприємств для отримання максимального економічного ефекту. Розроблена методика може бути застосована для підприємства різних галузей з випуску продукції.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ, ПРОВАЛ НАПРУГИ,
ГЛИБИНА ПРОВАЛУ НАПРУГИ, СИНХРОННИЙ ДВИГУН,
АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ, ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧ.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
1.1 Сутність провалів напруги	9
1.2 Основні параметри провалів напруги	12
1.3 Вплив провалів напруги на систему електропостачання підприємств	14
1.3.1 Вплив провалів напруги на електродвигуни при однофазних КЗ	16
1.3.2 Вплив на електродвигуни багатофазних КЗ	21
1.3.3 Вплив на технологічний процес	21
1.4 Причини виникнення та нормування провалів напруги	23
2 РОЗРОБКА ТА ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ЗАХИСТУ ВІД ПРОВАЛІВ НАПРУГИ	26
2.1 Обґрунтування необхідності захисту від провалів напруги	26
2.2 Відновлення електропостачання за допомогою пристрою динамічного відновлення напруги	28
2.3 Використання сучасних швидкодіючих АВР (ШАВР) з мікропроцесорним пусковим пристроєм	33
3 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЗАХИСТУ ВІД ПРОВАЛІВ НАПРУГИ НА ПІДПРИЄМСТВІ	36
ВИСНОВКИ	43
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОПИС	44
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА.....	46

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Сутність провалів напруги

Зниження напруги в електричній мережі є негативним явищем, яке призводить до збільшення втрат електроенергії, зростання споживання реактивної потужності, зменшення продуктивності приймачів електроенергії. Тривале зниження не є дуже небезпечним, оскільки сучасні пристрої регулювання дають змогу ефективно відновити рівень напруги до необхідного за потрібний проміжок часу і, отже, ліквідувати створені цим відхиленням негативні наслідки. Набагато не безпечнішим є різке зниження діючого значення напруги, що може негативно вплинути на роботу чутливих приймачів і спричинити помилки в їх функціонуванні, а інколи навіть і зупинення. Під час проектування і експлуатації електричних мереж необхідно звертати увагу на явище провалу напруги, яке є важливим для визначення рівня якості електропостачання споживачів, і може бути причиною значних економічних втрат і збитків у промисловому виробництві і комерції. Негативні наслідки провалів напруги змушують споживачів, електропостачальників і науковців звертати увагу на цю проблему. Тривалі дослідження, розрахунки та спостереження дали змогу зрозуміти суть проблеми і впливати на причини виникнення провалів напруги. В нашій країні явищам провалів напруги не приділено достатньої уваги, хоча проблема, безперечно, існує і потребує ретельного вивчення.

Зростання точності технологій виробництва, поширення використання в промисловості процесорів, комп'ютерів, сенсорів, керованих приводів, пристроїв робототехніки висуває проблему провалів напруги, як одну з найважливіших та першочергових для вирішення, і вимагає встановлення

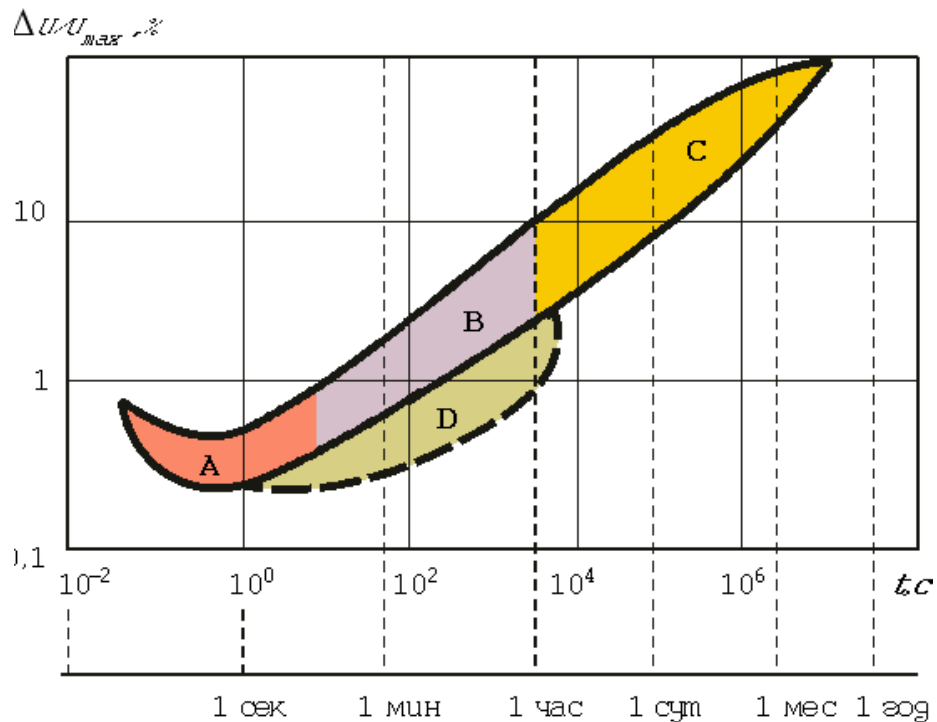
ітких і обґрунтованих показників якості щодо провалів напруги, розроблення відповідних методів їх розрахунку та засобів нормалізації. Вирішення цих питань дає змогу розмежувати вимоги до електропостачальних компаній, споживачів і виробників електротехнічних пристроїв.

Під час провалу напруги необхідна енергія не подається до електроприймача і наслідки цього можуть бути досить негативними залежно від призначення та характеру цього електроприймача. Провали напруги негативно впливають на роботу під'єднаних до мережі електроприймачів, які можуть мати різні рівні чутливості до них. Якщо амплітуда під час провалу напруги є нижчою від деякого критичного для певного електроприймача значення, то це, як правило, спричиняє порушення умов його нормального функціонування. Так, зменшення напруги на величину 25% від номінального протягом 0,1 с сприймається зором як блимання світла, однак, такий провал напруги може зумовити ланцюгову реакцію помилок і порушень в роботі виробничого обладнання, а часто і його зупинення, що може призвести до значних матеріальних втрат внаслідок браку виготовленої продукції, зупинення виробництва, зниження продуктивності, заміни пошкодженого обладнання та додаткових втрат під час відновлення виробництва. Провали напруги незначно впливають на роботу ламп розжарювання, але можуть спричинити порушення роботи електричних двигунів та електронних пристроїв. Особливо чутливими до провалів є пристрої автоматики, системи захисту, контролери параметрів та мікропроцесори.

Сприйнятливість електроприймачів до короткочасних випадкових перешкод визначається їхньою інерційністю, тобто часом, протягом якого вони здатні зберегти енергію електромагнітного або електростатичного поля, що запаслась. Тому електроприймачі, що мають індуктивний або ємнісний характер споживання електроенергії, менш чутливі до таких перешкод на відміну від безінерційних, наприклад мікропроцесорного обладнання.

На рис.1.1 показані можливі припустимі зміни напруги і їх тривалість для

різних категорій систем електропостачання й, отже, характерних для цих систем електроприймачів. Як бачимо із цього малюнка, у системах електропостачання (область D), що харчують особливо чутливі електроприймачі, припустимі зміни напруги не повинні перевищувати 5-6% від номінального при тривалості не більш 104 с.



*A – промислові мережі, B – міські мережі, C – сільські мережі,
D – мережі з підвищеною стабілізацією напруги*

Рисунок 1.1 – Відношення допустимого зниження напруги та тривалості зниження

Сприйнятливість такого обладнання, як верстати та прокатні стани проявляється через чутливість до перешкод не приводів, а їх мікропроцесорних систем керування. При роботі таких систем можуть бути критичними різкі зміни напруги, які повторюються, розмахом 1,5-2% із частотою 3-5 Гц або періодичністю 0,2 - 0,4 с. Завадостійкість цього встаткування стосовно окремих провалів становить по глибині 10%.

1.2 Основні параметри провалів напруги

Одним з багатьох показників якості електроенергії, перерахованих у ГОСТ 13109-97 "Норми якості електроенергії в системах електропостачання загального призначення", є "провал напруги", який фахівцями традиційно прийнято називати "посадкою напруги".

ГОСТ 13109-97 дає наступну характеристику провалу напруги: "провал напруги – раптове зниження напруги в точці електричної мережі нижче $0,9U_{ном}$, за яким відбувається відновлення напруги до первісного або близького до нього рівня через проміжок часу від десяти мілісекунд до декількох десятків секунд".

Провал напруги характеризується наступними показниками:

- глибина;
- амплітуда;
- тривалість;
- інтенсивність.

Далі більш докладніше розглянемо кожен із цих параметрів провалу напруги:

- глибина провалів напруги, яку визначають за найменшим значенням напруги під час її провалу,

$$\delta U_{II} = \frac{U_{ном} - U_{мін}}{U_{ном}} \cdot 100\%, \quad (1.1)$$

- амплітуда провалу, яка є відносним найменшим значенням напруги під час її провалу,

$$U_{II} = \frac{U_{мін}}{U_{ном}} \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

- тривалість провалу, яку визначають як час від моменту зменшення

напруги нижче від 90% до моменту, коли під час відновлення вона стає більшою від цього значення,

$$\Delta t_{\Pi} = t_{\Pi} - t_{K}, \quad (1.3)$$

- інтенсивність провалів, яку визначають щодо сумарної кількості провалів напруги M для зазначеної кількості провалів m з глибиною δU_{Π} і Δt_{Π} тривалістю за період T ,

$$F_{\Pi} = \frac{m(\delta U_{\Pi}, \Delta t_{\Pi})}{M} \cdot 100\%. \quad (1.4)$$

Основні характеристики провалів напруги відображено на рис.1.2

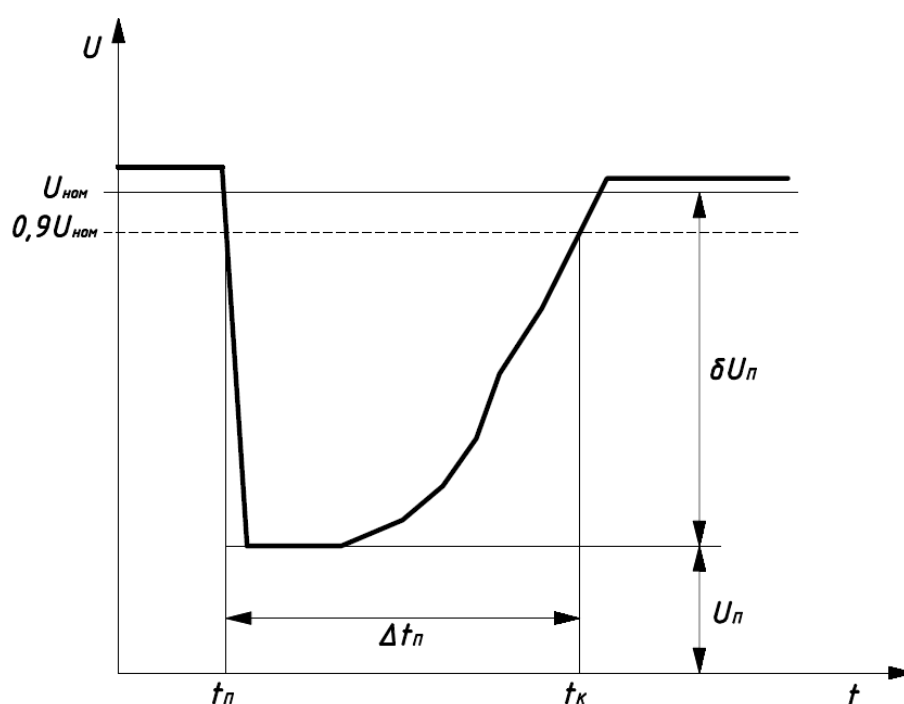


Рисунок 1.2 – Зміна напруги під час провалу

Із цих показників ГОСТ нормує тільки один - тривалість провалу напруги. гранично припустиме значення якої в електричних мережах напругою до 20 кВ не повинне перевищувати 30 с.

Інші показники провалів напруги не нормуються. У ГОСТ наведені лише довідкові статистичні дані по провалах напруги, що ставляться в основному до вітчизняних великих міських електричних мереж 6-10 кВ. Аналізуючи дані можна помітити, що у вітчизняних кабельних та кабельно-повітряних мережах

переважають провали напруги глибиною від 35 до 99% і тривалістю 1,5-3,0 с. Причому кожний споживач, що одержує електроенергію від кабельних мереж випробовує до 10 провалів у рік, а від кабельно-повітряних – до 25-30.

Наведені статистичні дані не можуть бути прямо перенесені на промислові підприємства без певних виправлень. На сучасних промислових підприємствах широко застосовуються схеми глибокого введення високої напруги в центри навантажень, при цьому щільність навантаження на промислових підприємствах набагато вище, чим у містах. Це обумовлює відносно меншу довжину кабельної мережі 6-10 кВ на промпідприємствах проти довжини в міських кабельних мережах. Цим пояснюється більший вплив на споживачів промпідприємств процесів, що відбуваються в мережах високої напруги, тобто 110 кВ.

1.3 Вплив провалів напруги на систему електропостачання підприємств

Провали напруги у вузлах навантаження можуть спричинити порушення стійкості роботи асинхронних та синхронних двигунів. Зокрема під час тривалих провалів напруги тривалістю декілька секунд, коли зниження напруги є значним, можливе "перекидання" (гальмування) асинхронних двигунів, а для синхронних двигунів можливе випадання із синхронізму.

Електромагнітний момент, який розвиває асинхронний двигун, залежить від квадрата напруги на його затискачах. Усталений режим роботи двигуна характеризується балансом між електромагнітним моментом двигуна $M_{ЕЛ}$ та моментом опору навантаження $M_{МЕХ}$. Останній, залежно від типу робочих механізмів, має різні залежності від швидкості обертання. Розрізняють три основні типи механічних характеристик промислових механізмів, зовнішній вигляд яких залежить від сили опору руху. Для характеристик першого типу моменту опору механізму не залежить від швидкості ($M_{МЕХ} = const$). Таку особливість мають сили гравітації, сили пружної деформації.

Характеристику другого типу мають відцентрові вентилятори, компресори. Момент навантаження в цьому випадку пропорційний до квадрату швидкості, а сама характеристика називається вентиляторною. Характеристика третього типу має обернено пропорційну залежність моменту опору від швидкості й властива для механізмів головного руху токарних, фрезерних, свердлильних верстатів намотувальних і розмотувальних пристроїв прокатних станів.

З виникненням провалу напруги різко знижується електромагнітний момент асинхронного двигуна внаслідок зниження діючого значення прикладеної напруги. У результаті, момент двигуна стає меншим від моменту опору механізму навантаження і ротор починає гальмуватися. Якщо тривалість провалу напруги перевищує час, за якого ковзання зростає до значень більших від критичного ковзання, то після вимкнення к.з. це може спричинити повне гальмування ротора. Тому провали напруги негативно впливають не тільки на системи керування, але й на самі двигуни, будучи причиною порушення їх нормальної роботи і навіть повного зупинення. Двигуни, як правило, на короткочасні провали напруги практично не реагують. Проте тривалі провали можуть нести в собі чималу небезпеку і за певних умов спричинити порушення стійкості роботи двигунів.

Провали напруги також впливають на зменшення електромагнітного моменту синхронних двигунів, оскільки він прямо пропорційно залежить від напруги на затискачах двигуна. Внаслідок цього відбувається зменшення швидкості обертання ротора і починається його гальмування, що може призвести до випадання з синхронізму синхронного двигуна. Однак для таких двигунів значний вплив на величину електромагнітного моменту має величина струму збудження.

Провали напруги можуть призвести до втрати даних в пристроях оброблення інформації, що дуже знижує їх загальну ефективність. Саме широке використання комп'ютерної техніки внаслідок її великої чутливості і загострило проблему провалів напруги, оскільки навіть дуже короткочасні зниження її

ціючого значення можуть викликати помилки у роботі пристроїв оброблення та зберігання даних. Крім цього втрата важливих даних може також вплинути на перебіг виробничого процесу. Це стосується програмних контролерів, оскільки дуже часто великі й відповідальні технологічні процеси контролюються такими пристроями. Чутливість різних пристроїв оброблення інформації є різною, проте як правило, високою, зокрема і до короткотривалих провалів напруги.

Дуже чутливими до провалів напруги є різноманітні сенсори та вимірювачі, які можуть хибно спрацьовувати під час провалу і зумовити порушення або навіть зупинення в роботі пристроїв, для яких вони призначені.

Провали напруги несуть також небезпеку для електромагнітних реле та контакторів і можуть бути причиною вимкнення контролюваного кола у той час, коли всі інші елементи кола стійко його переносять. Чутливість реле та контакторів до провалів напруги може бути визначальною тоді, коли всі інші елементи технологічної системи мають нижчу чутливість до провалів напруги, що може спричинити порушення в роботі систем живлення чи керування процесами.

Люмінесцентні лампи також деякою мірою є чутливими до провалів напруги, оскільки розігрітій лампі необхідне більше значення стартового розряду, ніж холодній, тому лампа, яка згасла, внаслідок провалу напруги повторно може і не ввімкнутися.

Різне обладнання має різну чутливість до провалів напруги, проте напевно можна стверджувати, що багато споживачів, і в деяких випадках дуже відповідальних, насичено різноманітними, чутливими до провалів напруги пристроями, що, як свідчить досвід, робить проблему провалів напруги однією з основних в завданні забезпечення якості електроенергії.

1.3.1 Вплив провалів напруги на електродвигуни при однофазних КЗ

а) високовольтні електродвигуни

Основними споживачами електроенергії на промислових підприємствах, за

винятком таких специфічних виробництв, як електроліз і металургія, є синхронні й асинхронні електродвигуни. При проведенні аналізу впливу провалів напруги на роботу електродвигунів необхідно насамперед звернути увагу на складові прямої і зворотної послідовності напруги, що діє в момент провалу напруги, оскільки вони визначають обертаючий момент електродвигунів.

Характеристика обертаючого моменту асинхронних електродвигунів (АД) при номінальній напрузі $M = f(s)$ зміщується в бік зменшення моменту пропорційно квадрату напруги прямої послідовності (рис. 1.3), і крім того, з'являється додатковий гальмовий момент від складової напруги зворотної послідовності.

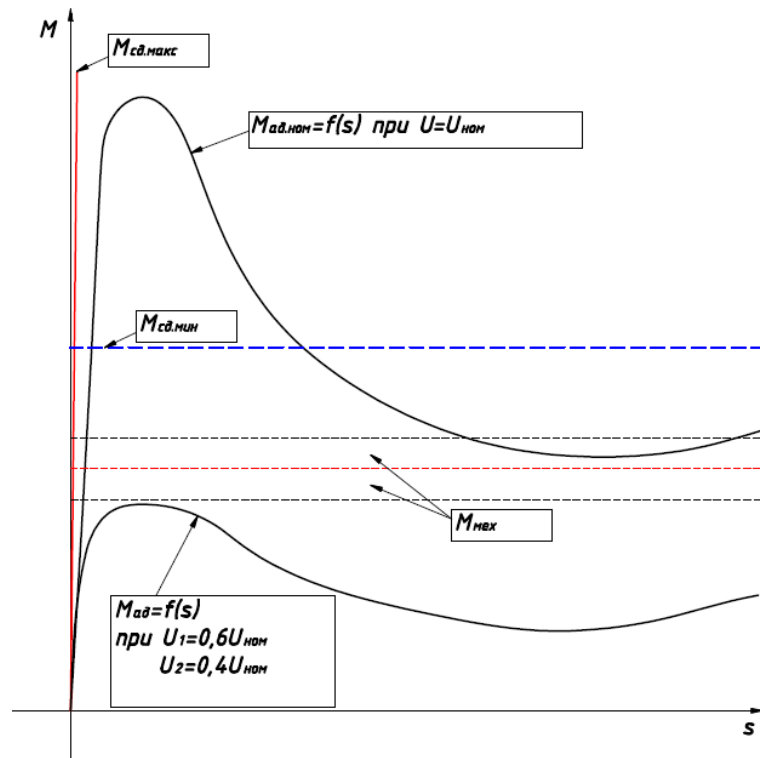


Рисунок 1.3– Моменти асинхронного і синхронного двигунів

$$M_{ад,рез} = M_{ном}(f(s)) \cdot U_1^2 - M_{ном}(f(2-s)) \cdot U_2^2, \quad (1.5)$$

де $M_{ном}(f(s))$ - момент АД по пусковій характеристиці при номінальній напрузі;

$M_{ном}(f(2-s))$ - гальмівний момент від складової напруги зворотної послідовності;

$U_1; U_2$ - напруги відповідно прямій і зворотної послідовностей.

Результуючий обертовий момент АД при значеннях $U_1 = 0,60U_{ном}$ і $U_2 = 0,40U_{ном}$ може виявитися рівним або менше моменту опору механізму. Однак для високовольтних АД це не становить небезпеки, тому що близькі до шин 110 кВ джерела живлення КЗ, як правило, відключаються першим рівнем релейного захисту нульової послідовності ліній 110 кВ за час 0,25-0,30 с. Зниження швидкості обертання АД при цьому практично не відбувається (виключення можуть становити тільки дуже завантажені електродвигуни поршневих компресорів). При більш віддалених КЗ час дії захисту збільшується, але зате зменшується глибина провалів напруги й збільшується залишкова напруга, так що в цілому робота АД не порушується.

Обертаючий момент синхронних електродвигунів (СД) в момент провалу напруги меншою мірою залежить від напруги мережі.

$$M_{сд.рез} = M_{макс} \cdot U_1 - M_{ном}(f(2-s)) \cdot U_2^2, \quad (1.6)$$

де $M_{макс}$ - максимальний обертаючий синхронний момент СД при номінальній напрузі ($M_{макс} = 2,0 - 2,5 \cdot M_{ном}$);

$M_{ном}(f(2-s))$ - гальмівний момент СД від складової напруги зворотної послідовності.

Результуючий обертовий момент СД при однофазних КЗ в мережі 110 кВ, як правило, виявляється достатнім для збереження їх стійкої роботи.

б) низьковольтні електродвигуни

У низьковольтних мережах синхронні електродвигуни застосовуються досить рідко, основну масу там становлять асинхронні електродвигуни. Але головна відмінність полягає в тому, що асинхронні електродвигуни в цих мережах керуються, як правило, за допомогою контакторів і магнітних

пускатчів, що мають властивість мимовільно відключатися ("відпадати") при зниженні напруги на котушці, що втягує.

Напруга відпадиння контакторів і пускатчів чітко не регламентується. Вона залежить від конструктивних особливостей цих апаратів, від стану магнітної системи, від регулювання контактної системи, натягу пружин і міняється в досить широких межах 0,35-0,60 від номінального. Згідно п. 5.3.38 ПУЕ котушки керування контакторами й магнітними пускатчами можуть включатися як на фазне, так і на лінійну напругу.

За трансформаторами 6-10/0,4 кВ зі схемами й групами з'єднання обмоток Y/Y-12 при однофазних КЗ у мережі 110 кВ можуть відключитися низьковольтні електродвигуни, котушки керування яких включені на лінійну напругу, оскільки в одній з фаз воно знижується до $0,2U_{ном}$.

Що стосується фазних напруг у мережі 0,4 кВ за такими трансформаторами, таке їх мінімальні значення становлять $0,53U_{ном}$, а це значить, що шляхом відповідного регулювання магнітних пускатчів (контакторів) можна домогтися того, що при такому рівні напруги вони відпадати не будуть.

Зворотна картина спостерігається в низьковольтній мережі, що харчується від трансформаторів 6-10 кВ зі схемами й групами з'єднання обмоток $\Delta/Y-11$. У цьому випадку мінімальним виявляється фазна напруга. При цьому мінімальні значення лінійних напруг становлять $0,53U_{ном}$. Очевидно, що в цих випадках котушки керування пускатчів і контакторів доцільно підключати на лінійні напруги. Необхідно звернути увагу, що в цей час по цілком обґрунтованих причинах силові трансформатори 6-10/0,4 кВ потужністю 630-2500 кВа випускаються в основному саме зі схемами й групами з'єднання обмоток $\Delta/Y-11$, у той час як котушки керування магнітними пускатчами й контакторами, як правило, включаються на фазні напруги (зазвичай використовується фаза "А").

У цьому випадку при однофазному КЗ фази "В" у мережі 110 кВ може

відключитися до 50% усіх низьковольтних електродвигунів, підключених через трансформатори зі схемами з'єднання обмоток $\Delta / Y-11$, а якщо шини 110 кВ районної підстанції працюють паралельно, що буває досить часто, то можуть відключитися одночасно всі низьковольтні електродвигуни (слід прийняти до уваги, що час відпадиння магнітних пускачів вимірюється сотими долями секунди, а час відключення навіть близьких однофазного КЗ на порядок більше). Оскільки з віддаленням точки однофазного КЗ залишкова напруга на шинах джерела живлення збільшується, становить інтерес питання про те, при якому віддаленні воно не буде викликати "відпадиння" магнітних пускачів і контакторів.

Якщо допустити, що контактори й пускачі відрегульовані так, що напруга в момент відпадиння становить $U < U_{ном}$, то така відстань для одноланцюгової ВЛ зі сталевим заземлюючим тросом складе близько 15-20 км. Це вже серйозно, особливо для виробництв із так званими "безперервними технологічними процесами".

З урахуванням висловлених міркувань слід координувати питання вибору фази установки короткозамикачів 110 кВ, для існуючих об'єктів, і фази підключення котушок керування магнітними пускачами (контакторами).

Подальша поведінка електродвигунів, що відключилися, залежить від схеми керування. Якщо схемою керування передбачений самозапуск електродвигунів, то після відключення однофазного КЗ і відновлення напруги такі пускачі й контактори знову підтягнуться. Однак слід зазначити, що умови повторного включення для більшості електродвигунів будуть несприятливими. Це пояснюється тим, що, за час відсутності напруги на електродвигуні протягом 0,25-0,30 с, обумовлене дією 1-го ступеню "землюючого" захисту лінії 110 кВ, вектори залишкової ЕРС електродвигунів виявляться в протифазі з вектором напруги мережі. У результаті в момент відновлення живлення електродвигунів виникне великий поштовх струму, що може викликати спрацьовування електромагнітних роз'єднувачів захисних

автоматів і остаточне відключення електродвигунів.

1.3.2 Вплив на електродвигуни багатофазних КЗ

Вище був розглянутий вплив на електроустаткування однофазних-, що найбільш часто відбуваються в мережі 110 кВ - КЗ. Про вплив багатофазних КЗ - двофазних, трифазних, двофазних на землю, можна сказати наступне. При виникненні цих видів КЗ глибина провалів напруги виявляється значно більше й поведінка високовольтних електродвигунів багато в чому залежить від налаштування захистів у мережі 110 кВ. Якщо захисту ліній 110 кВ виконані відповідно до вказівок п. 3.2.108 ПУЭ, тобто всі ушкодження, що супроводжуються зниженням напруги на шинах джерела живлення нижче $0,65U_{ном}$, відключаються без витримки часу (при цьому тривалість провалу напруги становить 0,20-0,25 с), то високовольтні синхронні й асинхронні електродвигуни, як правило, залишаються в роботі. Це пов'язане з тим, що захист мінімальної напруги високовольтних електродвигунів виконується з витримкою часу не менш 0,5 з і тому спрацювати не встигає.

Якщо ж захист ліній 110 кВ не має необхідну швидкодію при глибоких провалах напруги, то синхронні електродвигуни, як правило, виходять із синхронізму й для них ресинхронізації необхідно вживати спеціальних заходів.

Що стосується низьковольтних асинхронних електродвигунів, то при глибоких багатофазних провалах напруги, незалежно від їхньої тривалості, контактори й пускачі встигають відпадати й електродвигуни відключаються.

1.3.3 Вплив на технологічний процес

Вплив провалів напруги на хід технологічного процесу багато в чому залежить від його характеру. Особливо відчутний вплив провали напруги виявляють на так звані "безперервні технологічні процеси" у хімії, нафтохімії,

нафтопереробці і т.п. галузях. У відмінність, наприклад, від конвеєра механоскладального виробництва, який можна зупинити й запустити знову, такі технологічні процеси для зупинки й повторного пуску вимагають тривалого часу - від декількох годин до декількох доби при строгому дотриманні технологічного регламенту.

Складний технологічний ланцюг випуску продукції на таких виробництвах звичайно включає безліч апаратів, у кожному з яких хімічні реакції відбуваються при строго певних значеннях температури, тиску, при певних об'ємних або вагових співвідношеннях реагентів, що беруть участь.

Підтримка сталості цих величин забезпечується насосами, компресорами, колодильниками, термостатами, мішалками, регульованими засувками й ін. механізмами, що приводяться в обертання електродвигунами. У деяких випадках досить одному з таких механізмів зупинитися або навіть знизити свою продуктивність або тиск, як параметри технологічного процесу перевищать критичні значення й він буде зупинений системою протиаварійної автоматики. Виникаючий при цьому збиток у найкращому разі виражається в нестачі частини продукції, а в гіршому - потрібна повна зупинка технологічного процесу, видалення всіх компонентів, продувка всієї системи інертним газом і налагодження технологічного процесу "з нуля". У таких випадках збиток складається:

- вартості реагентів, сировини, каталізаторів, витрачених за час зупинки й налагодження технологічного процесу, що вимірюється залежно від конкретного випадку, від години, до декількох діб;
- експлуатаційних витрат за зазначений час (зарплата обслуговуючого персоналу, витрата електроенергії, палива, мастильних і ін. матеріалів);
- збільшення витрат на амортизацію виробничих фондів.

В окремих випадках враховується також вартість недовипущеної продукції. Крім того, якщо викид непрореагованих матеріалів завдає

екологічної шкоди, те повинні бути враховані витрати на ліквідацію всіх можливих наслідків.

Збиток від раптових провалів напруги виникає не тільки на виробництвах з безперервними технологічними процесами. Так, при деяких операціях по обробці металу, у випадку раптового припинення подачі електроенергії, може поламатися дорогий металообробний інструмент (наприклад, різці), якщо не передбачити їхній автоматичний відвід від оброблюваної деталі.

1.4 Причини виникнення та нормування провалів напруги

Провали напруги, як будь-які зниження напруги, виникають внаслідок одного з двох явищ в електричних мережах – швидкого зростання струм в певній її частині чи раптового збільшення імпедансу системи. Тому основними причинами виникнення провалів напруги є короткочасні замикання, ввімкнення потужного навантаження, а також помилки в роботі засобів регулювання напруги.

Коротке замикання зумовлює різке та значне за величиною зростання струму в електричній мережі, а також спричиняє збільшення імпедансу системи після його ліквідації внаслідок вимкнення елементів (ліній, трансформаторів), що в результаті спричиняє зниження напруги. Глибина провалу залежить від природи к.з. (металічне чи дугове), його віддаленості, конфігурації мережі, відносної величини імпедансу на проблемній ділянці, величини навантаження, місця вимкнення вимикача, і, отже, визначає потенційну небезпеку впливу на чутливий виробничий процес.

Провали напруги виникають також на затискачах споживачів під час к.з. на живильних повітряних лініях, коли к.з. є нестійким і лінія після вимкнення вмикається роботою пристроїв автоматичного повторного ввімкнення (АПВ), а також під час коротких замикань із вимкненням від основного живлення та спрацюванням автоматичного ввімкнення резерву (АВР).

Глибина провалу знижується з віддаленням від точки к.з. і наближенням до джерела живлення. Однак не можна говорити, що з віддаленням від точки к.з. глибина провалу поширюється пропорційно до відстані, оскільки багато мереж мають складнозамкнений характер.

Тривалість провалу напруги залежить від часу спрацювання пристроїв релейного захисту та автоматики. Однак, якщо пошкодження відбулося на повітряній лінії, яка живить певних споживачів, то після її вимкнення захистом повинно здійснюватись АПВ. Тому від моменту вимкнення к.з. до моменту спрацювання АПВ провал напруги на затискачах даних споживачів продовжується і здебільшого має важчі наслідки, ніж під час к.з. (амплітуда провалу напруги за час затримки АПВ, подібно як АВР, дорівнює нулю). Проте відсутність таких пристроїв призводила б до втрати живлення зі ще важчими наслідками. Тому використання пристроїв АПВ та АВР є необхідними для забезпечення безперервності електропостачання, хоча може і погіршувати ситуацію з огляду на провали напруги. Багато електропостачальних компаній згідно з угодами про зменшення кількості та тривалості втрат живлення активно впроваджують пристрої АПВ в мережі, але разом з цим збільшується кількість та погіршуються показники провалів напруги, тобто зниження сумарного статистичного часу перерв подавання електроенергії здійснюється за рахунок її якості. Тому, робота пристроїв АПВ та АВР потрібно налагоджувати з врахуванням явищ провалів напруги та їх наслідків.

Знаючи природу та основні причини провалів напруги, можна стверджувати, що імовірність виникнення провалу напруги на затискачах споживача є значно вищою, ніж втрата живлення, оскільки після вимкнення к.з. без живлення залишаються лише споживачі за вимикачем фідера, на якому сталося пошкодження, а під час к.з. провал напруги відчувають усі споживачі мережі. Така властивість є характерною для будь-якої електричної мережі, і тому вона тільки стверджує необхідність вирішення проблеми провалів

напруги в мережах всіх класів напруг.

У загальному випадку обладнання може без порушень роботи переносити глибокі, але нетривалі провали напруги, або довгі з незначним зниженням напруги. Проте така тенденція зберігається не завжди, оскільки різні типи обладнання мають не однакову чутливість до провалів напруги різної глибини та тривалості. Внаслідок спостережень і досліджень різних типів електричного обладнання встановлено відповідні значення амплітуди й тривалості провалів, за яких виникають порушення його роботи або воно взагалі перестає працювати. Низка народних норм стандартизують ці значення для окремих видів обладнання, наприклад, для напівпровідникової продукції, процесорів, і на цій основі опрацьовано залежність гранично-допустимих характеристик провалів напруги, які зображають у вигляді відповідних кривих та графіків. До таких стандартів належать СВЕМА, ІТІТС, SEMI F47, EPRI DPQ. Цих стандартів нині дотримуються виробники електротехнічних та електронних пристроїв для забезпечення відповідного рівня їх стійкості до найпоширеніших за своїми характеристиками провалів напруги, причому на обладнанні потрібно вказувати, згідно з яким стандартом стійкості воно виготовлене та випробуване.

У нашій країні проблемі провалів напруги нині приділяється недостатньо уваги, хоча їх негативні наслідки зростають і за таких умов будуть і надалі зростати. Чинним стандартом з якості електроенергії нормується лише тривалість, хоча як додаткові показники визначається глибина та інтенсивність провалу напруги. Тому необхідність інтенсифікувати роботу з впровадження нових стандартів на основі досвіду опрацювання міжнародних норм з врахуванням власних особливостей.

2 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЗАХИСТУ ВІД ПРОВАЛІВ НАПРУГИ

2.1 Обґрунтування необхідності захисту від провалів напруги

Надійність електропостачання споживачів визначається, в основному, збереженням можливості функціонування після короткочасного порушення нормального електропостачання (КПНЕ), причому захист від їхніх наслідків покладає на самих споживачів. Перелічимо головні причини КПНЕ.

- Зовнішні (що не знаходяться в мережі живлення споживачів) короткі замикання, після яких відновлюється нормальне електропостачання. Однак під час КЗ у системі електропостачання виникають провали напруги, які можуть згубно вплинути на функціонування споживачів після відновлення електропостачання. На частку таких КЗ припадає близько 90% загального числа КПНЕ, тому в першу чергу необхідно забезпечити захист саме від їхніх наслідків.
- Короткі замикання в мережі живлення споживачів, після відключення яких, як правило, потрібне введення резервного живлення (АВР). Тому тривалість КПНЕ суттєво більше, чим при зовнішніх КЗ. Їхня частка становить 7-8% від загального числа КПНЕ.
- Несанкціоновані відключення в ланцюзі електроживлення, причинами яких є робота технологічних захистів (наприклад від зниження рівня масла), людський фактор і ін. Після такого

порушення електропостачання також потрібно АВР. Виявлення порушень є складним завданням для споживачів, оскільки напруга на вводах зберігається тривалий час за рахунок навантаження електродвигунів. Частка таких КПНЕ становить 2-3% від загального числа.

Електроприймачі по можливості збереження їх функціональних можливостей після КПНЕ можна класифікувати в такий спосіб.

I. Високовольтні (6, 10 кВ) електричні двигуни. Їхнє функціонування (обертання механізму в діапазоні нормальних швидкостей при необхідних моментах на валу) погіршується через порушення швидкісного режиму, викликаного неможливістю передавати механізму необхідну потужність. Під час КПНЕ двигуни гальмуються. А після відновлення нормального електропостачання можуть споживати з мережі струми, в основному - за рахунок реактивної складової. Збільшення споживання реактивної потужності з мережі приводить до зниження напруги на двигунах, яке також може служити причиною порушення їх роботи. Режим після КПНЕ називається самозапуском електродвигунів. Дослідження показують, що успішний самозапуск можливий лише при долі сумарної номінальної потужності двигунів 0,2-0,3 від потужності живлячого трансформатора, у той час як сумарна потужність навантаження електродвигунів може бути порівнянна з потужністю трансформатора.

II. Низьковольтні (380 В) електричні двигуни. Більшість із них - асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, у яких немає особливих проблем із самозапуском. Однак ці двигуни підключаються до мережі магнітними пускачами, які втримуються у включеному стані електромагнітами, підключеними до силової мережі. Тому при провалах напруги в період КПНЕ відбувається масове відключення електричних двигунів, що може служити причиною збоїв виробництва.

III. Обладнання керування елементами електротехнічних систем

(наприклад, частотними перетворювачами) і технологічних процесів виробництва. Основне живлення вони одержують від технологічної мережі, причому припустима тривалість перерви в електропостачанні становить менш 0,01 с. Тому будь-який провал напруги викликає порушення функціонування систем керування, що в остаточному підсумку приводить до порушення технологічних процесів.

Розглянемо сучасні методи й засоби для вирішення перерахованих проблем.

2.2 Відновлення електропостачання за допомогою пристрою динамічного відновлення напруги

Короткочасні провали напруги в розподільних високовольтних мережах викликають зупинку технологічних ліній і машин високотехнологічних безперервних виробництв, до яких відносяться металургійні підприємства. Для обмеження частини цих провалів при мережних аваріях доцільно використовувати обладнання динамічного відновлення напруги (ДВН). При раптовій посадці напруги у вузлах системи обладнання ДВН здатні компенсувати її та відновити напруга до номінального рівня. Існуючі обладнання захисту промислових виробництв від провалів напруги, основою яких служать конденсаторні установки й статичні тиристорні компенсатори, управляють напругою тільки побічно - шляхом зміни повного опору, тобто імпедансу системи. Розвиток короткочасних перерв в електропостачанні в основному обумовлене недосконалими способами забезпечення приймачів електроенергією і їх резервування. Для обмеження провалів напруги, викликаних КЗ і неприпустимими накидами потужності на шинах внутрішньозаводських підстанцій, слід здійснювати комбіновану заборону на автоматичне включення резерву (АВР). Це дозволяє виключити небезпеку поширення аварій на неушкоджені ділянки систем електропостачання.

За допомогою обладнань ДВН можливе забезпечення ефективного захисту приймачів від перерв живлення в аварійних вузлах мережі на період усунення порушень. Принцип їх роботи заснований на впровадженні додаткової напруги, яка регулюється за допомогою тиристорного перетворювача (ТП) із примусовою комутацією. Його включають послідовно з навантаженням системи шин через вольтодобавочний трансформатор Т (рис. 2.1). Можливість керування амплітудною фазною напругою дозволяє компенсувати провали напруги на стороні навантаження за рахунок еквівалентної напруги ТП незалежно від виду динамічного порушення за умови збереження електропостачання приймачів від енергосистеми або від власної електростанції підприємства.

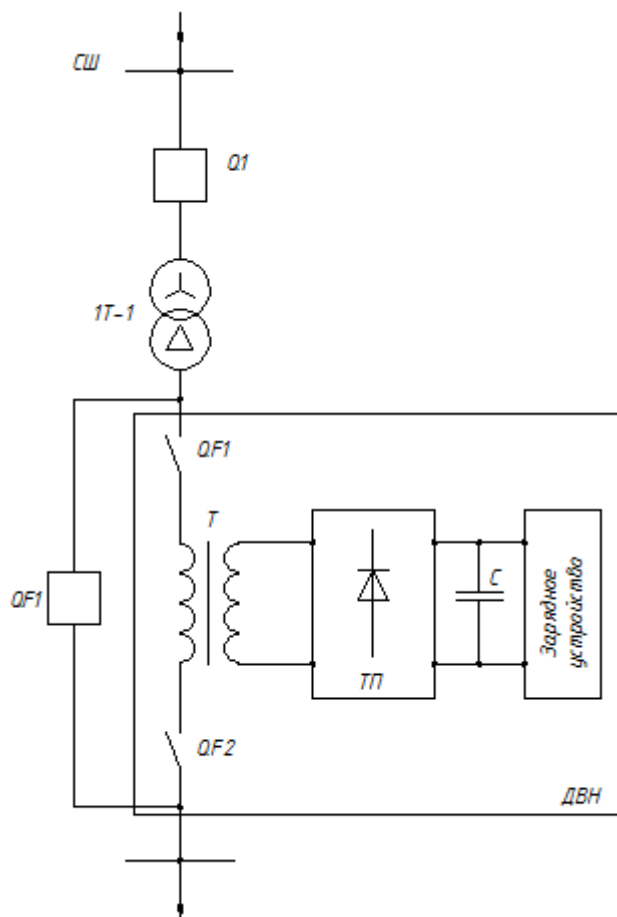
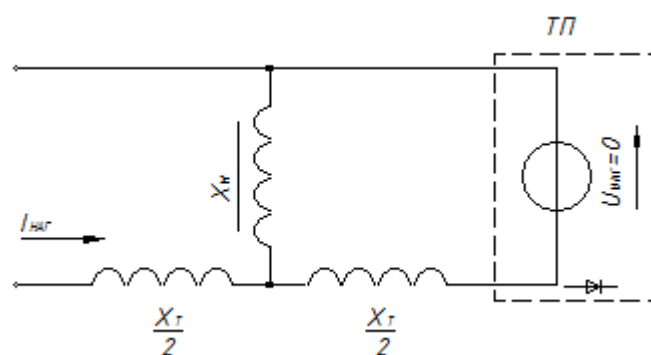


Рисунок 2.1 – Схема підключення пристрою ДВН

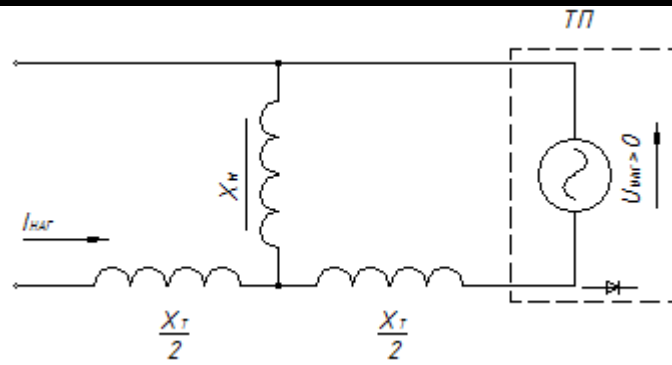
Доцільно компенсувати тільки пряму й зворотну складові провалу нафіксовані на вході ДВН. Для розподільних мереж з понижувальними трансформаторами характерна відсутність нульової послідовності внаслідок їх нескінченно великого опору. Функція блокування реалізується у вторинній обмотці трансформатора 1Т-1, з'єднаної в трикутник. Конденсатор С в ланцюзі постійного струму між зарядним пристроєм і перетворювачем служить енергетичним демпфером ДВН: він здатний генерувати й поглинати енергію в період провалу напруги.

Більшу частину часу обладнання ДВН перебуває в режимі очікування контролюючи напругу на секції шин. Незалежно від значення напруги воно не вводить на ділянку додаткову напругу, тобто $U_{доп} = 0$. Втрати ДВН (у трансформаторі й напівпровідникових елементах) спостерігаються при відновленні живлення.

В режимі очікування провалу обмотка нижчої напруги вольтодобавочного трансформатору Т шунтується через ТП (рис.2.2). При цьому перемикач напівпровідникових елементів не відбувається, тому що окремі фази ТП з'єднані так, що створюють короткозамкнений ланцюг. У цьому режимі напруга, що вводить, та магнітний потік фактично дорівнюють нулю, і перетворювач не включається.



а)



б)

Рисунок 2.2 – Схеми заміщення трансформатору в резервному (а) і робочому (б) режимах

$I_{НАГ}$ - навантажувальний струм ділянки мережі; $U_{НАГ}$ - необхідна напруги зі сторони навантаження; X_T и X_M - індуктивний опір обмоток и магнітопроводу трансформатора

Завдяки потенційній захисній здатності обладнань ДВН компенсується приблизно 85% провалів. Аналіз параметрів випадкових подій з оцінкою експлуатаційних втрат дозволяє визначити ефективність використання ДВН при заборонах АВР на внутрішньозаводських підстанціях. Захист від провалів напруги будується на основі прогнозування їх тривалості залежно від глибини. Впровадження ДВН дозволяє оцінити точність довгострокових прогнозів з побудовою зони стабільного захисту від провалів. Параметри усередині не забезпечують необхідні обсяги енергії, що запасується в зарядному пристрої завдяки чому розширюється зона захисту приймачів від провалів напруги. Дані обладнання характеризують простота обслуговування й безвідмовність, що обумовлене роботою в режимі очікування з мінімальним числом конструктивних елементів. Розглянуті обладнання здатні компенсувати багаторазово повторювані провали.

При аварійних самозапущах електродвигунів виробничих механізмів можливе виникнення перевантаження по струму, що приводить до виводу обладнання з експлуатації. Перспективний розв'язок проблеми - створення їх на

нтегральних системах комутації вентильних тиристорів (Integrated Gate Commutated Thyristors - IGCT). За різними оцінками, безвідмовність функціонування таких обладнань протягом всього терміну служби становить 97,5-98,5%. Їхня продуктивність прямо залежить від запасу енергії. Для досягнення максимальної ефективності ДВН необхідно скорочувати втрати в них у резервному режимі.

Функції ДВН адаптовані до візуалізації в програмному цифровому інтерфейсі, де можливе регулювання його параметрів. Імпульсна логіка забезпечує взаємодію електричних сигналів модулятора й вентильних елементів ПП. У режимі очікування ДВН не генерує вищих гармонік, а при відновленні напруги їх рівень незначний. Він фіксується на 3- й складовій, що дозволяє перемістити спектр небезпечних для обладнання системи електропостачання гармонік до частотного діапазону, що починається приблизно з 3000 Гц. Коефіцієнт n- ой гармонійної складової визначається по формулі

$$K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_{ном}} \cdot 100, \quad (2.1)$$

де $U_{(n)}$ - діюча напруга n- ой гармонійної складової; $U_{ном}$ - номінальна діюча напруга основної гармоніки.

Обладнання ДВН поки не знайшли практичного застосування в системах електропостачання підприємств. Для підвищення безвідмовності і якості електропостачання сьогодні використовують динамічні компенсатори викривлення напруги (ДКВН). Їх впроваджують у мережах 0,4 і 6(10) кВ для часткової компенсації провалів (до 50-55%) і при 200%-них перевантаженнях по струму протягом 30 с.

2.3 Використання сучасних швидкодіючих АВР (ШАВР) з мікропроцесорним пусковим пристроєм

Традиційні обладнання АВР на напрузі 6 і 10 кВ одержали широке застосування, однак вони мають ряд недоліків, що суттєво знижують їх ефективність:

- АВР відбудовуються від будь-яких зовнішніх КЗ в електричних мережах, тому 90% провалів напруги від КЗ безперешкодно доходить до споживачів;
- при КЗ або несанкціонованих відключеннях потрібні гасіння поля синхронних двигунів і затримка включення секційного вимикача до моменту, коли напруга на секції, що втратила живлення, знизиться до припустимого значення (як правило, $0,3U_{НОМ}$), що збільшує час циклу АВР до 3-5 з, і двигуни суттєво загальмуються;
- після включення секційного вимикача можна допустити самозапуск двигунів сумарною потужністю 30% від номінальної потужності трансформатора, а інші підключати по черзі; для СД необхідна ресинхронізація, у той час як деякі СД із шихтовим ротором під навантаженням не синхронізуються;
- самозапуск двигунів відбувається у важкому режимі (при зниженні напруги до $0,85U_{НОМ}$), а перехідні процеси навіть при успішному самозапуску затягаються на 10 і більше секунд.

Цих недоліків позбавлені комплекси, що включають швидкодіючий АВР другого покоління на базі вакуумних вимикачів і мікропроцесорного пускового пристрою (ПП). Максимальний час перемикання на резервне джерело живлення становить 22-45 мс (з вимикачами VM-1Т, ВБЭ) і 55-110 мс (з Evolis, ВВ/TEL).

Аналогово-цифрові перетворювачі ПП здійснюють безперервні виміри (із частотою 1200 Гц) миттєвих значень струмів на введеннях і напруг на

резервних секціях. Результати виміру по періодах (24 значення) надходять у мікропроцесорний контролер, який здійснює програмну обробку результатів вимірів і видачу команд на роботу ШАВР відповідно до алгоритмів. Оскільки тактова частота контролера становить мегагерци, то програмна обробка здійснюється практично миттєво, і час реакції на аварійний режим не перевищує 0,02 с. В аварійних режимах видаються одночасно команди на відключення ввідного й включення секційного вимикачів. Оскільки час відключення $t_{откл}$ менше часу включення $t_{вкл}$, то повний час циклу становить $t_{ц} = 0,02 + t_{вкл}$.

Функціонування ПП мікропроцесорного ШАВР здійснюється по наступному алгоритму. При напрямку потужності від джерела до споживача ШАВР не працює, щоб із системі не відбувалося. Тим самим здійснюється відбудування від КЗ в електричній мережі 6(10) кВ за ввідним вимикачем. При зміні напрямку потужності через ввідний вимикач (якщо напруга прямої послідовності на одній із секцій менше напруги уставки або кут між напруги на резервних секціях більше кута уставки) видаються сигнали на відключення ввідного й включення секційного вимикачів.

Напрямок потужності, на який реагує ШАВР, визначається знаком виразу:

$$T = U_{II} I_{II} \cos(\varphi + \delta_{M.Ч}), \quad (2.2)$$

де T - потужність; U_{II} и I_{II} - напруга на секції й струм на вводі прямої послідовності; φ - фаза струму I_{II} по відношенню до напруги U_{II} ; $\delta_{M.Ч}$ - кут максимальної чутливості.

Звичайно кут максимальної чутливості приймають рівним $\delta_{M.Ч} = -45^\circ$, тоді вираз перетвориться до виду:

$$T = \frac{\sqrt{2}}{2} (U_{II} I_{II} \cos \varphi + U_{II} I_{II} \sin \varphi) = \frac{\sqrt{2}}{2} (P + Q), \quad (2.3)$$

де P и Q - активна й реактивна потужності на вводі.

Таким чином, ПП реагує на знак потужності, рівній сумі активної й реактивної потужностей на вводі. У нормальному режимі потужність T зі знаком "+". При будь-яких КЗ в мережі живлення або в зовнішній електричній мережі вище ШАВР у місці, електрично близькому до центру живлення, а також при відключеннях у ланцюзі живлення знак T змінюється, і ШАВР готовий до роботи відповідно до алгоритму ПП.

ШАВР у порівнянні із традиційними АВР має наступні переваги: за рахунок швидкодії СД не втрачають синхронізму й не потрібно їх ресинхронізація; після спрацьовування ШАВР двигуни залишаються в роботі; струми статорної обмотки, котра втратила живлення, секції після включення секційного вимикача не перевищують $(2 \div 2,5)I_{НОМ}$; перехідні процеси закінчуються за десяті долі секунди; зоною захисту ШАВР є не тільки КЗ і відключення в ланцюзі харчування, але й зовнішні КЗ в елементах електричної мережі до ШАВР, місце яких електрично близьке до центру живлення.

Використання мікропроцесорних ПП в ШАВР дозволяє: обґрунтовано вибирати значення уставок і параметрів реагування ПП за рахунок спостереження й реєстрації реальних значень цих параметрів при настроюванні ШАВР; реєструвати й відтворювати осцилограми перехідних процесів при досягненні значень уставок по кожному з параметрів реагування ПП; перепрограмувати ШАВР для роботи в розподільних пристроях з різним числом секцій, різним числом вводів на секцію та ін. Мікропроцесорний ПП може бути використаний не тільки в РУ 6(10) кВ, але й у РУ 0,4 кВ, і в РУ 35 кВ із вакуумними вимикачами. Попередні дослідження в РУ 0,4 кВ із вакуумними вимикачами показали, що максимальний час циклу ШАВР не перевищує 55 мс.

3 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЗАХИСТУ ВІД ПРОВАЛІВ НАПРУГИ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Для більш глибокого вивчення питання якості електричної енергії і доцільності впровадження на промислових підприємствах зовсім нових систем захисту від провалів напруги, необхідно економічно доказати доцільність таких нововведень та зрівняти з економічними збитками в електрогосподарстві підприємств, пов'язаними з недовипуском продукції та ремонтом обладнання.

Щоб одержати більш повне уявлення про можливі економічні збитки в електрогосподарстві підприємств, необхідно вміти визначити кількісні показники збитку при відмовах АД. Це тим більше важливо, що АД є самим масовим видом приводних електродвигунів на багатьох промислових підприємствах і рівень їх безвідмовної роботи багато в чому визначає показники електрогосподарства в цілому.

Сумарний економічний збиток $\sum_{i=1} Y_i$, грн/рік, при відмовах електродвигунів складається зі збитку від простою обладнання, обумовленого недовипуском продукції Y_{np} , і витрат на ремонт електродвигунів, що відмовили Y_p або придбання нових електродвигунів Y_n , тобто

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1} Y_i &= Y_{np} + Y_p \\ \sum_{i=1} Y_i &= Y_{np} + Y_n \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

Якщо вжити заходів щодо забезпечення безвідмовності роботи електродвигунів за рахунок використання спеціальних захистів, то загальний збиток при відмовах електродвигунів знизиться за рахунок зниження або повної відсутності другої складової (Y_p або Y_n) в формулі (3.1). Першу складову в формулі повністю виключити практично неможливо, оскільки може спостерігатися простій обладнання через відключення захисту електродвигунів

від мережі при виникненні ряду причин, які при відсутності захисту привели б до ушкодженню електричної машини, а саме: випадання однієї з фаз живильної мережі, технологічних перевантажень, надмірного коливання напруги мережі й ін.

З урахуванням витрат на спецзахист загальний економічний збиток можна виразити у такий спосіб, грн/рік:

$$\sum_{i=1} Y_i = (1-v_1) \cdot Y_{np} + (1-v_2) \cdot Y_n + (1-v_3) \cdot Y_p + Y_c \frac{1}{T_{ок}-t_i}, \quad (3.2)$$

де v_1, v_2, v_3 - коефіцієнти ефективності застосування спецзахисту (при $v_1 = 1$ - відсутній збиток від простою обладнання; $v_2 = 1$ - відсутній збиток, пов'язаний з витратами на придбання нових електродвигунів; $v_3 = 1$ - відсутній збиток на ремонт ушкоджених електродвигунів);

T - строк окупності витрат на розробку й застосування спецзахисту;

t_i - поточний i -й момент часу експлуатації електродвигунів.

При розрахунках економічної ефективності приймають, що

$$0 \leq t_i \leq T_{ок}.$$

З формули (3.2) видно, що при $t_i = T_{ок}$ витрати на захист повністю окупаються.

Відповідно до існуючої багато років Методики визначення економічної ефективності використання нової техніки, винаходів і раціоналізаторських пропозицій нормативний строк окупності додаткових капітальних вкладень на електротехнічне обладнання прийнято 6,7 г.

Розрахунковий строк окупності додаткових витрат на спецзахисту можна визначити, як відношення витрат Y_p до ефекту, викликаного цими

витратами, тобто

$$T_{ок} = \frac{Y_c}{v_1 \cdot Y_{np} + v_2 \cdot Y_p}. \quad (3.3)$$

Спрощений підрахунок річного збитку, грн., від простою технологічного обладнання при відмовах електродвигунів проводиться по наступній формулі:

$$Y_{np} = y \sum_{i=1}^k (P_i n_i t_{ni}), \quad (3.4)$$

де y – питомий збиток від недовипуску виготовленої продукції, грн./($\text{кВт} \cdot \text{год}$);

P_i – номінальна потужність електродвигуна i -го типорозміру, кВт;

n_i – число електродвигунів, що відмовили, i -го типорозміру, шт.;

t_{ni} – час простою обладнання через демонтаж ушкодженого та монтажу резервного електродвигуна, год.

Питомий збиток, грн./($\text{кВт} \cdot \text{год}$), від недовипуску продукції можна знайти з наступної формули:

$$y = \frac{C}{P_{\Sigma ycm} T_0 k_1 k_2}, \quad (3.5)$$

де C – вартість річного випуску продукції (фабрики, цеху і т.д.), грн.;

$P_{\Sigma ycm}$ – сумарна встановлена потужність електродвигунів устаткування на даному виробництві, кВт;

T_0 – річний фонд однозмінної роботи устаткування, год;

k_1 – середній коефіцієнт змінності в році;

k_2 – коефіцієнт використання обладнання в році з урахуванням втрат часу на ремонт устаткування, хвороби робочого персоналу і т.д.

Для більш точної оцінки збитку від недовипуску продукції через відмови електродвигунів формулу (3.5) необхідно скорегувати. Корегування буде полягати в тому, що в чисельник формули (3.5) слід додати збиток на виплату зарплати працівникам U_z у період простою, а в знаменнику

формули сумарну встановлену потужність електродвигунів необхідно замінити споживаною потужністю цих електродвигунів $P_{\Sigma спож}$.

Відповідно до коректування формула (15) прийме наступний вид:

$$y = \frac{C + Y_3}{P_{\Sigma \text{спож}} T_0 k_1 k_2}. \quad (3.6)$$

Збиток, грн., через виплату зарплати працівникам устаткування в період простою можна визначити по формулі:

$$Y_3 = 0,5 \cdot \frac{Z_{p.e}}{a} \cdot k \cdot m \cdot t_{np}, \quad (3.7)$$

де 0,5 - 50 % – виплата працівникам у період простою;

$Z_{p.e}$ – погодинна заробітна плата працівників, грн./год;

a – число машин, що обслуговуються одним працівником;

k – коефіцієнт, що враховує додаткову зарплату й нарахування;

m – число виникаючих несправностей (відмов);

t_{np} – тривалість простою, год.

Розрахунки показали, що значення питомого збитку, підраховані по формулах (3.5) і (3.6), у більшості випадків відрізняються один від одного незначно. Це впливає з того, що деякі збільшення чисельника у формулі (3.6) за рахунок додаткової складової Y_3 компенсується в цій формулі збільшенням знаменника $P_{\Sigma \text{спож}} > P_{\Sigma \text{уст}}$.

Збиток, грн., через капітальний ремонт ушкоджених електродвигунів визначається наступною формулою:

$$Y_p = \sum_{i=1}^l (C_{pi} \cdot n_i), \quad (3.8)$$

де C_{pi} – вартість капітального ремонту одного електродвигуна i -го типорозміру, грн.;

l – число ушкоджених електродвигунів, що підлягають капремонту.

Основним критерієм економічної оцінки безвідмовності роботи електродвигунів повинна з'явитися умова мінімуму двох перших складових збитку у формулі (3.2), т.д.

$$(1 - v_1)Y_{np} + (1 - v_3)Y_p = \min, \quad (3.9)$$

Така умова досягається за рахунок зростання коефіцієнтів ефективності, за інших рівних умов:

$$\left. \begin{aligned} (1-v_1) + (1-v_3) &= \min \\ v_1 + v_3 &= \max \end{aligned} \right\}, \quad (3.10)$$

Зростання коефіцієнтів ефективності пов'язане з підвищенням частки 4-ї складової у формулі (3.2). Однак значення цієї складової із часом t_i знижується і при $t_i = T_{ок}$ стає рівним нулю.

Якщо розрахунковий термін окупності $T_{ок}$ перевищить нормативний строк T_n , то додаткові збільшення витрат по забезпеченню безвідмовної роботи електродвигунів слід визнати економічно невиправданими, і навпаки. Однак слід прийняти до уваги, що застосування спецзахисту електродвигунів від аварійних режимів роботи повинно бути винятковим заходом, тому що зв'язане зі значними витратами. Крім того, при цьому порушується безперервність технологічного процесу, що викликає слушні нарікання з боку технологічної служби підприємства.

Наприклад, обрив фази в електродвигуна або його перевантаження може мати сховані причини їх виникнення, наприклад через зношування та старіння ізоляції обмотки. Тому замість того, щоб установлювати в цих випадках відповідний спецзахист, доцільніше здійснювати контроль за швидкістю старіння ізоляції обмотки електродвигунів. Зношування й старіння ізоляції є однією з найбільше "підступних" причин виходу електродвигунів з ладу через те, що відсутні зовнішні ознаки їх виявлення.

Процес старіння й зношування ізоляції обмоток електродвигунів представляє собою сукупність ряду причин: терміну служби ізоляції, впливу параметрів навколишнього середовища, ступені навантаження на валу електродвигунів та ін. При несприятливій стіканні цих факторів виникає форсоване старіння ізоляції з різким погіршенням її електричних властивостей.

На підставі численних досвідів німецьким ученим Монтзингером було

встановлено загальне правило по визначенню терміну служби ізоляційних матеріалів з розповсюдженим класом нагрівостійкості А. Було встановлено, що старіння ізоляції матеріалів цього класу підкоряється так названому 8-градусному правилу у відповідності з наступною формулою:

$$T_{\text{відн}} = 2^{\frac{t-t_H}{8}}, \quad (3.11)$$

де $T_{\text{відн}}$ – швидкість старіння ізоляції;

t_H - нормативна гранична температура нагрівання для ізоляції класу А, °С;

t - фактичне перевищення температури, °С.

Згідно 8- градусному правилу з формули (3.11) випливає, що для обмоток з ізоляцією класу А на кожні 8 °С перегріву термін служби ізоляції зменшується, а її старіння прискорюється в 2 рази. Наприклад, відповідно до ГОСТ 183-74 "Машина електричні обертові. Загальні технічні умови", перевищення температури для ізоляції класу А становить 65 °С, а температура навколишнього середовища прийнята рівною +40 °С. Отже, гранична температура для ізоляції з нагрівостійкістю класу А становить $65 + 40 = 105$ °С. Температура, що впливає на старіння ізоляції обмоток, складається з перевищення температури для ізоляції даного класу обмотки та температури навколишнього середовища, для ізоляції класу А швидкість старіння буде:

$$T_{\text{відн}} = 2^{\frac{t-105}{8}}. \quad (3.12)$$

На підставі досвіду експлуатації й спостережень за терміном служби ізоляції класу А при нормативній граничній температурі, рівній 105 °С, середній термін служби ізоляції обмоток становить приблизно 7 років.

$$T_{\text{сп}} = 7 \cdot 2^{\frac{105}{8}} \cdot 2^{\frac{-t}{8}} = 7 \cdot 2^{\frac{105-t}{8}}, \quad (3.13)$$

Якщо, наприклад, фактичне перевищення температури буде 121 °С, то з формули (3.12) видно, що термін служби ізоляції скоротиться в 4 рази, тому що

$$T_{\text{відн}} = 2^{\frac{121-105}{8}} = 4. \quad (3.14)$$

А по формулі (23) можна визначити абсолютний термін служби такої ізоляції:

$$T_{cp} = 7 \cdot 2^{\frac{105-121}{8}} = 7 \cdot 2^{-2} = 1,75. \quad (3.15)$$

Отже, якщо при нормативній температурі ізоляції класу А обмотка електродвигуна проработить 7 років (при температурі 105 °С), то при її перевищенні на 16 °С термін служби ізоляції скоротиться в 4 рази – до 1,75 р., т.д.

Восьмиградусне правило має практичну цінність, оскільки воно дозволяє встановити ефективний контроль над ступенем старіння й зношування ізоляції матеріалів з найбільше широко розповсюдженим класом А нагрівостійкості.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОПИС

а) закони, укази, постановлення и т. п.:

1 Конституція України. – К.: Юрид. Літ., 1996. – 50 с.

2 Правила устройства электроустановок: Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986.

б) книги:

3 Электроэнергетические системы в примерах и иллюстрациях: Учеб. пособие для ВУЗов / Астахов Ю. Н., Веников В. А., Ежков В. В. и др., под ред. Веникова В. А. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 504 с., ил.

4 Электрические системы. Электрические сети / Под ред.

В. А. Веникова. – М.: Высшая школа, 1971. – 438 с.

5 Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с., ил.

6 Електричні мережі систем електропостачання: Навч. Посібник/

Г. Г. Півняк, Г. А. Кігель, Н. С. Волотковська, Л. П. Ворохов, О. Б. Іванов: За ред. академіка НАН України Г. Г. Півняка. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. – 316 с.

7 Півняк Г. Г., Доброгарский М. О., Дудля М. А. Проблемы энергосбережения, экологии та шляхи їх розв'язання. Київ, НМК, 1992.

8 Разумный Ю. Т., Шкрабец Ф. П. Повышение эффективности электро-снабжения угольных шахт. Киев, Техника, 1986.

в) статьи в журналах или газетах:

9 Ковалев И. Н., Осипов М. А. Относительное снижение затрат в энергосистеме// Электричество. – 2001. - № 10. – С. 2 – 6.

г) стандарты:

10 ГОСТ 7.1 – 84. Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления. – Взамен ГОСТ 7.1 – 76; Введ. с 01.01.86.

д) методические материалы:

11 Кваліфікаційні роботи випускників. Загальні вимоги до дипломних проектів і дипломних робіт / Упоряди.: В. О. Салов, О.М. Кузьменко,

В. І. Прокопенко. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2004. – 52 с.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА:

1. Електричні мережі систем електропостачання: Навч. посібник/Г.Г.Півняк, Г.А.Кігель, Н.С.Волотковська, Л.П.Ворохов, О.Б.Іванов: За ред. Академіка НАН України Г.Г.Півняка. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. – 316 с.
2. Особливі режими електричних мереж: Навчальний посібник/ Г.Г.Півняк, А.К.ШидловськийЮ Г.А.Кігель, Я.А.Рибалко, О.І.Хованська. – Д.: Національний гірничий університет, 2009. – 376 с.
3. Розрахунки електричних мереж систем електропостачання: Навч. посібник/ Г.Г.Півняк, Г.А.Кігель, Н.С.Волотковська; За ред. Академіка НАН України Г.Г.Півняка. – 3-тє вид., перероб. і доп. – Д.: Національний гірничий університет, 2006. – 216 с.
4. Правила устаткування електроустановок. – Х.: Вид-во «Форт», 2009. – 704 с.
5. ГОСТ 13109-97. Якість електричної енергії. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Норми кості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення. Взамін ГОСТ 1309-87.
6. Перехідні процеси в системах електропостачання: Підручник для вузів. Вид. 2-е, доправ. та доп./ Г.Г. Півняк, В.М.. Винославський, А.Я Ри-балко, Л.І. Несен / За ред. академіка НАН України Г.Г.Півняка. – Дніпропетровськ: Видавництво НГА України, 2000, - 597 с.
7. Сиромятніков І.А. Режими роботи асинхронних і синхронних двигунів/ Під ред. Л.Г. Маміконянца. – 4-е вид., доправ. та доп. – М. Енергоатомвидав, 1984. – 240 с., іл.

<i>СЕР.РД18.01.П.ПЗ</i>				
Змін	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Зробив		Перець І. Г.		
К. розд.		Рогоза М. В.		
Керівн.		Рогоза М. В.		
Н. контр.		Олішевський Г.		
Зав. каф.		Випанасенко С. І.		
<i>Використана література</i>				
<i>НГУ, ЕТФ, 141м-16-1</i>				

8. Федоров А.А., Старкова Л.Є. Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування по електропостачанню промислових підприємств: Навч. посібник для вузів. – М.: Енергоатомвидав, 1987. – 368 с.: іл.
9. Електропостачання вугільних шахт/ Волотковський С.А., Разумний Ю.Т., Пивняк Г.Г. та ін. М., Недра, 1984, 376 с.
10. Кваліфікаційні роботи випускників. Загальні вимоги до дипломних проектів і дипломних робіт / Упорядн.: В.О. Салов, О.М. Кузьменко, В.І. Прокопенко. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2004 – 52 с.
11. Техніко-економічна ефективність систем електропостачання промислових підприємств. / А.С. Овчаренко, М.Л. Рабінович. – Київ, «Техніка», 1977 – 365 с.
12. Посібник з електропостачання промислових підприємств: Проектування і розрахунки / А.С. Овчаренко, М.Л. Рабінович, В.І. Мозирський, Д.І. Розинський. – К.: Техніка, 1985. – 279 с., іл. – Бібліогр.: 273 – 275 с.
13. Грейсух М.В., Лазарєв С.С. Розрахунки з електропостачання промислових підприємств. М., «Енергія», 1977. – 312 с., іл.