

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ
“___” _____2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:
«Обґрунтування можливості застосування
напруги 660 В
Substantiation of the use of 660 V voltage»

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу магістратури, групи ЕЕ-22М
ОПП «Електротехнічні системи
електроспоживання»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____Юрій СТІЛЬЧУК
«___» _____2023 р.

Керівник роботи
к.т.н, доцент
_____Олександр СІРІКОВ
«___» _____2023 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва та транспорту

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма

Електротехнічні системи електроспоживання

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ Петро ПЛЕСКОВ

«_____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Стрільчуку Юрію Васильовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Обґрунтування можливості застосування напруги 660 В
Substantiation of the use of 660 V voltage

2. Керівник роботи Сіріков Олександр Іванович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 21.12.2023 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є обґрунтування
можливості застосування напруги 660 В в розподільчих мережах споживачів для
підвищення ефективності роботи системи електропостачання.

Завдання роботи: обґрунтування використання напруги 660 В в цехових мережах;
досвід застосування напруги 660-1140 В за кордоном; електропостачання
промислових підприємств напругою 660 В; охорона праці.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н., доц. Савеленко І.В.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>13.10.23</i>	
2	<i>Обґрунтування використання напруги 660 В в цехових мережах</i>	<i>27.10.23</i>	
3	<i>Досвід застосування напруги 660-1140 В за кордоном</i>	<i>10.11.23</i>	
4	<i>Електропостачання промислових підприємств напругою 660 В</i>	<i>24.11.23</i>	
5	<i>Охорона праці</i>	<i>08.12.23</i>	
6	<i>Висновки</i>	<i>15.12.23</i>	
7	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи та презентації до неї</i>	<i>21.12.23</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2023 р.

Підпис керівника

_____ Сіріков О.І.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2023 р.

Підпис здобувача

_____ Стрільчук Ю.В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Стрільчук Ю.В. Обґрунтування можливості застосування напруги 660 В.

Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньо-професійна програма «Електротехнічні системи електроспоживання», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2023.

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування можливості застосування напруги 660 В в розподільчих мережах споживачів для підвищення ефективності роботи системи електропостачання.

Економічність напруги 660 В у порівнянні з напругою 380 В визначається тим, що вартість трифазних електродвигунів, електричної апаратури керування і трансформаторів, виготовлених у даний час на напругу до 500 В, при переході на напругу 660 В або зовсім не збільшується, або зростає тільки на 5-15%. Пропускна здатність мережі при напрузі 660 В зростає в $\sqrt{3}$ разів, а втрати електроенергії зменшуються в 3 рази при однаковій витраті кольорового металу і приблизно в 2 рази, якщо переріз жил знизити на одну ступінь.

Для того щоб з'ясувати область застосування напруги 660 В, необхідно визначити первинні питомі капітальні вкладення і втрати потужності на 1 кВт встановленої потужності двигуна для окремих елементів електричної схеми при напругах 380 і 660 В. За схемою при напрузі 380 В для живлення всіх приймачів одного вузла приймається дві цехові підстанції, а за схемою при напрузі 660 В досить мати одну цехову підстанцію з одним-двома трансформаторами одиничною потужністю 1000-1800 кВА і з одним-двома трансформаторами, що мають вторинну напругу 400/230 В, потужністю 100-160 кВА, для живлення навантаження малопотужних двигунів і освітлення.

Ключові слова: напруга 660 В, пропускна здатність, втрати електроенергії, цехова електрична мережа, електродвигун, апаратура керування.

ABSTRACT

Strilchuk Yu.V. Substantiation of the use of 660 V voltage.

Qualification work for the second (master's) level of higher education in specialty 141 «Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics», educational and professional program «Electrotechnical systems of electricity consumption», Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2023.

The purpose of the qualification work is to substantiate the possibility of using 660 V voltage in consumer distribution networks to increase the efficiency of the power supply system.

The cost-effectiveness of voltage 660 V compared to voltage 380 V is determined by the fact that the cost of three-phase electric motors, electrical control equipment and transformers, currently manufactured for voltages up to 500 V, when switching to voltage 660 V either does not increase at all, or increases only by 5 -15%. The capacity of the network at a voltage of 660 V increases by a factor of 1, and electricity losses decrease by a factor of 3 with the same consumption of non-ferrous metal and approximately by a factor of 2 if the cross-section of the wires is reduced by one degree.

In order to find out the scope of application of the 660 V voltage, it is necessary to determine the primary specific capital investments and power losses per 1 kW of installed engine power for individual elements of the electrical circuit at voltages of 380 and 660 V. According to the circuit at a voltage of 380 V to power all receivers of one two workshop substations are accepted for the node, and according to the scheme, at a voltage of 660 V, it is enough to have one workshop substation with one or two transformers with a single capacity of 1000-1800 kVA and with one or two transformers with a secondary voltage of 400/230 V, with a capacity of 100-160 kVA , for powering the load of low-power motors and lighting.

Key words: 660 V voltage, throughput, electricity losses, workshop electrical network, electric motor, control equipment.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ НАПРУГИ 660 В В ЦЕХОВИХ МЕРЕЖАХ.....	10
1.1. Техніко-економічні розрахунки при застосуванні напруги 660 В на промислових підприємствах.....	10
1.2. Розрахунок техніко-економічної ефективності застосування напруги 660 В у цехових мережах.....	23
1.3. Розрахунок техніко-економічної ефективності застосування напруги 660 В для цеху товарів народного вжитку.	25
1.4. Висновки.....	30
РОЗДІЛ 2 ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ НАПРУГИ 660-1140 В ЗА КОРДОНОМ.....	31
2.1. Перспективи впровадження напруги 660-1140 В за кордоном.....	31
2.2. Електропостачання вугільних і гірничодобувних шахт.....	32
2.3. Електропостачання нафтобурових і нафтовидобувних установок.....	37
2.4. Електропостачання хімічних, збагачувальних і целюлозно-паперових підприємств.....	38
РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ НАПРУГОЮ 660 В.....	41
3.1. Розподільча мережа напругою вище 1000 В.....	41
3.2. Використання трьохобмоточних трансформаторів і автотрансформаторів напругою 660 В.....	45
3.3. Електропостачання електротермічних і освітлювальних установок напругою 660 В.....	49
3.3.1. Електричні печі опору.....	50
3.3.2. Індукційний нагрів.....	53
3.3.3. Електрозварювальні установки.....	55
3.3.4. Освітлювальні установки при напрузі мереж 660 В.....	59
3.3.5. Напруга ланцюгів керування в мережах 660 В.....	60
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	63

	7
4.1. Питання безпеки при напрузі 660/380 В.....	63
4.2 Захисні заземлення і занулення	69
4.3 Розрахунок заземлювача підстанції 10/0,4 кВ	76
4.4 Розрахунок блискавкозахисту для будинку цеху	78
ВИСНОВКИ.....	81
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	83

ВСТУП

Актуальність роботи. Основною напругою розподільчих мереж споживачів протягом тривалого часу залишається 380/220 В. В той же час відбулися певні зміни в характері споживачів: збільшилася кількість та продуктивність машин, середня потужність електродвигунів різних приводів, широко впроваджується електрозварювання та електронагрівання, збільшилися розміри промислових цехів, де загальна встановлена потужність струмоприймачів напругою 380 В може сягати 50 МВт та вище. Так сталося, що на деяких промислових підприємствах напруга 380 В вже не в змозі забезпечити оптимальну систему електропостачання, а в деяких випадках ускладнює застосування електричного приводу (наприклад, для вугільних шахт).

Економічність застосування напруги 660 В у порівнянні з 380 В обумовлюється тим, що вартість електродвигунів, апаратури для керування та трансформаторів, виготовлених на напругу до 500 В, при застосуванні напруги 660 В або зовсім не зміниться, або зросте лише на 5-15%. Електрична мережа напругою 660 В має більшу пропускну здатність в $\sqrt{3}$ разів, в той же час втрати електроенергії зменшуються в 3 рази за однакового витрачання кольорового металу та орієнтовно в 2 рази при зниженні перерізу жил на одну ступінь. Електричні кабелі здатні витримати напругу до 1000 В, тому вартість їх при напрузі 660 В не зміниться.

Для визначення області застосування напруги 660 В, необхідно обчислити первинні питомі капіталовкладення та втрати електричної потужності на 1 кВт потужності двигуна та окремих елементів схеми електропостачання при напругах відповідно 380 та 660 В. При напрузі 380 В для живлення усіх струмоприймачів приймаються дві цехові підстанції на яких встановлюються один або два трансформатора з вторинними напругами 400/230 В та одиничною потужністю 400-1000 кВА. Від цих трансформаторів радіальними лініями через розподільні пункти живляться всі силові струмоприймачі та освітлювальне навантаження. При схемі електропостачання з застосуванням напруги 660 В достатньо мати одну цехову підстанцію з одним або двома трансформаторами напругою 690/400 В та

потужністю 1000-1800 кВА, що орієнтовно в 2 рази вище потужності при застосування напруги 380 В та підстанцію з одним або двома трансформаторами, що мають напругу 400/230 В, та потужність 100-160 кВА, для живлення навантаження малопотужних двигунів та освітлення.

Мета роботи і задачі дослідження. Метою роботи є обґрунтування можливості застосування напруги 660 В в розподільчих мережах споживачів для підвищення ефективності роботи системи електропостачання. Задача дослідження полягає в аналізі технічних аспектів переходу на напругу 660 В з напруги 380 В та оцінки техніко-економічних аспектів такого переходу.

Для досягнення вказаної мети потрібно розв'язати наступні задачі:

- обґрунтувати використання напруги 660 В в цехових мережах;
- проаналізувати досвід застосування напруги 660-1140 В за кордоном;
- розглянути електропостачання промислових підприємств напругою 660 В;
- проаналізувати безпеку використання напруги 660/380 В.

Об'єкт дослідження електропостачання напругою 660 В.

Предмет дослідження аналіз та техніко-економічне обґрунтування можливості застосування підвищеної напруги 660 В розподільчих мережах споживачів.

Методи досліджень базуються на використанні: математичного моделювання при техніко-економічних розрахунках, аналізу при оцінці досвіду застосування підвищеної напруги розподільчих мереж та безпечності їх експлуатації.

Основні наукові та практичні результати, їх значення.

1. Обґрунтована можливість застосування напруги 660 В в розподільчих мережах споживачів для підвищення ефективності роботи системи електропостачання.

2. Проаналізовані технічні та техніко-економічні аспекти переходу на напругу 660 В з напруги 380 В, що дозволяє визначити доцільні межі її застосування.

РОЗДІЛ 1

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ НАПРУГИ 660 В В ЦЕХОВИХ МЕРЕЖАХ

1.1. Техніко-економічні розрахунки при застосуванні напруги 660 В на промислових підприємствах

Для силових приймачів у даний час основною напругою є 380 В. Однак за останні роки відбулися серйозні якісні і кількісні зміни в характері споживачів, особливо у важкій промисловості, що вимагають введення для споживачів підвищеної напруги. На підприємствах гірничорудної, металургійної, хімічної, вугільної, нафтової, машинобудівної й іншої галузей промисловості різко виросла кількість і продуктивність технологічних агрегатів; разом з цим збільшилися число і середня потужність приводних електродвигунів; широко впроваджуються електрозварювання і електронагрів, виросли розміри окремих виробничих корпусів, а встановлена потужність приймачів, що у даний час вибирають на напругу 380 В, в окремих корпусах досягає 50 МВт і вище.

У зв'язку з цим давно підняте питання про введення в стандарт напруги 660 В, одержуваного шляхом множення 380 на $\sqrt{3}$, що дає можливість використання тих самих двигунів та трансформаторів у мережах 380 і 660 В, а також полегшує перехід розширюваних і реконструйованих промислових підприємств на напругу 660 В.

Введення напруги 660 В розширює область застосування електродвигунів на цю напругу, що в ряді випадків дає значну техніко-економічну перевагу в порівнянні з двигунами на напруги 3 і 6 кВ [1].

Починаючи з визначеної найменшої величини потужності, стає доцільним виготовляти двигуни зі схемою з'єднання обмоток у зірку при напрузі 660 В. При схемі з'єднань у трикутник ці двигуни можуть бути застосовані для напруги 380 В.

Виконаний ряд робіт, у яких доведені необхідність і економічна доцільність впровадження напруги 660 В у різних галузях промисловості.

Напруга 660 В прийнята, як стандартна без обмежень у ДЕСТ на номінальну напругу.

Вугільна промисловість має деякий досвід застосування для підземних шахтних установок напруги 660 В. На цю напругу виготовляються електродвигуни й апаратура у вибухозахищеному виконанні, шахтні трансформатори, екрановані гнучкі кабелі і т.п. В інших же галузях промисловості по впровадженню напруги 660 В практично нічого не зроблено.

У той же час питання про використання напруги 660 В в інших галузях промисловості є не менш актуальним, тому, що в ряді випадків потужність окремих промислових підприємств у багато разів перевищує потужність вугільної шахти, так що економічний ефект від застосування напруги 660 В на цих підприємствах буде значно більше.

Економічність застосування напруги 660 В у порівнянні з 380 В обумовлюється тим, що вартість електродвигунів, апаратури для керування та трансформаторів, виготовлених на напругу до 500 В, при застосуванні напруги 660 В або зовсім не зміниться, або зросте лише на 5-15%. Електрична мережа напругою 660 В має більшу пропускну здатність в $\sqrt{3}$ разів, в той же час втрати електроенергії зменшуються в 3 рази за однакового витрачання кольорового металу та орієнтовно в 2 рази при зниженні перерізу жил на одну ступінь. Електричні кабелі здатні витримати напругу до 1000 В, тому вартість їх при напрузі 660 В не зміниться.

Для того щоб установити область застосування напруги 660 В, визначимо первинні питомі капітальні вкладення і втрати потужності на 1 кВт встановленої потужності двигуна для окремих елементів електричної установки (електродвигуна, електроапаратури керування, розподільної і живильної мереж низької напруги, трансформатора, апаратури для ліній низької і високої напруги) при напругах 380 і 660 В.

Розрахунки проведені для двох схем розподілу електроенергії, приведених на рис. 1.1. Для обох схем енергія передається від розподільної підстанції I на цехові підстанції. За схемою *a* при напрузі 380 В для живлення всіх приймачів

одного вузла маються дві цехові підстанції 2, на кожній з яких встановлюються один-два трансформатора з вторинною напругою 400/230 В і одиничною потужністю 400-1000 кВА, від яких радіальними лініями через розподільні пункти живляться всі силові приймачі вузла й освітлювальне навантаження 4. За схемою б при напрузі 660 В досить мати одну цехову підстанцію 3 з одним-двома трансформаторами на вторинну напругу 690/400 В одиничною потужністю S_{T2} (1000-1800 кВА), що приблизно в 2 рази вище потужності S_{T1} і з одним-двома трансформаторами, що мають вторинну напругу 400/230 В, потужністю S_{T3} , що не перевищує 10% потужності основних трансформаторів (100-160 кВА), для живлення навантаження малопотужних двигунів і освітлення 4.

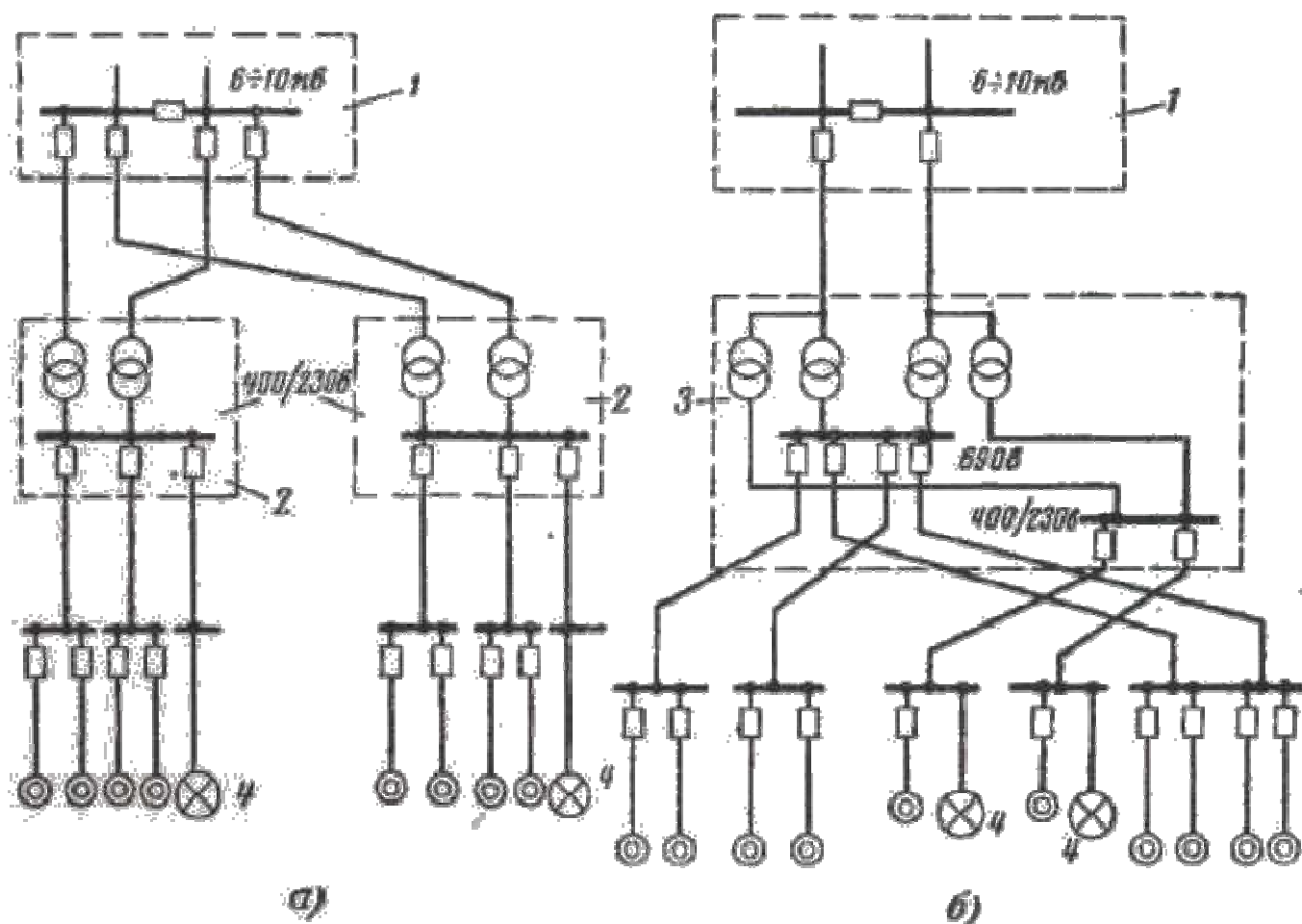


Рис. 1.1. Схеми розподілу електроенергії напругою 400/230 В а і 690/400 б.

Визначимо капітальні вкладення для окремих елементів схеми.

Електродвигун. По зробленим порівняльним розрахункам для декількох

типорозмірів двигунів збільшення вартості двигунів 660 В у порівнянні з аналогічними двигунами 380 В у межах 2-33%. При цьому підвищення вартості не залежить, як можна було очікувати, від потужності двигуна. Так, для двигунів зі швидкістю обертання 1500 об/хв і потужність 1,1 і 7,5 кВт різниця у вартості двигунів напругою 380 і 660 В складає тільки близько 5%, для двигуна потужністю 5,5 кВт - близько 2%, для двигуна потужністю 75 кВт - близько 13%, а для двигуна потужністю 55 кВт-33%. Це, очевидно, пояснюється тим, що перерахунок був зроблений для двигунів, уже спроектованих на напругу 380 В.

За даними Інституту електромеханіки, вартість трифазних двигунів потужністю від 100 до 200 кВт, що мають нормальну ізоляцію, при напрузі 660 В може збільшитися тільки на 5%; при потужності вище 200 кВт вартість двигунів на напруги 380 і 660 В буде практично однаковою.

Серія трифазних двигунів ВАО у вибухозахищеному виконанні запроектована на напругу 380/660 В, починаючи від потужності 0,27 до 100 кВт, так, що вага і вартості їх при обох напругах будуть однаковими. Для визначення капітальних вкладень можна прийняти, що при переході на напругу 660 В вартість однієї частини двигунів низької напруги збільшиться на 15%, іншої частини - на 5%, а для деяких двигунів зовсім не збільшиться.

Різницю в первинних витратах на 1 кВт встановленої потужності всіх двигунів визначаємо з виразу

$$\Delta d_d = -(0,15k_1d_{1cp} + 0,05k_2d_{2cp}) \text{ грн/кВт}, \quad (1.1)$$

де k_1 k_2 – відношення суми встановлених потужностей двигунів, вартість яких при напрузі 660 В збільшується відповідно на 15 і 5 %, до сумарної потужності двигунів, для яких вибирається напруга;

d_{1cp} , d_{2cp} – середньозважені питомі вартості груп двигунів, вартість яких при напрузі 660 В збільшується відповідно на 15 і 5 %; визначаються, як відношення загальної вартості всіх двигунів даної групи до сумарної встановленої потужності цієї групи.

Питома вартість по каталозі двигунів діючої серії АТ до 9-го габариту в залежності від встановленої потужності і швидкості обертання (без обліку накладних витрат і монтажу) приведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Питоми вартості двигунів серії АТ.

Номінальна потужність, кВт	Питома вартість 1 кВт, грн.		
	1500 об/хв	1000 об/хв	750 об /хв
4,5	510	630	—
7,5	402	558	864
10	390	480	684
14	342	498	660
20	351	462	690
28	330	498	594
40	348	414	552
55	303	396	474
75	294	348	—
100	261	—	—

З табл. 1.1. видно, що при однакових швидкостях обертання питома вартість двигунів потужністю від 4,5 до 75-100 кВт зменшується майже в 2 рази і збільшується приблизно пропорційно зменшенню швидкості обертання.

Апаратура керування. На промислових підприємствах для керування трифазними двигунами, як правило, застосовують магнітні пускачі і блоки керування. Вибір величини апарата залежить від номінального струму і тим самим від напруги електродвигуна, для якого апарат призначається. Порівняльні данні магнітних пускачів серії П наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2. Порівняльні данні магнітних пускачів.

Напруга, В	220	330	500
Потужність двигуна, кВт	10	14	20
	20	28	40
	37	55	75

З табл. 1.2. видно, що з підвищенням напруги (з 380 до 500 В, т. ч, на 132%, потужність двигуна, що може керуватися тим самим апаратом,

підвищується приблизно пропорційно напрузі. Тому, що при напрузі 660 В струм знижується в $\sqrt{3}$ рази, питома вартість апарата на напругу 660 В буде нижче чи однаковою з вартістю апарата при напрузі 380 В.

Розподільча мережа. Розподільна мережа, як правило, виконується проводами з гумової чи вінілової ізоляції, прокладеними в сталевих трубах. Графіки залежності допустимого з умов нагріву струму навантаження i_n (крива 1) і щільності струму j_n (крива 2) від перерізу струмопровідної жили для одножильних проводів марки АПРТО з алюмінієвими жилами і гумовою ізоляцією перерізом від 2,5 до 50 мм² нанесені на рис. 1.2, перерізом від 70 до 185 мм – на рис. 1.3.

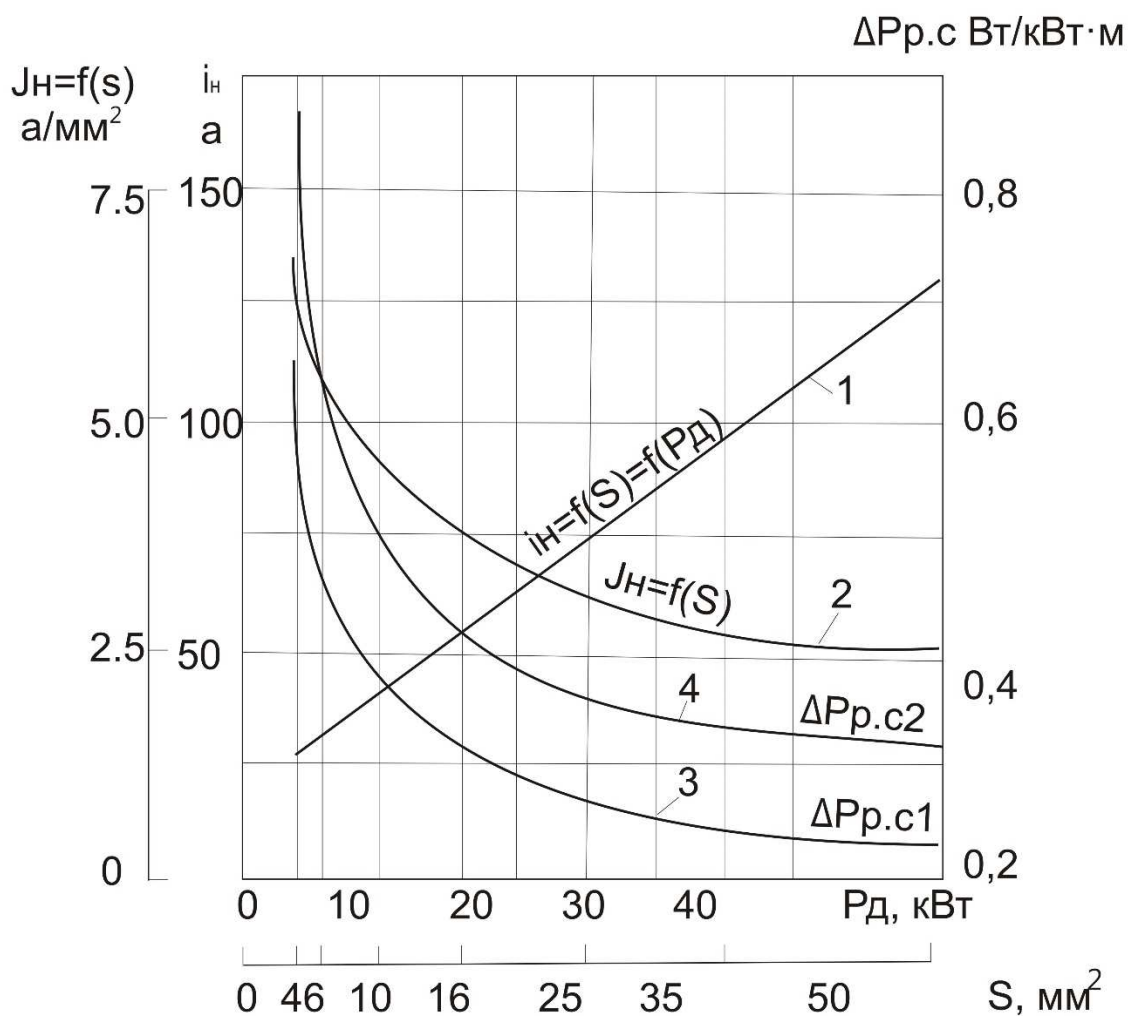


Рис. 1.2. Графіки залежності допустимого з умов нагріву струму навантаження i_n (крива 1) і щільності струму j_n (крива 2) від перерізу струмопровідної жили від 2,5 до 50 мм².

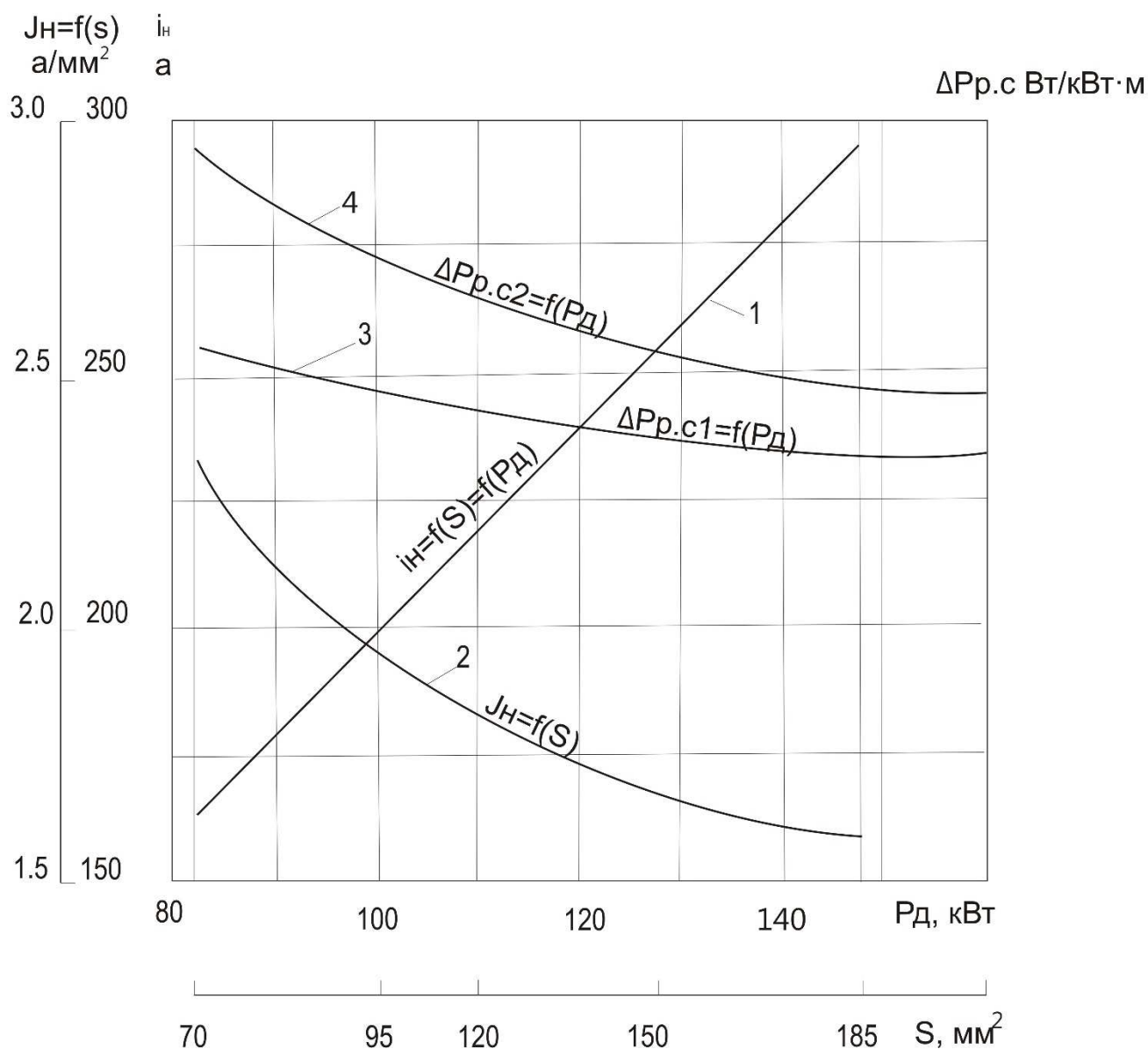


Рис. 1.3. Графіки залежності допустимого з умов нагріву струму навантаження i_n (крива 1) і щільності струму j_n (крива 2) від перерізу струмопровідної жили від 70 до 185 мм².

З графіків видно, що в межах кожної групи перерізів проводів, що відповідають рис. 1.2 і 1.3, допустимий з умов нагріву струм змінюється пряmlinійно і виражається рівнянням:

– для проводів перерізом від 4 до 50 мм²:

$$i_{n1} = 19 + 2,17 \cdot S; \quad (1.2)$$

– для проводів перерізом від 70 до 185 мм²

$$i_{H2}=86+1,125 \cdot S; \quad (1.2a)$$

При напрузі 660 В питомий струм на 1 кВт встановленої потужності двигуна зменшується в $\sqrt{3}$ разів, так що переріз проводу в порівнянні з перерізом проводу при напрузі 380 В може бути знижений на одну-дві ступені. Тому, що зі зменшенням перерізу проводу питома вартість розподільної мережі знижується незначно, при напрузі 660 В можна обмежитися зменшенням перерізу тільки на одну ступінь або зовсім не змінювати перерізу проводів. У першому випадку втрати енергії в розподільній мережі скоротяться приблизно в 2 рази, у другому випадку – у 3 рази.

Живильна мережа. Для порівняльних розрахунків приймаємо, що живильна мережа виконується трьохжильним кабелем марки АСБГ до 1000 В перерізом від 70 до 185 мм².

На рис. 1.4 для цього кабелю побудовані криві залежності струму навантаження і щільності струму від перерізу (криві 1 і 2), вартості прокладки 100 м кабелю і його питомої вартості на 1 А струму навантаження (криві 3 і 4). З графіків видно, що навантаження і вартість кабелю змінюються по прямій, а питома вартість 100 м кабелю на 1 А струму навантаження змінюється в обмежених межах від 26,4 до 28,2 грн./А у середньому її можна прийняти рівною 27 грн./А.

Питома вартість кабельної лінії довжиною l_2 , м на 1 кВт встановленої потужності приєднаних двигунів:

– при напрузі 380 В:

$$d_{k1} = \frac{2 \cdot 1,35k_c}{0,9} l_2 \cdot 10^{-2} \approx 0,03k_c l_2, \text{ грн./кВт} \quad (1.3)$$

– при напрузі 660 В:

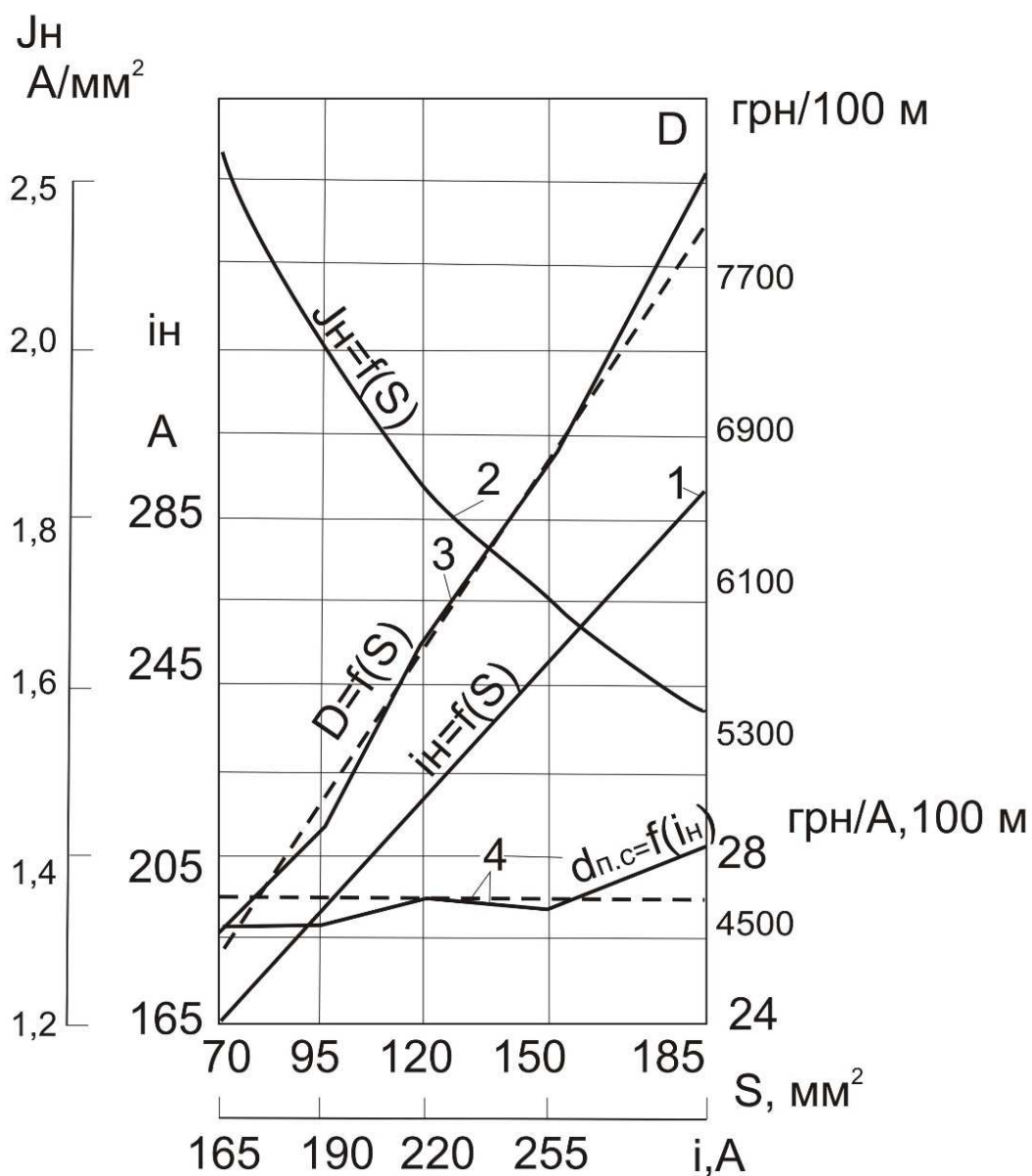


Рис. 1.4. Графіки залежності струму навантаження і щільності струму від перерізу (криві 1 і 2).

$$d_{k2} = 1,3 \frac{1,15 \cdot 1,35 k_c}{0,9} l_2 \cdot 10^{-2} \approx 0,022 k_c l_2, \text{ грн./кВт} \quad (1.3a)$$

Різниця в питомій вартості живильної мережі при напругах 380 і 660 В, визначається виразом

$$\Delta d_k = 0,008 k_c l_2 \text{ грн./кВт} \quad (1.3b)$$

Трансформатори й апаратура високої напруги. Первинні витрати на

одиницю встановленої потужності для трансформаторів і апаратури високої напруги по варіантам 400/230 та 690/400 В визначимо для електричної схеми, яка зазначена на рис. 1.1. При цьому для напруги 400/230 В (рис. 1.1 а) їх можна визначити за формулою:

$$\Delta d_{\text{ВН1}} = \frac{N_{\text{ком}} \cdot K_{\text{ком}} + N_{\text{тр}} \cdot K_{\text{тр}} + L_{\text{кл}} \cdot K_{\text{кл}}}{N_{\text{тр}} \cdot P_{\text{тр}}} \text{ грн./кВт} \quad (1.4)$$

де $K_{\text{ком}}$, $K_{\text{тр}}$, $K_{\text{кл}}$ – капіталовкладення відповідно в комірки, трансформатори і на одиницю довжини кабельної лінії;

$N_{\text{ком}}$, $N_{\text{тр}}$, $L_{\text{кл}}$ – відповідно кількість комірок, трансформаторів та довжина кабельної лінії.

$P_{\text{тр}}$ – потужність трансформатора.

Для напруги 690/400 В (рис. 1.1 б) в формулі (1.4) необхідно ще додатково врахувати капіталовкладення в освітлювальний трансформатор тобто:

$$\Delta d_{\text{ВН2}} = \frac{N_{\text{ком}} \cdot K_{\text{ком}} + \Sigma N_{\text{тр}} \cdot K_{\text{тр}} + L_{\text{кл}} \cdot K_{\text{кл}}}{\Sigma N_{\text{тр}} \cdot P_{\text{тр}}} \text{ грн./кВт} \quad (1.5)$$

Загальна різниця в питомій вартості при напругах 380 і 660 В.

Підсумовуючи вище наведені викладки можна визначити загальну різницю в питомій вартості в схему електропостачання при напругах 380 і 660 В за формулою:

$$\Sigma \Delta d = \Delta d_{\text{д}} + \Delta d_{\text{к}} + (\Delta d_{\text{ВН1}} - \Delta d_{\text{ВН2}}) \text{ грн./кВт} \quad (1.6)$$

Визначимо питомі втрати потужності в окремих елементах схеми.

Електродвигун. При переході від напруги 380 В до напруги 660 В додаткові питомі втрати в двигунах визначаються виразом:

$$\Delta P_d = 8k_1 + 4k_2 \text{ Вт/кВт} \quad (1.7)$$

Розподільна мережа. Різниця в питомих втратах у розподільній мережі при переводі на підвищену напругу 660 В визначається за формулою:

$$\Delta P_{p.c} = 3\rho k_{\text{и}}^2 P_d \left(\frac{i_1^2}{s_1} - \frac{i_2^2}{s_2} \right) \text{ Вт/кВт м},$$

Звідси

$$\Delta P_{p.c1} = 0,124 k_{\text{и}}^2 P_d \left(\frac{3}{s_1} - \frac{1}{s_2} \right) \text{ Вт/кВт м},$$

При $s_1 = s_2$

$$\Delta P_{p.c2} = 0,248 k_{\text{и}}^2 \frac{P_d}{S} \text{ Вт/кВт м}.$$

Живильна мережа. При тому самому перерізі кабельної лінії, обраної з запасом 10%, приєднана потужність двигунів, що працюють із середнім коефіцієнтом потужності 0,8 визначається виразами:

при напрузі 380 В

$$\sum P_{d1} = 0,47 \frac{i_{\text{к.н}}}{k_{\text{и}} k_{\text{м}}} \text{ кВт}; \quad (1.8)$$

при напрузі 660 В

$$\Sigma P_{д2} = 0,81 \frac{i_{к.н}}{k_{и} k_{м}} \text{ кВт}; \quad (1.8a)$$

де $i_{к.н.}$ – допустимий струм навантаження кабелю, А;

$k_{и}, k_{м}$ – коефіцієнти використання і максимуму кабельної лінії.

Втрати потужності на 1 м траси кабельної лінії

$$P_{п.с} = \frac{3 \cdot 0,031}{S} \left(\frac{0,9 i_{к.н}}{k_{м}} \right)^2 = \frac{3 \cdot 0,075}{S} \left(\frac{i_{к.н}}{k_{м}} \right)^2 \text{ кВт/м}; \quad (1.9)$$

Розділивши $P_{п.с.}$ згідно з виразом (1.9) на $\Sigma P_{д}$ по виразах (1.8) і (1.8a) знайдемо питомі втрати енергії в живильній мережі:

– при напрузі 380 В

$$P_{п.с1} = 0,16 \frac{k_{и}}{k_{м}} i_{к.н} \text{ Вт/кВт}\cdot\text{м}; \quad (1.10)$$

– при напрузі 660 В

$$P_{п.с2} = 0,09 \frac{k_{и}}{k_{м}} i_{к.н} \text{ Вт/кВт}\cdot\text{м}; \quad (1.10a)$$

Різниця в питомих втратах у живильній мережі при напругах 380 і 660 В:

$$\Delta P_{п.с} = \frac{k_{и}}{k_{м}} i_{к.н} (0,16 - 1,3 \cdot 0,09) = 0,043 \frac{k_{и}}{k_{м}} j_{к.н} \text{ Вт/кВт}\cdot\text{м}; \quad (1.11)$$

де $j_{к.н.}$ – допустима щільність струму з умов нагріву; для кабелів з алюмінієвими жилами перерізом від 70 до 185 мм² при прокладці на повітрі змінюється від 2,22 до 1,57 А/мм²;

1,3 – коефіцієнт, що враховує збільшення довжини лінії при напрузі 660 В у зв'язку зі зменшенням числа підстанцій.

Трансформатори. У табл. 1.3. приведені абсолютні і питомі втрати в трансформаторах з первинною напругою до 10 кВ і потужністю 100-2500 кВА.

Таблиця 1.3. Приведені абсолютні і питомі втрати в трансформаторах

Потужність трансформатора, кВА.	Втрати холостого ходу		Навантажувальні втрати	
	абсолютні, кВт	питомі, Вт/кВт	абсолютні, кВт	питомі, Вт/кВт
100	0,49	4,9	1,97	19,7
160	0,73	4,56	2,65	16,56
250	1,05	4,2	3,7	14,8
400	1,45	3,625	5,5	13,75
630	2,27	3,6	7,6	12,06
1000	3,3	3,3	11,6	11,6
1600	4,5	2,8	16,5	10,3
2500	6,2	2,48	23,5	9,4

З табл. 1.3 видно, що зі збільшенням одиничної потужності трансформатора питомі втрати холостого ходу і навантажувальні втрати зменшуються. Тому, що при напрузі 660 В число підстанцій скорочується, а одинична потужність трансформаторів збільшується, питомі втрати на 1 кВт встановленої потужності двигунів при напрузі 660 В знизяться, незважаючи на те, що для живлення навантаження малопотужних двигунів потрібна установка трансформатора також малої потужності.

Для спрощення розрахунків втрати в трансформаторах при напругах 380 і 660 В приймаємо однаковими.

Користуючись виразами (1.7) – (1.11), можна знайти вираз для визначення сумарної питомої різниці втрат у всіх елементах мережі:

$$\sum \Delta P = \left[-(8k_1 + 4k_2) + (l_1 k_{\text{н}}^2 \Delta P_{\text{р.с}} + 0,04 l_2) \right] \text{ Вт/кВт.} \quad (1.12)$$

де $\Delta P_{\text{р.с}}$ – різниця в питомих втратах розподільної мережі, обумовлена по кривим

З і 4 на рис. 1.2 та 1.3.

Визначимо питому економічну ефективність використання 660 В.

Питома економічна ефективність впровадження напруги 660 В визначається за виразом:

$$\Delta Z = \Sigma \Delta d(p_{a,p} + p_n) + \Sigma \Delta P \beta \tau. \quad (1.13)$$

1.2. Розрахунок техніко-економічної ефективності застосування напруги 660 В у цехових мережах

Визначимо капітальні вкладення для окремих елементів схеми.

Електродвигун. Різницю в первинних витратах на 1 кВт встановленої потужності всіх двигунів визначаємо з виразу (1.1). Враховуючи, що на підприємстві майже всі двигуни потужністю до 100 кВт прийmemo, що $k_1=1$, а $k_2=0$. Середні питомі капіталовкладення на одиницю потужності двигуна прийmemo станом на 2023 рік потужністю до 100 кВт 400 грн/кВт, потужністю від 100 кВт 200 грн./кВт. Тоді

$$\Delta d_d = -(0,15k_1d_{1cp} + 0,05k_2d_{2cp}) = -(0,15 \cdot 1 \cdot 400 + 0,05 \cdot 0 \cdot 50) = -60 \text{ грн/кВт.}$$

Живильна мережа. Різниця в питомій вартості живильної мережі при напругах 380 і 660 В визначимо за виразом (1.3б) з урахуванням коефіцієнта подорожчання 25. Приймемо, що $k_c=0,6$, а середня довжина живильної мережі $l_2=40$ м. Тоді:

$$\Delta d_k = 0,008k_c l_2 = 0,008 \cdot 0,6 \cdot 40 \cdot 25 = 4,8 \text{ грн./кВт.}$$

Середня довжина живильної мережі l_2 взята як середнє значення довжин КЛ між ТП і СП, а також між СП.

Трансформатори й апаратура високої напруги. Первинні витрати на одиницю встановленої потужності для трансформаторів і апаратури високої

напруги для варіанту 400/230 визначимо за формулою (1.4):

$$\Delta d_{\text{BH1}} = \frac{N_{\text{ком}} \cdot K_{\text{ком}} + N_{\text{тр}} \cdot K_{\text{тр}} + L_{\text{кл}} \cdot K_{\text{кл}}}{N_{\text{тр}} \cdot P_{\text{тр}}} =$$

$$= \frac{4 \cdot 50000 + 4 \cdot 250000 + 600 \cdot 300}{4 \cdot 1000} = 345 \text{ грн./кВт}$$

Прийmemo, що $L_{\text{кл}} = 4 \cdot 150 = 600$ м де 150 м розрахункова середня довжина кабельної лінії 10 кВ до цехової ТП.

Для напруги 690/400 В первинні витрати на одиницю встановленої потужності визначимо за формулою (1.5).

$$\Delta d_{\text{BH2}} = \frac{N_{\text{ком}} \cdot K_{\text{ком}} + \Sigma N_{\text{тр}} \cdot K_{\text{тр}} + L_{\text{кл}} \cdot K_{\text{кл}}}{\Sigma N_{\text{тр}} \cdot P_{\text{тр}}} =$$

$$= \frac{2 \cdot 50000 + 2 \cdot 350000 + 2 \cdot 50000 + 300 \cdot 300}{2 \cdot 1600 + 2 \cdot 160} = 281,25 \text{ грн./кВт}$$

Загальна різниця в питомій вартості при напругах 380 і 660 В.

Підсумовуючи розрахунки можна визначити загальну різницю в питомій вартості в схему електропостачання при напругах 380 і 660 В за (1.6):

$$\Sigma \Delta d = \Delta d_{\text{д}} + \Delta d_{\text{к}} + (\Delta d_{\text{BH1}} - \Delta d_{\text{BH2}}) =$$

$$= -60 + 4,8 + (345 - 281,25) = 8,55 \text{ грн./кВт.}$$

Визначимо питомі втрати потужності в окремих елементах схеми.

Сумарне зниження втрат при переводі мережі на більшу напругу визначимо за (1.12). Прийmemo, що середня довжина розподільчої мережі $l_1 = 6$ м, середній коефіцієнт використання для даного цеху $k_{\text{и}} = 0,41$.

$$\begin{aligned}\Sigma \Delta P &= \left[-(8k_1 + 4k_2) + (l_1 k_{\text{н}}^2 \Delta P_{\text{p.c}} + 0,04 l_2) \right] = \\ &= \left[-(8 \cdot 1 + 4 \cdot 0) + (6 \cdot 0,41^2 \cdot 0,9 + 0,04 \cdot 40) \right] = -5,49 \text{ Вт/кВт}\end{aligned}$$

де $\Delta P_{\text{p.c}} = 0,9 \text{ Вт/кВт}\cdot\text{м}$ – різниця в питомих втратах розподільної мережі, обумовлена по кривим 3 і 4 на рис. 1.3.

Визначимо питому економічну ефективність використання 660 В.

Питома економічна ефективність впровадження напруги 660 В визначається за (1.13):

$$\begin{aligned}\Delta Z &= \Sigma \Delta d(p_{\text{a.p}} + p_{\text{н}}) + \Sigma \Delta P \beta \tau = 8,55(0,15 + 0,12) + (-5,49) \cdot 2,91494 \cdot 1381 \cdot 10^3 = \\ &= -19,8 \text{ грн./кВт}.\end{aligned}$$

1.3. Розрахунок техніко-економічної ефективності застосування напруги 660 В для цеху товарів народного вжитку.

З аналізу розподілу електроприймачів за потужністю (табл. 1.4) запропоновано перевести потужні споживачі СП-7, СП-8 та сушильну камеру на напругу 660 В. Переважна більшість споживачів СП-7 та СП-8 це потужні машини точкового зварювання, які мають схему з'єднання на напругу 380 В у вигляді трикутника. Отже, при їх переводі на напругу 660 В достатньо з'єднати первинну обмотку зварювальних трансформаторів у зірку. Аналогічним чином переводиться на напругу 660 В і потужна сушильна камера.

Розрахунок електричного навантаження напругою вище 1000 В з розподілом на ТП 0,4 та 0,66 кВ наведена в табл. 1.5.

Порівнюючи результати розрахунку табл. 1.4 та 1.5 можна зробити наступні висновки:

– варіант з напругою 0,66 кВ потребує додаткової установки ще однієї трансформаторної підстанції з трансформаторами 2×ТМ-160;

Таблиця 1.4. Розрахунок електричних навантажень в мережі вище 1000 В.

№ п/п	Найменування обладнання	n	Pн, кВт		Ки	Cos	tg	Середнє		n _с	Км	Розрахункове		
			Одного	Сумарна				Pср, кВт	Qср, кВар			Pр, кВт	Qр, кВар	Sp, кВА
	СП-1	12	0,6-22,3	70,8	0,18	0,67	1,1	12,46	13,67	6	2,48	30,91	15,04	34,38
	СП-2	12	0,6-7,5	45,95	0,15	0,67	1,12	6,74	7,53	12	1,96	13,21	7,53	15,21
	СП-3	12	4-15	107,8	0,17	0,64	1,21	17,84	21,57	12	1,88	33,55	21,57	39,88
	СП-4	12	1,4-15,4	68,6	0,2	0,7	1,03	13,42	13,88	9	1,9	25,50	15,27	29,72
	СП-5	12	1,5-8,5	34,7	0,47	0,83	0,66	16,18	10,76	8	1,5	24,27	11,83	27,00
	СП-6	12	1,5-2,5	24	0,51	0,82	0,69	12,15	8,41	12	1,27	15,43	9,26	17,99
	СП-7	6	4-150	302,7	0,34	0,6	1,33	103,66	137,86	4	2,03	210,43	151,64	259,38
	СП-8	4	2-200	342	0,35	0,6	1,33	119,24	158,95	4	2	238,48	174,84	295,71
	СП-9	6	1,5-8,5	30,5	0,13	0,63	1,24	4,10	5,08	6	2,95	12,11	5,59	13,33
	СП-10	4	2,2-7,5	20,2	0,13	0,61	1,3	2,62	3,41	4	3,24	8,48	3,75	9,27
	СП-11	10	2,7-7	36,47	0,45	0,65	1,18	16,39	19,26	10	1,39	22,78	21,19	31,11
	Сушильна камера	1	400	400	0,7	0,95	0,33	280,00	92,03	-	-	400,00	131,47	421,05
	Всього силова	103	0,6-400	1483,72	0,41	0,78	0,81	604,817	492,41	7	1,55	937,5	492,4	1058,9
	Освітлення цеху											46,63	79,31	92,00
	Всього по ТП											984,10	571,72	1138,1
	КП 0,4 кВ												536	
	Всього по ТП з КП											984,10	35,72	984,7
	Втрати в тр-рах ТП 2×630											13,82	67,53	
	Всього на шинах 10 кВ ТП											997,92	103,25	1003,2

Таблиця 1.5. Розрахунок електричних навантажень в мережі вище 1000 В з розбиттям на групи 0,4 та 0,66 кВ.

№ п/п	Найменування обладнання	п	Рн, кВт		Ки	Cos	tg	Середнє		п _э	Км	Розрахункове		
			Одного	Сумарна				Рср, кВт	Qср, кВар			Рр, кВт	Qр, кВар	Sp, кВА
	СП-1	12	0,6-22,3	70,8	0,18	0,67	1,1	12,46	13,67	6	2,48	30,91	15,04	34,38
	СП-2	12	0,6-7,5	45,95	0,15	0,67	1,12	6,74	7,53	12	1,96	13,21	7,53	15,21
	СП-3	12	4-15	107,8	0,17	0,64	1,21	17,84	21,57	12	1,88	33,55	21,57	39,88
	СП-4	12	1,4-15,4	68,6	0,2	0,7	1,03	13,42	13,88	9	1,9	25,50	15,27	29,72
	СП-5	12	1,5-8,5	34,7	0,47	0,83	0,66	16,18	10,76	8	1,5	24,27	11,83	27,00
	СП-6	12	1,5-2,5	24	0,51	0,82	0,69	12,15	8,41	12	1,27	15,43	9,26	17,99
	СП-9	6	1,5-8,5	30,5	0,13	0,63	1,24	4,10	5,08	6	2,95	12,11	5,59	13,33
	СП-10	4	2,2-7,5	20,2	0,13	0,61	1,3	2,62	3,41	4	3,24	8,48	3,75	9,27
	СП-11	10	2,7-7	36,47	0,45	0,65	1,18	16,39	19,26	10	1,39	22,78	21,19	31,11
	Всього силова	92	0,6-22,3	439,02	0,23	0,70	1,02	101,918	103,58	39	1,26	128,4	103,6	165,0
	Освітлення цеху											46,63	79,31	92,00
	Всього по ТП											175,05	182,89	253,2
	КП 0,4 кВ												100	
	Всього по ТП з КП											175,05	82,89	193,7
	Втрати в тр-рах ТП 2×160											2,85	11,68	
	Всього на шинах 10 кВ ТП 0,4 кВ											177,90	94,56	201,5
	СП-7	6	4-150	302,7	0,34	0,6	1,33	103,66	137,86	4	2,03	210,43	151,64	259,38
	СП-8	4	2-200	342	0,35	0,6	1,33	119,24	158,95	4	2	238,48	174,84	295,71
	Сушильна камера	1	400	400	0,7	0,95	0,33	280	92,03	-	-	400,00	131,47	421,05
	Всього силова	11	2-400	1044,7	0,48	0,79	0,77	502,90	388,84	5	1,65	829,8	427,7	933,5
	Всього по ТП											829,78	427,72	933,5
	КП 0,66 кВ												150	
	Всього по ТП з КП											829,78	277,72	875,0
	Втрати в тр-рах ТП 2×630											11,87	58,62	
	Всього на шинах 10 кВ ТП 0,66 кВ											841,65	336,34	906,4

– потужність трансформаторної підстанції, що на напругу 0,4, що на 0,66 кВ однакова і вимагає установки трансформаторів 2×ТМ-630, це пояснюється тим, що зменшення розрахункового навантаження на підстанцію 10/0,66 за рахунок виділення малопотужних споживачів на окрему підстанцію, не дозволяє зменшити її потужність на одну ступень;

– використання двох підстанцій дозволяє підвищити пропускну здатність, що в свою чергу дозволяє зменшити потужність компенсуючих пристроїв з 536 квар для напруги 0,4 кВ до 250 квар для змішаного використання напруги 0,4 та 0,66 кВ.

Перетин кабельних ліній для напруги 660 В залишаємо такі самі, як і для напруги 380 В, силові пункти та автомати для напруги 660 В хоча і будуть на менший струм але вважаємо, що капіталовкладення в них для напруги 660 В будуть такі самі як і для 380 В.

Розрахунок капіталовкладень по обом варіантам електропостачання напругою 0,4 та 0,66 кВ наведена в табл. 1.6.

Таблиця 1.6. Розрахунок капіталовкладень у варіанти електропостачання напругою 0,4 та 0,66 кВ

Елемент схеми	Напруга	
	0,4 кВ	0,4 та 0,66 кВ
Трансформаторні п/ст 2×ТМ-630/10 2×ТМ-160/10	253000 грн. –	253000 грн. 116600 грн.
Додаткова кабельна лінія 10 кВ, що з'єднує підстанції	–	3410 грн. ААБ (3×95) 50 м
Конденсаторні установки	113109 грн. 2×УКРМ-0,4-268	84510 грн. 2×УКРМ-0,4-50 2×УКРМ-0,66-75
Всього	366109 грн.	457520 грн.

Розрахунок вартості втрат електричної енергії для варіантів 660 В та 380 В проведений за методикою наведеною [2]. Результати розрахунку наведені в табл. 1.7.

Таблиця 1.7. Результати розрахунку вартості втрат електричної енергії для варіантів електропостачання напругою 380 та 660 В

КЛ	r_0 , мОм/м	L, м	R, мОм	I, А	В, грн
Напруга 380 В					
ТП-Суш. камера	0,073	80	5,84	607,7	8681,90
ТП-СП7	0,14	40	5,6	374,4	3159,97
ТП-СП8	0,11	33	3,63	426,8	2661,82
Всього вартість втрат для напруги 380 В					14503,69
Напруга 660 В					
ТП-Суш. камера	0,073	80	5,84	368,3	3188,94
ТП-СП7	0,14	40	5,6	226,9	1160,69
ТП-СП8	0,11	33	3,63	258,7	977,71
Всього вартість втрат для напруги 660 В					5327,34

Результати розрахунку поточних витрат для схем електропостачання напругою 380 та 660 В наведено в табл. 1.8.

Таблиця 1.8. Розрахунок поточних витрат для варіантів схем електропостачання напругою 380 і 660 В

№	Елемент схеми	K, грн.	H_a , %	H_e , %	$H_{a.e.}$, %	C, грн.
380 В	П/ст. 2×ТМ-630/10/0,4	253000	15	5	20	50600
	Конденсаторні установки 2×УКРМ-0,4-268	113109	15	5	20	22621,8
	Всього					73221,8
660 В	П/ст. 2×ТМ-630/10/0,66	253000	15	5	20	50600
	П/ст. 2×ТМ-160/10/0,4	116600	15	5	20	23320
	Конденсаторні установки 2×УКРМ-0,66-75					
	2×УКРМ-0,4-50	84510	15	5	20	16902
	Кабельна лінія 10 кВ	3410	5	5	10	341
	Всього					91163

Остаточний розрахунок обох варіантів наведено в табл. 1.9.

Таким чином, розрахунки приведених витрат показали, що різниця між варіантами складає більше 10%. Отже, варіант електропостачання напругою 660В для цеху товарів народного вжитку є не вигідним.

Таблиця 1.9. Техніко-економічні показники варіантів електропостачання
напругою 380 та 660 В

№	Показники	Одиниці	Варіант схеми	
			380 В	660 В
1	Капітальні вкладення	грн.	366109	457520
2	Поточні витрати	грн.	73221,8	91163
3	Вартість втрат електроенергії	грн.	14503,69	5327,34
4	Приведені витрати	грн.	131658,57	151392,74

1.4. Висновки

Використання напруги 660 В для цеху товарів народного вжитку є техніко-економічно не виправданим. Це пояснюється наступними причинами:

1. Більшість двигунів електроприймачів цеху мають потужність до 20 кВт при цьому переводити їх на напругу 660 В є не вигідним адже це призведе як до здорожчання їх вартості так і до збільшення втрат в самих двигунах. Тому, більш доцільним було розглядати варіант електропостачання напругою 380 В для малопотужних споживачів та 660 В для потужних. До того ж в цеху вони знаходяться окремо та живляться від двох силових пунктів (СП-7, СП-8).

2. При проектуванні системи електропостачання з напругою розподільчих мереж 400/230 В були вибрані трансформатори потужністю 630 кВА, а при переводі мереж на напругу 690/400 В вимагає використання трансформаторів тієї ж самої потужності 630 кВА. При цьому за рахунок наявності у варіанті на 660 В додаткових трансформаторів потужністю 160 кВА, що живлять освітлювальне та малопотужне навантаження призводить до суттєвого збільшення капіталовкладення в варіант 660 В.

3. Суттєвого зменшення втрат в варіанті напругою 660 В також не спостерігається. Це пояснюється відносно невеликою протяжністю кабельних ліній у цеху.

4. Зменшення потужності конденсаторних батарей за рахунок збільшення пропускної здатності трансформаторів у варіанті електропостачання напругою 660 В не призводить до суттєвого зниження капіталовкладень.

РОЗДІЛ 2

ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ НАПРУГИ 660-1140 В ЗА КОРДОНОМ

2.1. Перспективи впровадження напруги 660-1140 В за кордоном

Все більше поширення знаходить впровадження підвищених напруг у внутрішньозаводських розподільних мережах. Така тенденція знаходить своє відображення в міжнародних стандартах. Підготовчі роботи з впровадження 660 В ведуться в Польщі, Угорщині й інших країнах. Протягом декількох років ГПІ Електропроект разом з інститутом Електроустановок (м. Берлін) і Комбінатом ФЕБ Штаркштрот-Анлагенбау (Лейпдиг-Халле) досліджували теоретичні і технічні питання, пов'язані з впровадженням цієї номінальної напруги в загальнопромислових установках.

Значне зростання енергоємності промислових підприємств і збільшення середньої потужності окремих електроприймачів, створюють необхідність підвищення напруги внутрішньоцехового розподілу електроенергії в розвинених країнах світу. У США побудовані установки на 600 і навіть 762 В, останні, головним чином, у нафтовій промисловості. Тенденція збільшення живильної напруги особливо яскраво виявляється в гірській промисловості. Встановлені потужності електроприймачів гірничо-збагачувальних комбінатів досягають 400–500 тис. кВт, а споживання електроенергії в рік складає 1,5 млрд. кВт·год. У чорній металургії великі агрегати, такі, як доменні печі обсягом 5000–5500 м³, продуктивністю більше 4 млн. т чавуну в рік, створюють електричне навантаження більше 50 МВА, киснево-конверторні цехи з установками безупинного розливання продуктивністю 8–10 млн.т сталі з навантаженням до 100 МВА, листопрокатні цехи з безупинними широко стрічковими станками для виробництва тонкого сталевих листа в кількості до 6–6,5 млн. т з навантаженням 180–2000 МВА, дугові електропечі ємністю 200 т.

Характерним є створення територіальних промислових комплексів, що поєднують кілька підприємств, як, наприклад, нафтохімічний завод, синтетичного спирту, синтетичного каучуку і шинний. Разом з автомобільним виробництвом

споруджуються заводи двигунів, коліс, ливарний, ремонтно-інструментальний і т.п. Електричні навантаження таких промислових вузлів досягають більш 1000 МВА.

З урахуванням особливостей гірської промисловості (велика продуктивність, великі довжини кабелів) у різних країнах були початі конкретні заходи для збільшення напруги при розподілі енергії в інших галузях промисловості.

Підвищення застосовуваних до тепер напруг 380, 415, 480, 500, 660 В дозволяє знизити переріз живильних кабелів, а також втрати потужності і струм короткого замикання.

Для перевірки економічної ефективності впровадження напруги 660 В була споруджена установка з двох вузлів: перший – комплектна трансформаторна підстанція потужністю 630 кВ А, змонтована на електростанції заводу, другий – на насосній станції з резервуаром 5000 м. Установка на 660 В на насосній станції складалася з одного щита з трьома захисними панелями, до яких були приєднані шість асинхронних двигунів потужністю до 40 кВт. Після перевірки дослідної установки в умовах промислової експлуатації були запуснені чотири насосні станції загальною потужністю близько 7 МВт, на яких встановлені двигуни потужністю по 320 і 400 кВт. Такі двигуни звичайно виконувалися на напругу 6 кВ. Новий рівень напруги в Німеччині завоював популярність серед експлуатаційників, особливо у всіх галузях хімічної промисловості, будівництва установок для електростанції, цементної промисловості, водяного господарства, целюлозної і паперової промисловості, гірської справи, скляної і фармацевтичної промисловості.

2.2. Електропостачання вугільних і гірничодобувних шахт

У гірській промисловості Польщі річне споживання електроенергії складає більш 6 млн. МВт·год. Основні групи споживачів електроенергії – гірничодобувні машини, конвеєрний транспорт, електровозне відкочування, шахтні піднімальні установки, вентилятори головного провітрювання, насоси головного водовідливу,

електропривод компресорів і т.п. Потужність двигунів окремих гірничодобувних машин у підземних виробленнях доходить до 200 кВт. Застосування великих потужностей неможливо, головним чином – через обмежені розміри підземних вироблень. Крім того, збільшенні потужності приводних двигунів обмежило б припустиму відстань від джерела живлення, при якому втрати напруги знаходяться в технічно прийнятних межах. У польських шахтах прийнята напруга живлення електродвигунів 500 В. В даний час проводяться роботи з впровадження 1000 В.

Якщо врахувати потужність двигунів транспортерів, що працюють разом з комбайнами, потужність усієї системи в лаві може дійти до 200 кВт і більше. При застосуванні звичайних к. з. двигунів комбайнів і їхніх конвеєрів усю живильну лаву мережа, а також трансформатор необхідно розраховувати на пускові струми. Одним зі шляхів поліпшення енергетичних показників гірничодобувних машин є застосування більш високої напруги живлення двигунів.

Енергія, споживана підземним рейковим транспортом усієї гірської промисловості Польщі, складає близько 180000 МВт·год у рік. Перехід найближчим часом електровозів на підвищену напругу тягової мережі (з 250 на 660 В) приведе до зменшення втрат у мережі приблизно вдвічі. Шахтний водовідлив – один з великих споживачів електроенергії. У деяких шахтах при значній кількості води потужності насосних установок досягають 20–30% загальної встановленої потужності (до 2000 кВт). Поліпшення їх роботи може бути досягнуто застосуванням електропривода насосів за допомогою синхронних електродвигунів з одночасним поліпшенням коефіцієнта потужності. Для нових шахт у Польщі із добовим видобутком 25 – 30 тис. т вугілля і з встановленою потужністю електрообладнання 30–50 МВт живляча напруга 6 кВ недостатня з погляду припустимого навантаження кабелів і втрати напруги в мережах. Намічається тенденція підвищення напруги до 15 кВ, у зв'язку з чим буде потрібна розробка нових конструкцій кабелів для лаз і штреків. У шахтах Польщі дотепер використовувався принцип розміщення підстанції в прилавових штреках на відстані 600–700 м від фронту лави. У майбутньому по розуміннях економічної

доцільності можливий перехід до використання пересувних підстанцій, встановлюваних поблизу фронту лави. Це створює труднощі, пов'язані з необхідністю розробки електрообладнання відповідних габаритів і маси. Підвищення одиничної потужності шахтних машин і механізмів у деяких випадках до 500 кВт вимагає використання для мереж нижчої напруги 1000 В замість застосовуваного дотепер 500 В і відповідного переходу живлення освітлення і дрібних інструментів з 127 на 220 В. Типова сучасна автоматизована лава з встановленою потужністю великих електроприймачів 780 кВт повинна забезпечуватися трьома трансформаторами 315 чи 400 кВА. На прикладі шахти Јап розглянуті питання застосування сучасного електрообладнання й оптимального компонування його у вагонетках.

Цікаве порівняння технічного стану електрифікації шахт Рура. У шахтних кабельних мережах високої напруги, як правило, уникають застосовувати сполучні кабельні муфти через їхню недостатню надійність; замість них монтують розподільні кабельні шухляди. Підвищення потужності електропривода у вибої вимагає збільшення перерізу чи кабелів підвищення робочої напруги з 500 до 1000 В, що зв'язано з труднощами посилення електричної ізоляції і підвищенням небезпеки ураження електричним струмом. Тому на ряді шахт трансформаторну установку наближають до вибою, що виключає необхідність підвищення напруги. Трансформатори потужністю 500–630 кВА встановлені в шахтах, причому вимикач установлений чи тільки на початку лінії високої напруги, чи при довгій лінії і на її кінці, що в ряді випадків доцільно для полегшення умов обслуговування.

У Німеччині для визначення надійності електропостачання вугільного вибою високої продуктивності були виконані дослідження привода врубових машин потужністю 2×320 кВт, забійного конвеєра 110 кВт, гідравлічних насосів 136 кВт і штрекового конвеєра 68 кВт. В результаті цих досліджень отримані порівняльні технічні дані при напругах 500 і 1000 В:

Переріз провідників, мм²..... 3×35 3×16

Відхилення напруги при пуску, %	29	20
Зниження обертаючого моменту при пуску, %	42	28

На підставі цих даних зроблений висновок про доцільність електропостачання гірських вироблень великої продуктивності при напрузі 1000 В.

У шахтах Лотарингії (Німеччина) працюють трифазні мережі 1000 В з ізолюваною нейтраллю. У мережах 1000 В встановлені 22 трансформатора, від яких живляться врубові машини потужністю 100–230 кВт і інші споживачі потужністю 6–100 кВт. Підвищена напруга мережі поліпшила умови пуску й експлуатації двигунів і, у ряді випадків, зменшила їх число. Американська вугільна компанія «Естерн» почала застосовувати напругу 1000 В для забійних механізмів.

На вугільних шахтах Австралії напруга 950 В застосовується в приводі комбайнів зі стріловидним робочим органом. Для комбайнів такого типу рівень напруги 950 В цілком достатній, у той час як для комбайнів з роторним робочим органом, ймовірно, необхідно підвищити напругу до 3300 В. Використання напруги 3300 В не викликало значних ускладнень. Найбільша увага при впровадженні 950 В приділялася вибору системи електропостачання, захисту, комутуючої апаратури. Вибір напруги 950 В, а не 1100 В пояснюється прагненням здобувати устаткування в США. Система електропостачання вугільної ділянки, розроблюваного панельним способом, розрахована на два рівні напруги у вибої: 950 і 415 В.

Сухий трансформатор 6/0,915 кВ, 500 кВА включений у конструкцію пересувної підстанції, що має вакуумний контактор на стороні 915 В і повітряний вимикач на стороні 6 кВ. Висота підстанції 1,04 м. Передбачено захист від струмів к. з. і перевантажень, витоків на землю, контроль цілості контуру, що заземлює, метанозахист. Переносний гнучкий кабель перерізом жил 39 мм² забезпечив подачу напруги на 230 м від підстанції до двигуна 915 В при можливості видалення до 690 м. Вартість кабелю знижена завдяки застосуванню

напруги 915 В. Розбірна муфта на 1100 В, 300 А.

Інша пересувна підстанція 6/0,415 В живить інші забійні машини, її потужність 400 кВА. Результати порівняльних іспитів протягом 18 місяців показали, що для 950 В надійними виявилися всі три типи контакторів: з подвійним повітряним розривом, вакуумні і повітряні блокового типу зі США. Отримані позитивні результати дозволяють рекомендувати впровадження напруги 950 В також і для живлення електроприводу самохідних вагонів. Доцільне виготовлення пересувної підстанції з двома вихідними напругами 950 В, 350 кВ А і 435 В, 250 кВ А, її вартість оцінюється 125 тис. дол.

У деяких роботах досліджені перспективні напруги систем електропостачання шахт вугільної промисловості з врахуванням збільшення максимальної потужності привода вугільних комбайнів до 400 кВт. У сучасних умовах нерегульований привод змінного струму цілком відповідає вимогам найбільш доцільного режиму роботи комбайна з постійною продуктивністю при потоковій технології виїмки вугілля. Техніко-економічні дослідження і порівняння систем електропостачання при різних рівнях напруги рекомендують у перспективі наступні номінальні напруги: для шахтних розподільних мереж поверхні і підземних розробок 10 кВ; для шахтних дільничних мереж потужних забійних машин 3000 В і споживачів невеликої потужності, крім освітлення і ручного інструмента, 660 В.

У США є вимоги до шахтних кабелів, пристроїв мереж низької (до 660 В) і середньої напруги (до 1000 В), обмеження по застосуванню напруги в підземних умовах, де приводяться діаграми конструкцій переносних гнучких шахтних кабелів і застосовувані при цьому системи контролю цілості контуру, що заземлює. У мережах до 1000 В у переносному кабелі допускається не більше однієї тимчасової счалки на термін до 24 год, у кабелях вище 1000В тимчасових счалок не допускається. Є також рекомендації до виконання постійних счалок і обмеження застосування схем з контролюючим заземленням провідником через можливість появи дуги між корпусом пересувної машини і зовнішнім середовищем. На підставі робіт фірми «Вестингауз» розроблені рекомендації з

запобігання небезпечної дуги, методика виміру Е.Р.С, що наводяться в шахтних мережах, і встановлені гранично припустимі норми Е.Р.С. у ланцюзі заземлення (100 мВ за прийнятою методикою). Розроблено кабелі, що зменшують ефект, що наводиться Е.Р.С, дані рекомендації з електричної ізоляції переносних гнучких шахтних кабелів. Застосування етиленпропіленової електричної ізоляції з високими тепловими і діелектричними характеристиками дозволяє в порівнянні з еквівалентною електричною ізоляцією зі стиренбутадиєна збільшити припустимий рівень застосовуваної напруги з 600 до 2000 В і припустиму температуру нагрівання провідників з 75 до 90°C. Електрична ізоляція з етиленпропіленової гуми рекомендується і для кабелів напругою 2,0–35 кВ.

2.3. Електропостачання нафтобурових і нафтовидобувних установок

Електрообладнання нафтобурових і нафтовидобувних установок має свої особливості. У Фінляндії змонтоване електрообладнання двох нафтобурових установок, що складаються з чотирьох дизель-генераторів 2300 кВА, 600 В, 60 Гц, 900 об/хв, розподільних щитів 600 і 400 В, п'яти розподільних трансформаторів загальною потужністю 2600 кВА, чотирьох станцій керування двигунами і 12 тиристорними перетворювачами з вихідними параметрами 1000 А, 700 В. Установа містить у собі 12 бурових двигунів.

Фірмою «Філіпс-Петроліум К°» (США) узагальнений досвід електропостачання нафтових промислів при напрузі 796 В у системі з заземленою нейтраллю трансформатора, системи живлення асинхронних двигунів станків-качалок і інших нафтопромислових механізмів при лінійній напрузі 796 В. Всього знаходилося в експлуатації близько 700 асинхронних двигунів потужністю 2,2 – 190 кВт. Вартість асинхронних двигунів 460/796 В вище вартості асинхронних двигунів 230/460 В на 6 – 12%. Вартість апаратури керування для обох систем напруги однакова.

Надійність електрообладнання в мережі 796 В з заземленою нейтраллю знаходиться на рівні надійності електрообладнання, що працює в мережі 460 В, а надійність контактів пускачів навіть вище в мережі 796 В. Економічний ефект від

застосування напруги 796 В досягається внаслідок зменшення перерізу провідників мережі, зменшення числа трансформаторів і збільшення комутаційної здатності пускачів. Застосування напруги 796 В дає економію у витратах на електричну мережу 15–40%.

2.4. Електропостачання хімічних, збагачувальних і целюлозно-паперових підприємств

В Австралії на азотному заводі з встановленою потужністю обладнання 126 МВА, що живиться по двохцепній лінії 110 кВ від енергосистеми, до шин 6 кВ підстанції 110/6 кВ приєднані двигуни напругою вище 1000 В потужністю 1500 кВт і більше, трансформатори 6/0,5 кВ потужністю 1000 і 1600 кВА і 6/0,38/0,22 кВ потужністю 500 кВА. Мережа низької напруги 500 В живить силове навантаження, мережа 380/220 В – освітлення і опалення. Резервне живлення заводу здійснюється від теплової електростанції на напрузі 30 кВ через трансформатори 30/6 кВ потужністю 20 МВА.

Порівняння варіантів електропостачання збагачувальних комбінатів на напруги 10 і 0,66 кВ і 6 і 0,38 кВ показало, що застосування напруги 660 В для двигунів потужністю більше 1 кВт разом з напругою 10 кВ в умовах великих збагачувальних фабрик збільшує втрати електроенергії на 6%, а капітальні витрати – на 1%. Основна причина – наявність великої кількості малопотужних (до 10 кВт) електродвигунів, що при напрузі 660 В коштують трохи дорожче, ніж при напрузі 380 В. Перспективна напруга 1140 В. Економічно доцільна потужність двигунів у цьому випадку виявиться в межах 160 – 630 чи навіть 200 – 800 кВт. Максимальна потужність двигунів при номінальному струмі 630 А буде досягати 1100 кВт. Включення в мережу 1140 В двигунів потужністю 100 – 250 кВт дозволяє істотно розвантажити мережі напругою 380 В. Це дає можливість скоротити кількість цехових підстанцій і поліпшити режим роботи освітлювальних установок, пристроїв керування й автоматики.

У великому вибухонебезпечному цеху виробництва аміаку у Франції здійснена система розподілу електроенергії напругою 500 В з глухим

заземленням нейтралі. Ця система передбачає централізоване живлення електроприймачів однією технологічною лінією виробництвом 1000 т аміаку за добу від одного багатопанельного щита, що знаходиться в окремому приміщенні з нормальним повітряним середовищем. Осередок щита має висувні блоки з автоматами і контактором, а також висувні блоки релейної апаратури.

Для побудови надійних і економічних схем низької напруги істотним є вибір напруги в залежності від навантажень. При потужності електроприймачів до 250 кВт рекомендується застосовувати напругу 380 В, при потужностях більше 250 кВт – 660 В. Застосовуються радіальні і кільцеві схеми розподілу електроенергії на стороні низької напруги. Перевагами радіальної схеми є простота, потреба в невеликій кількості елементів захисту, можливість використання декількох трансформаторів малої потужності замість однієї великої потужності і забезпечення при цьому більш високого ступеня надійності. Перевагою кільцевої схеми є менша кількість відключень споживача.

Серйозна увага приділяється впровадженню напруги 660 В у Німеччині. Стандарт Німеччини наказує на всіх знову проєктованих підприємствах застосовувати напругу 660 В. Техніко-економічні дослідження доцільності застосування напруги 660 В для ряду галузей промисловості проводилися Інститутом електроустановок (Берлін) для цементної, металургійної, деяких цехів текстильної промисловості, а також для власних потреб електростанцій. Ефективність застосування 660 В замість 380 В склала для власних потреб електростанцій по капітальних витратах на всю систему електропостачання 3,5%, для цементного заводу по щорічних розрахункових витратах на низьковольтну мережу 10,5%, для складів хімічного і текстильного підприємства – менше 1% щорічних розрахункових витрат.

Аналіз різних режимів нейтралі трансформаторів 6–10/0,69 кВ показав, що як система з заземленою нейтраллю, так і система з ізольованою нейтраллю забезпечують досить надійний захист експлуатаційного персоналу від ураження електричним струмом. При конкретному проєктуванні вибір режиму нейтралі 660 В варто робити з врахуванням додаткових міркувань (наявність однофазних

електроприймачів 380 і т. д.).

В даний час в нових установках все ширше застосовується напруга 660В замість 500 і 220/380 В. При напрузі 660 В встановлюються двигуни потужністю до 400 кВт і вище.

Двигуни потужністю до 1700 кВт економічніше вибирати на 10 кВ. Для малих двигунів, ланцюгів керування і сигналізації звичайно використовуються напруги 220, 110, 40 і 24 В. Для живлення ланцюгів контакторів може бути використана напруга 220–500 В.

Підвищення споживаної потужності і перехід до великих одиничних потужностей у промисловості визначають необхідність підвищення напруги розподільних мереж. При цьому досягається обмеження струмів к.з., підвищується стабільність напруги, полегшуються кабелі і зменшуються питомі капітальні вкладення. На нових підприємствах віддається перевага напрузі 660 В, рекомендованій МЕК, а також національними стандартами Німеччини. Вибір нової розподільної напруги має ряд переваг. Короткозамкнені асинхронні двигуни можуть випускатися одночасно на дві напруги 660/380 В у діапазоні потужності 0,5 – 630 кВт. Низьковольтні кабелі можуть працювати при напрузі 750 В, а кабелі останніх випусків – до 1000 В. Сучасні комутаційні апарати на 500 В можуть успішно працювати при 600 В. При переході на 660 В підвищується максимальна одинична потужність понижуючого трансформатора, обмежена звичайно максимальним значенням струму к. з., рівним 50 кА. Підвищення одиничної потужності понижуючого трансформатора економічно вигідно, тому що при цьому знижується питома вартість встановленого кВА. Так, по цінам Фінляндії ціна 1 кВА трансформатора зменшується на 20% при збільшенні одиничної потужності з 1 до 2 МВА. Максимальна потужність асинхронного короткозамкнутого двигуна підвищується з 315 кВт при 380 В до 630 кВт при 660 В. За даними виконаних у Німеччині досліджень аварійність обладнання 660 В менше, ніж 3 – 10 кВ: кабелів у 11 раз, комутаційних апаратів а 5 разів, двигунів у 2 рази.

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ НАПРУГОЮ 660 В

3.1. Розподільча мережа напругою вище 1000 В.

Розподіл електроенергії на промислових підприємствах найчастіше проводиться при напрузі 10 кВ. Напруга 6 кВ приймається при тій же напрузі джерела живлення або коли на підприємстві встановлена велика кількість трифазних електродвигунів середньої потужності напругою 6000 В. При напрузі джерела живлення 10 кВ для живлення таких електродвигунів установлюють проміжні трансформатори 10/6,3 кВ. Якщо головні трансформатори встановлюють з розщепленою вторинною обмоткою на напруги 10 і 6,3 кВ, то з'являються розподільчі пристрої 10 і 6,3 кВ, кабельні мережі і струмопроводи на дві напруги. Це ускладнює схему електропостачання, експлуатацію і знижує надійність. Що накладає обмеження на застосування схем електропостачання промислових підприємств з двома напругами розподільчих мереж вище 1000 В. При напрузі 660 В потреба в напрузі 6000 В, як правило, відпадає, а для живлення електродвигунів середньої потужності встановлюють трансформатори 10/0,69 кВ. При напрузі енергосистеми 35 кВ напруга 660 В дозволяє відмовитися від установки трансформаторів 35/6,0 кВ, а розподіл електроенергії в межах підприємства робити на напрузі 35 кВ. В цьому випадку в якості цехових трансформаторів використовуються ТП 35/0,66 кВ, а розподільча мережа у межах підприємства виконується кабельними лініями 35 кВ. Якщо на підприємстві є кілька електродвигунів потужністю 800 кВт і вище, то їх у цьому випадку можна жити за схемою блоку трансформатор – електродвигун. Типові вузли схем електропостачання на напрузі 380 і 660 В, коли розподіл електроенергії в межах промислового підприємства проводиться при напругах 6, 10 і 35 кВ, приведені на рис. 3.1-3.3.

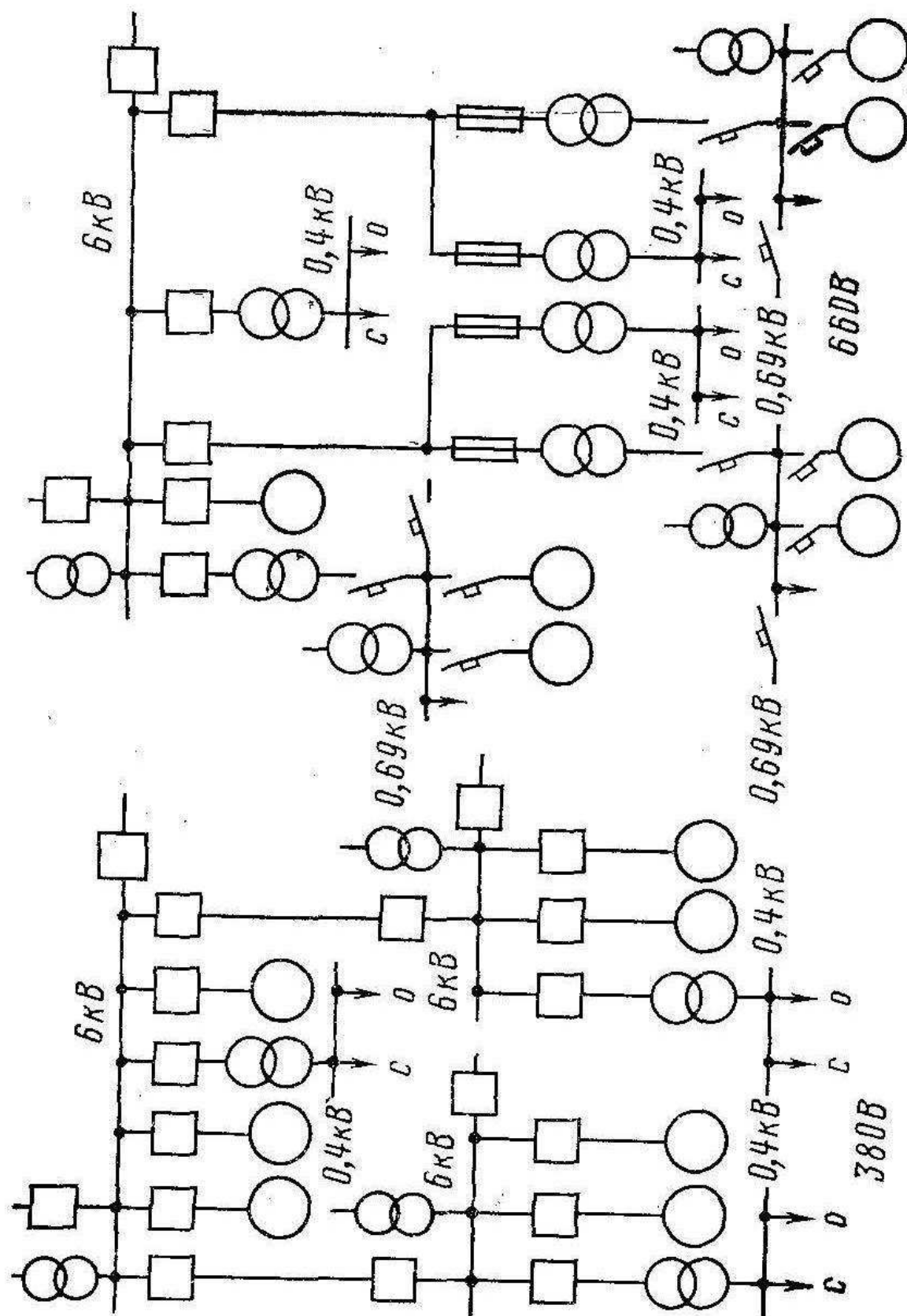


Рис. 3.1. Схеми електропостачання при первинній напрузі 6 кВ.

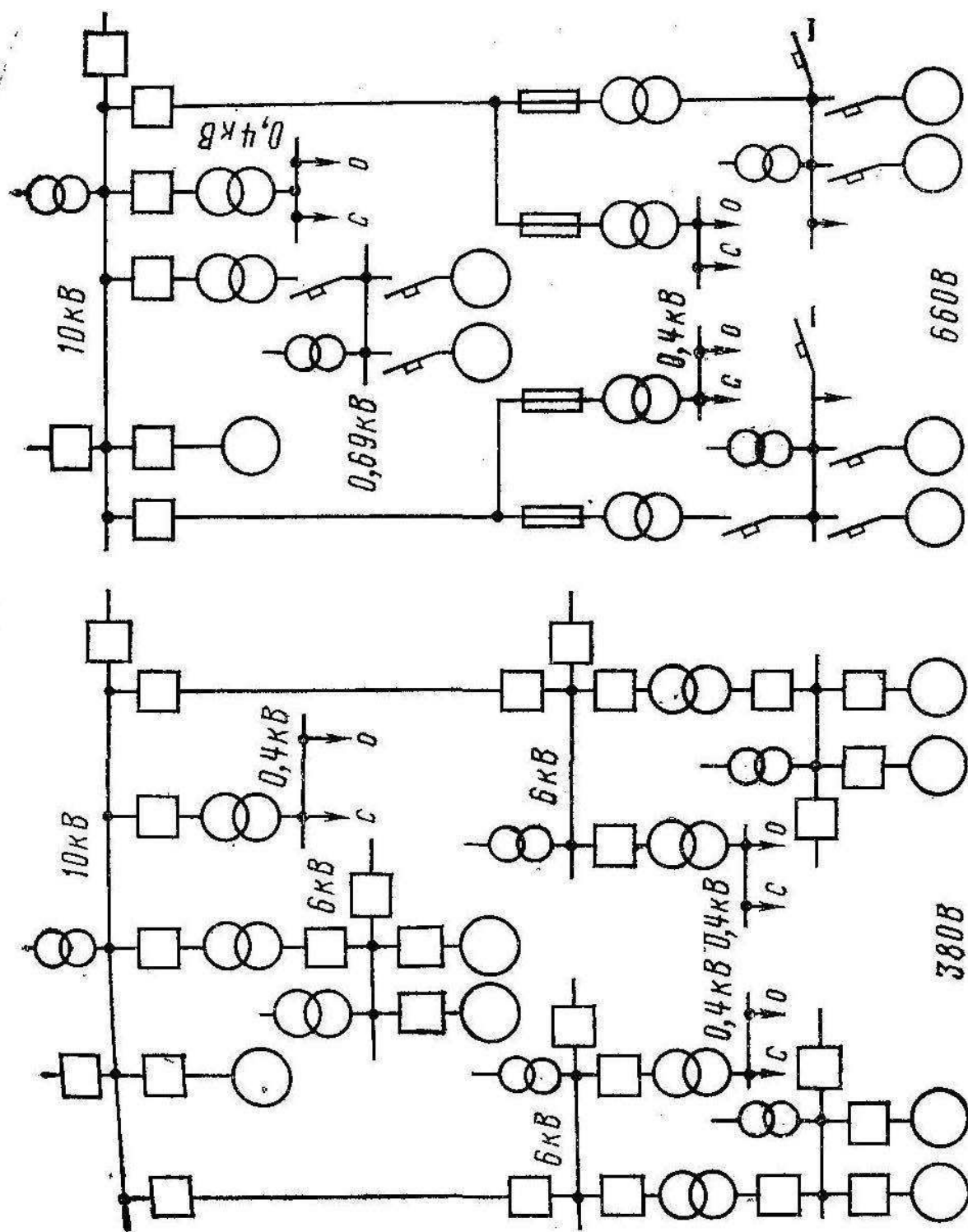


Рис. 3.2. Схеми електропостачання при первинній напрузі 10 кВ.

3.2. Використання трьохобмоточних трансформаторів і автотрансформаторів напругою 660 В

На будь-якому промисловому підприємстві є вузли електричної мережі, де по технічних і економічних міркуваннях доцільне використання напруги 660 В.

Застосовувані техніко-економічні розрахунки для виявлення доцільності використання напруги 660 В, як показала практика, складні і не завжди переконливі.

Вони не виявляють тих вузлів, де напруга 660 В економічна, а вирішують їх разом з вузлами, де цей перехід з напруги 380 на 660 В неекономічний. Вибір напруги повинний вирішуватися в той початковий період проектування, коли ще відсутні вихідні дані для точних техніко-економічних розрахунків. Крім того, обоє порівнюваних варіанта по напругах 660 і 380 В повинні мати свої оптимальні рішення, виявлення яких важко. Тим більше це важко для напруги, що знову вводится, 660 В, практика використання якого ще недостатня.

Перехід з напруги 380/220 на 660/380 В може бути в ряді випадків доцільний лише для частини електричної мережі і лише для локальних вузлів. Отже, правильне рішення може бути визначене також локальними техніко-економічними розрахунками.

Таким чином, для прискорення впровадження напруги 660/380 В необхідно виробити рекомендації, що повинні бути зручними для орієнтації по кожній ділянці електричної мережі. Практика вимагає виявлення найбільш економічних рішень для напруги 660 В. Урахування технічних міркувань можливий додатково в кожному конкретному випадку.

При порівнянні двох варіантів електропостачання у визначеному районі промислового підприємства не завжди розглядають можливість використання трьохобмоточних трансформаторів напругою 6-10/0,69/0,40/0,23 кВ. Часто не враховують можливості використання економічних сухих автотрансформаторів напругою $660 \pm 2 \times 2,5\% / 380/220$ В. Якщо в одному вузлі електропостачання неминуча наявність двох і більш трансформаторних підстанцій напругою 6-10/0,4 кВ, розташованих поруч, то у всіх випадках економічний перехід однієї або більш

з них на напругу 6-10/0,69 кВ при збереженні на інші напруги 6-10/0,4 кВ. У цих випадках кабельні мережі 660 В завжди забезпечать зниження витрат. Якщо живлення освітлювальних навантажень при всіх умовах виділено на окремі трансформатори по вимогах стабілізації напруги, то використання підвищеної напруги 660 В для силового навантаження у всіх випадках економічно. Напруга 660 В явно доцільно, коли все електричне навантаження, що приходить на даний трансформатор, може бути переведено на цю напругу.

Коли в одному вузлі електропостачання потрібно одна трансформаторна підстанція 6-10/0,4 кВ, а при переході на напругу 660 В необхідне спорудження двох підстанцій (однієї на напругу 6-10/0,69 кВ і іншій 6-10/0,4 або 0,66/0,4 кВ), то перехід на цю напругу економічний лише при визначених сполученнях потужностей і довжин ліній живлення. При значній частці електроприймачів 0,4 кВ лише схема з використанням трьохобмоточних трансформаторів або трансформаторів з розщепленими вторинними обмотками дає істотний економічний ефект.

Техніко-економічні розрахунки, зроблені в хімічній промисловості, показали, що прийняття сталості перетинів при напругах 660 і 380 В неминуче завищує економічний ефект напруги 660 В. Навпаки, вибір перетинів провідників за умовами нагрівання неминуче знижує економічну ефективність, одержувану від переходу з напруги 380 на 660 В. Пояснюється це тим, що при сталості перетинів технічні рішення при напрузі 660 В виявляться ближче до економічної щільності струму, а при виборі перетину по нагріванню це наближення до економічної щільності струму буде при 380 В. Лише при виборі перетину по економічній щільності струму обоє порівнюваних варіанта можуть знаходитися в рівноцінних умовах. Звичайно це положення не враховується на практиці через особливості вимог діючих ПУЕ.

Аналіз показує, що для окремих ділянок мережі, переведених з напруги 380 на 660 В, можливі чотири варіанти вибору перетину ліній живлення:

1) по механічній міцності. У цьому випадку перетин мережі не міняється. Отже, втрати енергії при 660 В знижуються в 3 рази;

2) по втраті напруги. У цьому випадку перетин мережі при 660 В знижується в 3 рази, зберігаючи на тім же рівні втрати енергії;

3) по нагріванню. У цьому випадку перетин мережі при 660 В знижується приблизно в 2-2,5 рази, а втрати енергії зменшуються відповідно в 1,5-1,2 рази;

4) по економічній щільності струму. У цьому випадку перетин зменшується в 1,73 рази і втрати енергії - теж у 1,73 рази.

При цьому звертається увага на можливості різних способів вибору перетину провідників на напруги 380 і 660 В. Наприклад, якщо при 380 В вирішальної може бути втрата напруги, то при 660 В вирішальної може бути мінімальний перетин по механічній міцності і т.д.. У цих умовах створюється враження неможливості використання загальних техніко-економічних розрахунків, не зв'язаних з конкретними умовами даного підприємства. Однак це неправильно. Аналіз показує, що незважаючи на розходження залежностей витрат на пропускну здатність мережі і втрати енергії в них від способів вибору перетину провідників, сумарні приведені витрати для всіх чотирьох випадків вибору перетину зберігають свої пропорції, тому-те чим більше ростуть витрати на пропускну здатність мережі, тим менше ростуть витрати на втрати енергії. У результаті всі чотири способи вибору перетину з позиції приведених витрат дають приблизно однакові підсумки, відкриваючи можливості виробництва узагальнених техніко-економічних розрахунків. При цьому у всіх випадках середні дані відповідають принципіві вибору перетину по економічній щільності струму.

Ці результати аналізу являють собою великий інтерес для практики, що постійно вимагає подібних узагальнених даних хоча б за рахунок деякого зниження точності розрахунків.

При звичайних схемах живлення з використанням двофазних трансформаторів 6-10/0,69 і 6-10/0,4 кВ напруга 660 В не дає економічного ефекту при навантаженнях на трансформатор менш 1600-3200 кВА. Однак при використанні трьохфазних трансформаторів напруга 660 В стає економічною майже у всіх випадках. Економічний ефект від використання напруги 660 В

зростає, коли збільшується потужність, перекидана на цю напругу, і коли живлення здійснюється по більш довгих лініях.

Можливості об'єднання силового й освітлювального навантаження на трансформатори і кабельні мережі було основною перевагою мереж напругою 380/220 В. Використання трьохобмоточних трансформаторів із двома вторинними обмотками 660 і 380 В зберігає цю перевагу. Зосередження силових і освітлювальних навантажень на кабельні мережі може бути забезпечене шляхом використання місцевих сухих автотрансформаторів напругою $660 \pm \pm 2 \times 2,5 / 380 / 220$ В. Як відомо, автотрансформатори вимагають менших витрат, чим трансформатори, і вони технічно цілком рівноцінні їм при наявності глухого заземлення нейтралі в обох мережах. Автотрансформатори мають менший опір обмоток і створюють менші втрати напруги, що особливо важливо для стабілізації напруги різко змінної протягом доби для освітлювального навантаження. Автотрансформатори в якомусь ступені є пристроями штучного заземлення нейтралі, підвищуючи гарантію відключення всіх однофазних замикань на землю в мережах, 380 і 660 В.

Коефіцієнт вигідності автотрансформаторів у даному випадку значний і дорівнює:

$$K_r = 1 - \frac{U_1}{U_2} = 1 - \frac{380}{660} = 0,425$$

Рішення питання про економічність місцевої трансформації напруги 660 В на 380/220 В вимагає техніко-економічного обґрунтування. Для цього необхідно порівняння витрат по схемах рис. 3.4.

Розрахунки показують, що при довгих лініях живлення (більш 150-180 м) доцільне використання місцевих сухих автотрансформаторів напругою $660 \pm 2 \times 2,5\% / 380 / 220$ В. Прокладка додаткового кабелю напругою 380/230 В у цих випадках недоцільна.

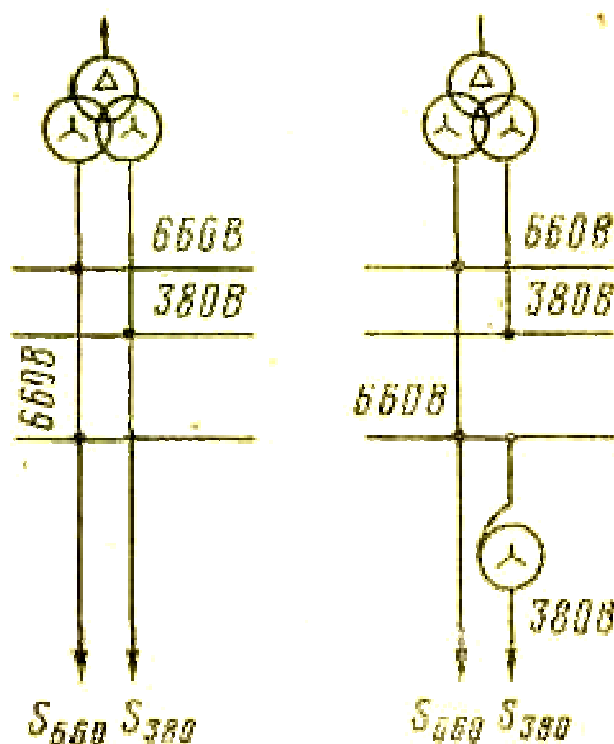


Рис. 3.4. Схема централізованого або місцевого живлення навантажень напругою 380/220 В.

Велике значення має вибір напруги для електродвигунів середньої потужності (200–700 кВт). У даному випадку необхідне зіставлення можливої для них напруги 380, 660 і 6000 В. Відомо, що електродвигуни на напругу 6000 В мають більш високу постійну частину витрат, але трохи меншу залежну частину від потужності, чим двигуни 380 або 660 В. При цьому для двигунів 380 або 660 В необхідні додаткові витрати на збільшену потужність трансформаторів 6-10/0,4-0,69 кВ. Крім того, при напрузі 380 або 660 В з'являються додаткові витрати на кабельні мережі і втрати в них. Нарешті, необхідно врахувати розходження у витратах на комутаційну і пускову апаратуру.

3.3. Електропостачання електротермічних і освітлювальних установок напругою 660 В

При переході цехових мереж напругою до 1000 В з напруги 380 В на напругу 660 В виникає питання про напругу живлення електротехнологічних, зварювальних, освітлювальних і допоміжних установок. Електричні печі опору

великої потужності та індукційні печі (промислової частоти і високочастотні) невеликої потужності виготовляються однофазні на напругу 220 и 380 В, трифазні – на напругу 220 і 380 В переважно зі схемою з'єднань зірка.

3.3.1. Електричні печі опору

Електричні печі опору широко застосовуються на металургійних заводах для віджигу металу в цехах холодної прокатки і тонколистовому, на безупинних лініях для обробки смуги – травлення, луження і т.п., для загартування і відпустки в гартівно-відпускних агрегатах ковальсько-пресових цехів, на заводах металовиробів і т.п. Більшість печей опору складають печі непрямого нагріву, до яких поряд з печами з твердими нагрівачами відносяться також печі з нагріванням у рідкому середовищі й у псевдокиплячому шарі. Для електропечей опору непрямого нагріву з металевими нагрівачами ефективно застосування великих перерізів, тому що нагрівачі невеликого перерізу швидше окисляються, особливо при температурах 2000 °С і вище, і виходять з ладу. При зниженні напруги на нагрівачах до 18 – 190 В економія по витраті нагрівачів перекидає витрати на установку трансформатора і втрати в ньому. Схема підключення печі опору з зниженою напругою на нагрівальному елементі до мережі 380 В показана на рис. 3.5. Для понижуючих трансформаторів застосована первинна напруга 380 В. При переводі на напругу 660 В піч опору буде підключатися до фазної напруги схема підключення показана на рис. 3.6. Для більш потужних печей переріз нагрівачів достатньо великий вже при напрузі 220 В; у цьому випадку краще живлення напругою 380/220 В. Для печей які розраховані на напругу 220 В підключення до мережі 660 В може здійснюватися через автотрансформатор за схема наведеною на рис. 3.7 або трансформатор за схема наведеною на рис. 3.8.

Однак при потужностях електропечей чи їх регульованих зон 100 кВт і вище напруга на нагрівачах 380 В; у цьому випадку напруга живлення може бути 380 і 660 В з з'єднанням обмоток нагрівачів відповідно трикутником чи зіркою. У трьохзонних печах нагрівання заготовок до 1200 °С потужністю 1100 кВт напруга на нагрівачах 500 В.

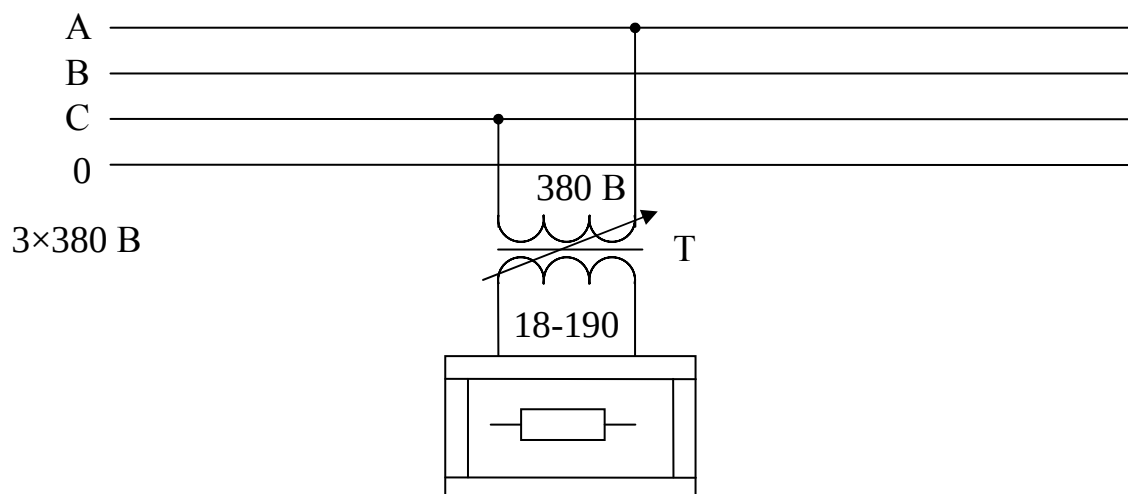


Рис. 3.5. Схема підключення однофазної печі опору до мережі 380 В з зниженою напругою на нагрівальних елементах.

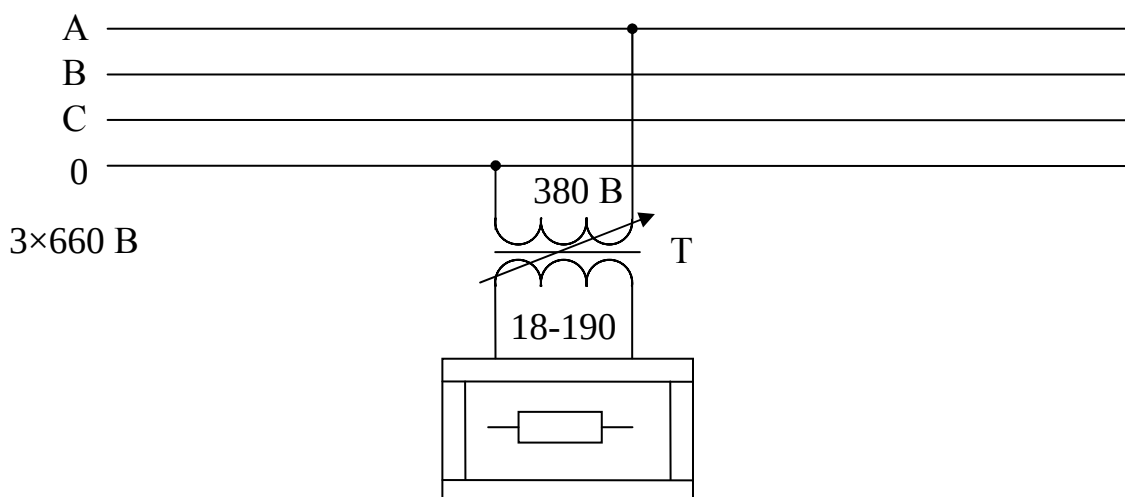


Рис. 3.6. Схема підключення однофазної печі опору до мережі 660 В з зниженою напругою на нагрівальних елементах.

У зв'язку з великою потужністю електропечей непрямого нагріву (до декількох мегаватів) можливе виконання нагрівачів на напругу 660 В.

Печі опору прямого нагріву виконуються з напругою на виробі 100 В і нижче, що викликає необхідність понижуючого однофазного трансформатора. Живляча напруга трансформатора в залежності від потужності, що досягає декількох мегавольтампер, може бути 380, 660 В і вище та підключатися до мережі 660 В за схемою наведеною рис. 3.6.

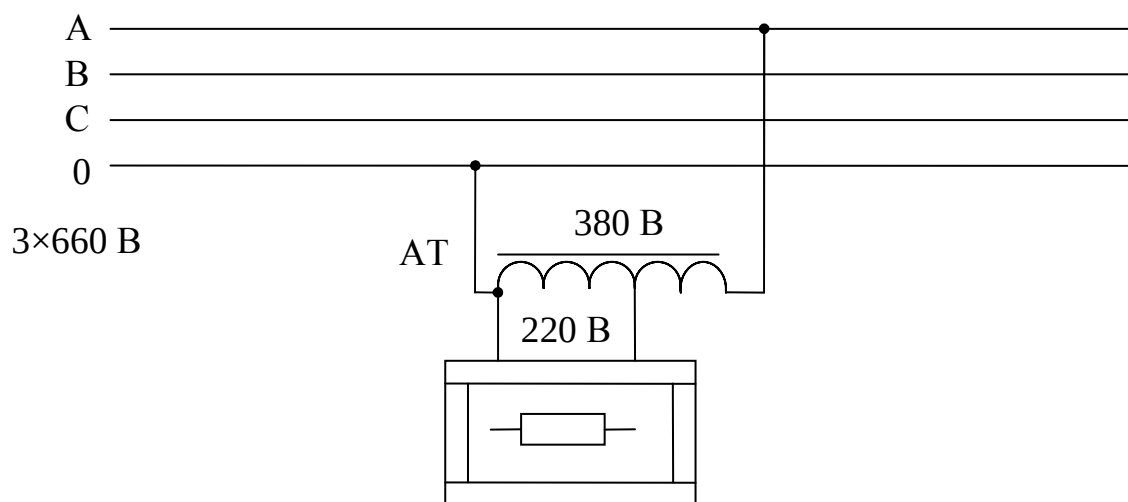


Рис. 3.7. Схема підключення однофазної печі опору розрахованою на напругу 220 В до мережі 660 В з використанням автотрансформатора.

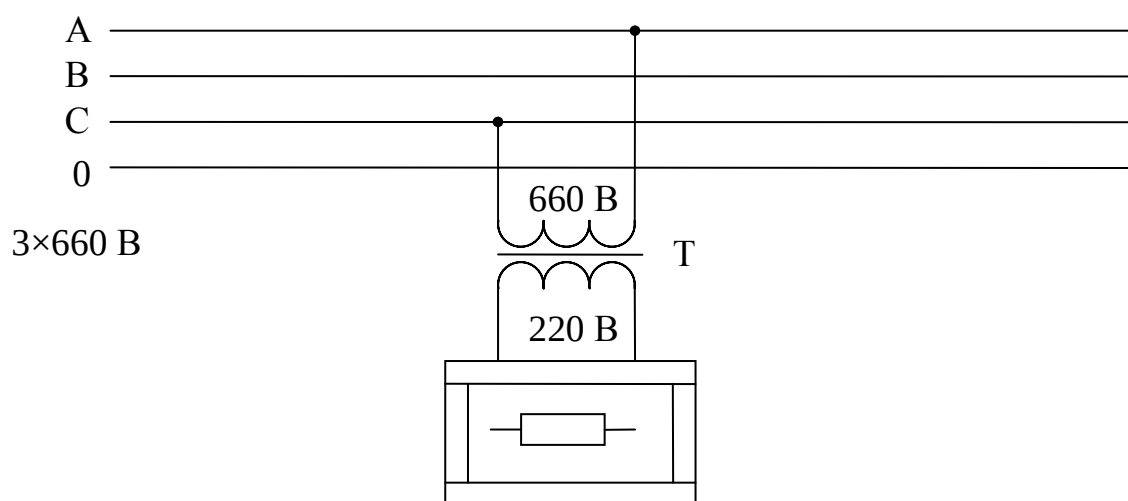


Рис. 3.8. Схема підключення однофазної печі опору розрахованою на напругу 220 В до мережі 660 В з використанням трансформатора.

Електрообладнання установок прямого нагріву (електроконтактних) використовується в основному для наскрізного нагріву заготовів перед обробкою тиском, для віджигу дроту, при волочінні, для підігріву рідкого металу, наприклад чавуна при випуску його з вагранки й ін. Вартість нагріву при інших-рівних умовах приблизно в 1,5 рази нижче, ніж для індуктивного способу нагріву.

В установках електроконтактного нагріву в даний час застосовують переважно силові трансформатори броньового типу з дисковими котушками первинної і, що чергуються, вторинної обмоток. Потужність трансформаторів – від декількох десятків до декількох сотень кВА; первинна напруга – звичайна 380 В, але може бути і 660 В; вторинна – від декількох вольтів до декількох десятків вольтів. Регулювання в широких межах вторинної напруги здійснюється на стороні первинної обмотки трансформатора.

Живлення соляних печей і ванн здійснюється звичайно від однофазних і трифазних пічних трансформаторів типу ТПО і ТПТ із первинною напругою 220 і 380 В і вторинною напругою, що змінюється в межах 8 – 24 В. Трансформатори обладнуються перемикачами ступенів напруги. Потужність соляних печей -10 – 25 кВт (однофазних) і до 200 кВт (трифазних). Можливе застосування напруги 660 В для живильного трансформатора.

Регулювання температури печей опору виробляється шляхом зміни підведеної до печі потужності – зміною послідовного чи паралельного з'єднання нагрівачів, переключення обмоток нагрівачів із зірки на трикутник і назад, переключенням витків обмотки трансформатора й ін.

3.3.2. Індукційний нагрів

Індукційні електротермічні установки застосовуються для плавки металів, для поверхневого загартування деталей, для наскрізного нагрівання, для місцевого нагрівання деталей і ін.

По частоті живильного струму індукційні установки умовно розділяють на установки промислової частоти, що живляться від мережі 50 Гц (чи безпосередньо через спеціальні знижувальні трансформатори), і підвищеної частоти (500–10000 Гц), що живляться від електромашинних, іонних чи напівпровідникових перетворювачів частоти; високочастотні (понад 10 кГц) установки, що живляться від лампових генераторів. Індукційні плавильні печі промислової частоти виконуються однофазними і трифазними. Одним з основних елементів електрообладнання індукційної електротермічної установки

промислової частоти є трансформатор чи автотрансформатор з регулюванням напруги, індуктор, конденсаторна батарея й ін. Потужність індукційних плавильних печей складає 30–6000 кВт в залежності від ємності печі і роду металу, для плавки якої призначена піч. У ряді випадків замість первинної напруги 380 В може бути використана напруга 660 В.

Машинні генератори підвищеної частоти однофазні виробляють струм частотою до 10 кГц (рідше до 60 кГц). Для приводу генераторів потужністю вище 100 кВт застосовують синхронні двигуни, а іноді асинхронні короткозамкнуті двигуни. Для приводних двигунів потужністю 40–125 кВт може бути застосована напруга 660 В. При потужностях приводних двигунів 350–2500 кВт застосовують синхронні двигуни напругою 6 кВ, але для діапазону потужностей 700–2500 кВт доцільніша напруга 10 кВ, використовувані для живлення цехових підстанцій 10/0,66 кВ. У даний час розроблені інвертори на тиристорах, що замінюють машинні генератори.

При використанні лампових генераторів, що перетворюють струм промислової частоти в струм високої частоти для індукційного нагріву, живлення лампового генератора проводиться через трансформатор, що підвищує напругу до 8–11 кВ. Первинна напруга живильного трансформатора замість 380 В може бути прийнята 660 В. Коливальна потужність лампових генераторів 10–100 кВт.

Замість генераторів більш ефективно застосування напівпровідникових керованих випрямлячів, напівпровідникових генераторів, феритових сердечників, керамічних конденсаторів нових типів із плівковими діелектриками, що володіють високою електричною міцністю і малим кутом втрат.

Для індукційних установок застосовуються спеціальні однофазні трансформатори. Трансформатори для індукційного наскрізного нагріву на частотах 2400, 4000, 8000 Гц випускають потужністю від 125 до 1600 кВА, первинна напруга 200–1600 В, вторинна – 150–1000 В.

Гартівні трансформатори підвищеної частоти виготовляють потужністю від 125 до 800 кВА (первинна напруга 200–1600 В, вторинна напруга 8–200 В).

Анодні трансформатори типів ТС, ТМА, ТВМА, використовувані в індукційних високочастотних установках, виготовляють потужністю 6, 40, 100 і 180 кВА. Первинна напруга 4,8–8,5 кВ, вторинна напруга 380 і 220 В.

Схеми підключення індукційної печі невеликої потужності до мереж 380 В і 660 В наведені на рис. 3.9 та 3.10.

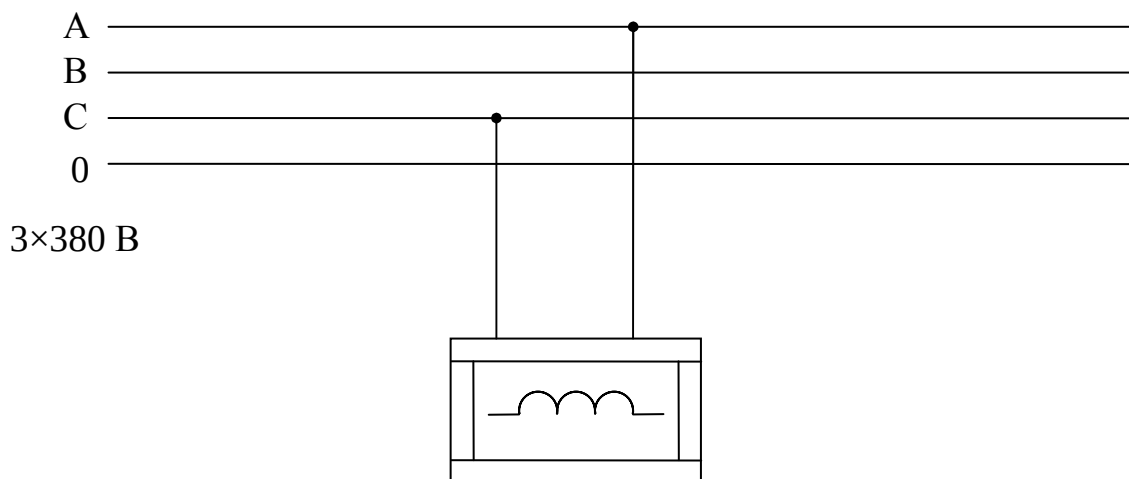


Рис. 3.9. Схема підключення індукційної печі до мережі 380 В.

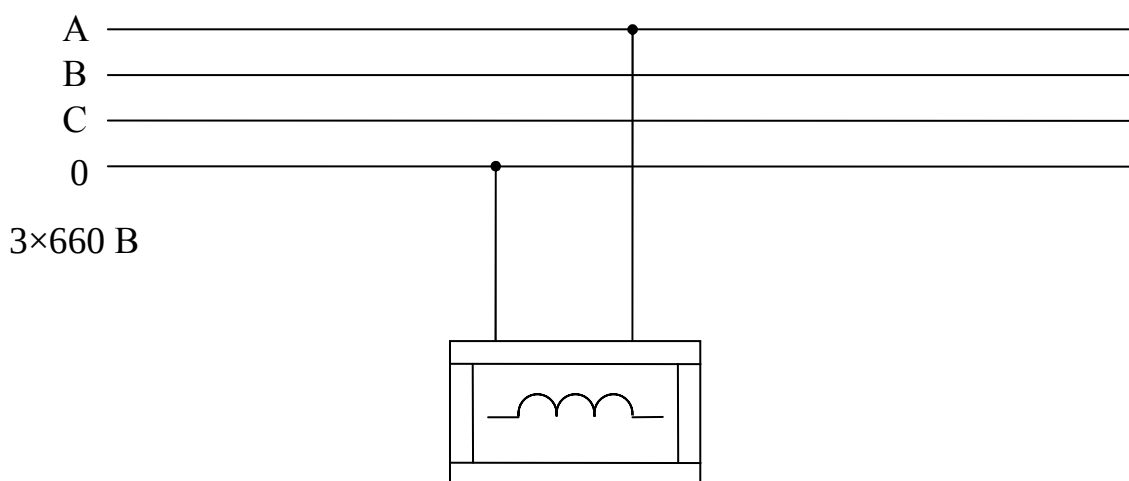


Рис. 3.10. Схема підключення індукційної печі до мережі 660 В.

3.3.3. Електрозварювальні установки

Електричне зварювання широко використовується в різних галузях промисловості: автомобілебудуванні, вагонобудуванні сільськогосподарському машинобудуванні, авіабудуванні, на трубних заводах і ін. Встановлена

потужність зварювального обладнання в ряді випадків на підприємствах досягає 50% загальної встановленої потужності електроприймачів. Так, наприклад, тільки один цех зварювання кузовів великого автозаводу має встановлену потужність контактного зварювання 232 МВА. Для електрозварювання застосовують як постійний струм, одержуваний від машинних перетворювачів або напівпровідникових випрямлячів, так і змінний струм. Потужність перетворювачів від 4 кВт для однопостових установок дугового зварювання до 75 кВт при живленні від одного перетворювача декількох зварювальних ділянок.

При електрозварюванні змінним струмом нормальної частоти навантаження здебільшого однофазної, причому потужність окремих зварювальних машин досягає 1200 кВА і більше при напрузі цехової мережі 380 В. Основним джерелом живлення змінного струму є зварювальні трансформатори. Потужності трансформаторів 9–165 кВА, коефіцієнт потужності 0,4–0,6. Найбільше поширення в промисловості мають стикові машини змінного струму промислової частоти. Напряга живлення 380 В. Крім зварювального трансформатора на кожній стиковій зварювальній машині маєтья ряд двигунів – для приводу маслonaсосу, для приводу допоміжних механізмів.

Машини для точкового зварювання живляться від однофазних трансформаторів змінного струму, низькочастотні машини з живленням від трифазної мережі змінного струму. Основним споживачем електроенергії в машинах для точкового і рельєфного зварювання є однофазні зварювальні трансформатори потужністю 75–365 кВА і відповідно рельєфні 131 – 600 кВА.

Зварювальні преси, встановлені на автоматичних лініях для зварювання кузовів легкових автомобілів, мають 2 – 50 трансформаторів потужністю 30–100 кВА кожний. Первинна напруга всіх зварювальних трансформаторів 380 В або 220 В. Спрощена схема зварювального трансформатора ТДФ-1000 наведена на рис. 3.11. Технічні параметри зварювальних трансформаторів наведені в табл. 3.1.

Зварювальні трансформатори поєднуються в групи від одного до шести трансформаторів. Трансформатори в групах з'єднуються паралельно.

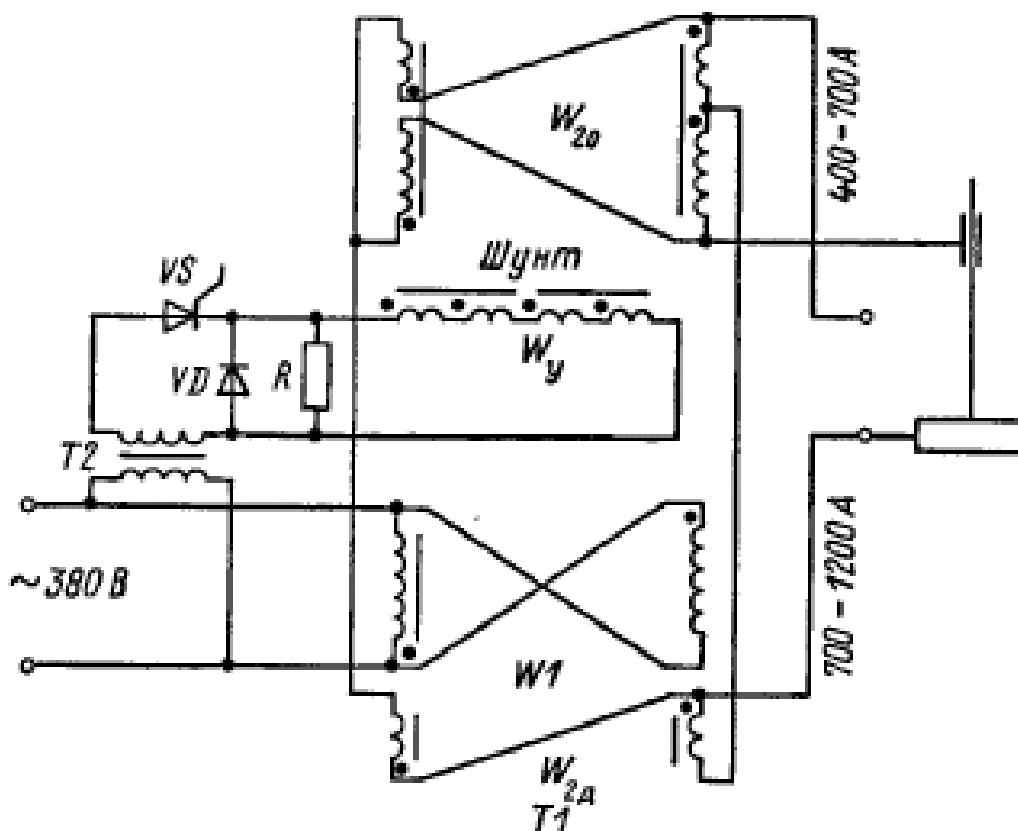


Рис. 3.11. Спрощена схема зварювального трансформатора ТДФ-1000.

Таблиця 3.1. Технічні дані зварювальних трансформаторів.

Тип трансформатора	Напруга мережі, В	Первинний струм, А	Перетин проводу, мм ²
ТДМ-317	220	97	16
ТДМ-317-1	380	56	10
ТДМ-401	220	124	16
ТДМ-401-1	380	73	10
ТДМ-503	220	155	25
ТДМ-503-1	380	90	10
ТДМ-503-2	380	65	10
ТДМ-503-3			
ТДФЖ-1002		310	120
ТДФЖ-2002		630	240

Групи розподіляються по можливості рівномірно по всім трьох парам фаз, що живлять зварювальні преси. Зварювання виробів за допомогою ігнітронних переривачів проводиться послідовним включенням цих груп. Протягом одного технологічного циклу кожний зварювальним трансформатор зварює від двох до

восьми точок за час 0,1–0,38 с. Оскільки зварювальні установки змінного струму живляться на сьогоднішній час напругою 380 В, то в перспективі вони можуть виконуватися для живлення напругою 660 В, маючи понижуючі трансформатори. Для машин контактного зварювання при переході на напругу 660 В проблемою є апаратура керування. Керування цими машинами дотепер проводиться - ігнітронними контакторами. Останнім часом все більше поширення знаходять синхронні ігнітронні контактори. Переривачі, які мають фазове регулювання «нагрів» для плавної зміни діючого значення зварювального струму в межах від 40 до 100%. В даний час впроваджуються тиристорні контактори, втрати напруги в яких незначні. Тиристорні контактори можуть бути виконані на напругу 660 В і є дуже перспективними для зварювальних установок. Тиристорні контактори типу КТП у даний час випускаються тільки на струми до 100 А. За кордоном є тиристорні контактори на струми до 1000 А. Схема цих контакторів аналогічна схемі ігнітронних контакторів. Перевагами тиристорних контакторів у порівнянні з ігнітронними контакторами є менше спадання напруги, - менші габарити і менший час комутації. Схема трифазного зварювального трансформатора з випрямлячем наведена на рис. 3.12.

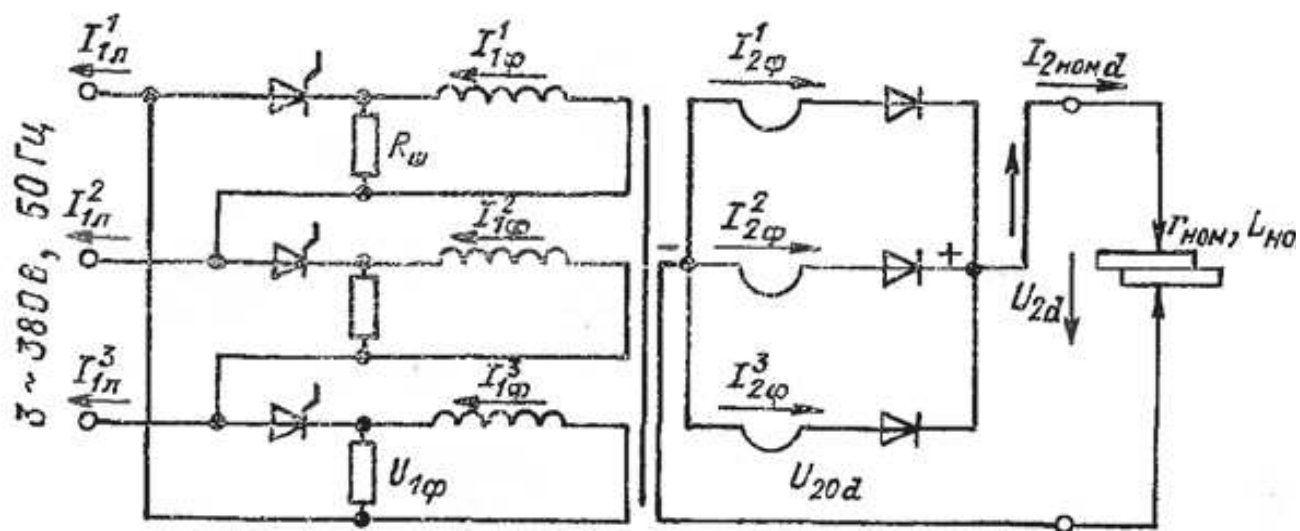


Рис. 3.12. Схема трифазного зварювального трансформатора з випрямлячем.

Як видно з рис. 3.12 первинна обмотка випрямляча зварювального трансформатора має з'єднання в трикутник на напругу 380 В, це дозволяє без

зусиль перейти на напругу 660 В включенням первинної обмотки в зірку, аналогічну схему включення мають більшість зварювальних випрямлячів.

При виборі напруги живлення зварювальних установок варто враховувати різко змінний характер їхнього навантаження, що обумовлює необхідність окремого живлення силового й освітлювального навантаження. Слід зазначити, що за кордоном (Німеччині, Канаді й ін.) мається ряд автомобільних заводів, де для електропостачання зварювальних, малярських і інших цехів використовується підвищена напруга 550 В.

3.3.4. Освітлювальні установки при напрузі мереж 660 В

Лампи накаливання можуть виготовлятися на різні номінальні напруги, однак з підвищенням напруги світлова віддача їх падає. Технічно можливе виготовлення ламп накаливання і на напругу вище 220 В, але це відноситься в першу чергу до потужних ламп. Розробка й освоєння таких ламп ведуться зараз промисловістю. Одночасно розглядається питання про доцільність застосування напруги 380 В для світильників в області їх застосування. На напругу 380 В для освітлення великих відкритих кар'єрів і високих виробничих приміщень випускаються дугові ксенонові трубчасті лампи типу ДКС1-20000, а також партії ртутних ламп ДРЛ-2000 і ламп ЛХБ-150. Так, наприклад, принципова електрична схема прожекторів розрахованих на напругу 380 В наведена на рис. 3.13.

У проекті Гіпронікеля для одного з заводів передбачено для загального освітлення великих цехів застосування ртутних ламп потужністю 2000 Вт, що поставляються разом з арматурою і пускорегулюючими апаратами заводом «Нарва» (Німеччина) і вмикаємі в мережу 630/380 В на різну напругу. Введення у світильники з лампами на 380 В і в пускорегулюючі апарати до них слід виконувати мідним проводом (чи кабелем) з ізоляцією на 500 В. Крім того, варто передбачити одночасне відключення всіх фазних проводів, що зводяться в даний світильник, і додаткову ізоляцію незахищених проводів від металевих частин світильника. На самому світильнику потрібно нанести відмітний знак і вказати напругу 380 В.

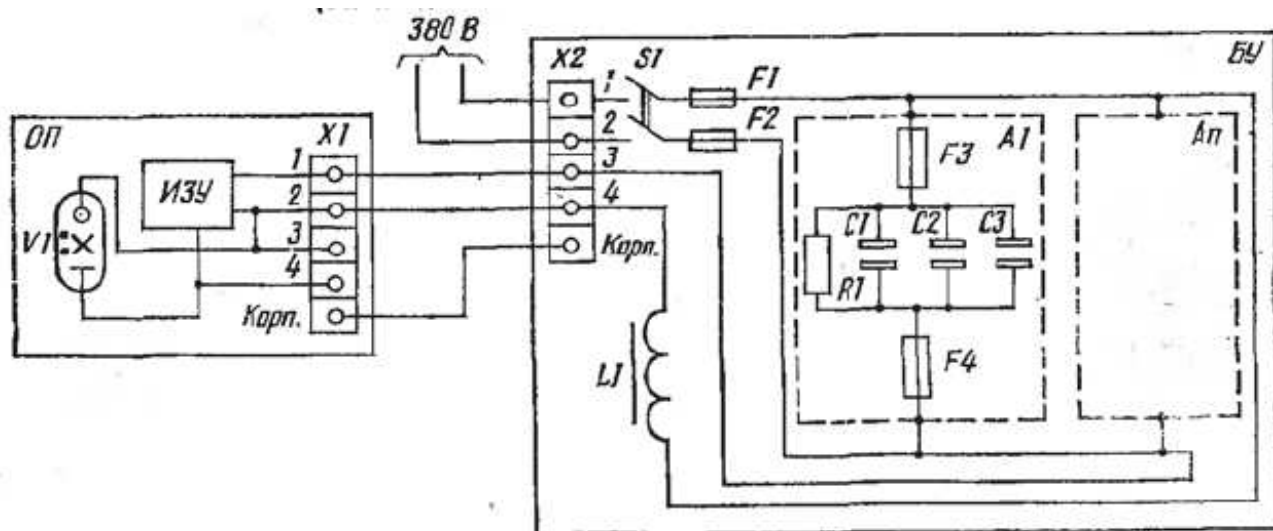


Рис. 3.13. Принципова електрична схема прожекторів типу ПГП-М та ПГЦ-М розрахованих на напругу 380 В.

На інших освітлювальних установках по проекту використовуються світильники з лампами 220 В вітчизняного виробництва. Передбачається, що світильники з лампами 380 В знайдуть більш широке застосування після освоєння їх на заводах. Необхідно забезпечення серійного випуску ртутних ламп типів ДРИ і ДРЛ потужністю 700–1000–2000 Вт на напругу 380 В, а також пускорегулюючих апаратів і світильників для них. Повинне бути вирішене питання про доцільність випуску ламп на 380 В потужністю менш 700 Вт.

У ряді випадків доцільно для освітлювальних установок застосування напруги 380/220 В з трансформацією напруги 10,0/0,38 кВ. Освітлювальні трансформатори можуть бути використані також для живлення двигунів малої потужності, перехід яких на напругу 660 В недоцільний, за винятком ударних навантажень.

3.3.5. Напруга ланцюгів керування в мережах 660 В

У ланцюгах керування й автоматизації допускається застосування наступних напруг. У найпростіших нерозгалужених ланцюгах керування одиночними електроприймачами в приміщеннях усіх класів безпеки – та ж напруга, що й у головних ланцюгах електроприймача, аж до – 660 В. У схемах

керування й автоматизації груп електроприймачів з малорозгалуженими ланцюгами керування і блокувань – напруга не більш 250 В щодо землі, тобто, як правило, при керуванні електроприймачами 660 В у схемах керування варто застосовувати напругу 220 В, де це виправдано міркуваннями збільшення чи надійності зручності експлуатації, застосовується напруга постійного чи змінного струму 60 В.

Відповідно до публікації фірми Клекнер-Меллер (Німеччина) шляхи витоку і повітряні проміжки апаратів керування передбачені також для 660 В. Вони практично мало відрізняються від значень, раніше прийнятих для напруги 500 В. Важливим критерієм застосування апаратури на 500 В у мережах 660 В є комутаційна здатність апаратури. Для ланцюгів керувань напруга 660 В припустима тільки в найпростіших ланцюгах керування одиничними електроприймачами. В інших випадках застосовують звичайні напруги ланцюгів керування на 220 (110) В. Можливе застосування трансформаторів ланцюгів керування 660/220 і 660/110 В. Напруга ланцюгів керування в різних країнах відрізняється мало. Рекомендована МЕК напруга змінного струму 110 В прийнята в США, Канаді, частково в Італії і Франції, а також у деяких інших країнах. Згідно VDE0100 «Допоміжні ланцюги», як максимальна напруга ланцюгів керування зазначена 500 В. Проте для ланцюгів, керування переважно повинна прийматися максимальна напруга 250 В.

Напруга 220 В в ланцюгах керування має наступні переваги: менші втрати напруги, ніж при більш низьких напругах (наприклад, при 24 В втрати напруги в 84 рази вище, ніж при 220 В), менша витрата провідникових матеріалів, велика надійність при подачі команд, «коефіцієнт опору» при 110 В ланцюгів керування складає тільки 25% надійності при 220 В, можливість безпосереднього одержання оперативного струму від мережі 380/220 В, застосування серійної апаратури на напругу змінного струму 220 В (автомати, лампи накаливання і газорозрядні, реле часу, трансформатори керування й ін.).

Малі напруги (приблизно 42 В), як оперативний струм повинні застосовуватися у виняткових випадках (наприклад, при доступності

струмоведучих частин елементів, зв'язку контурів). Навіть при стабільному джерелі живлення втрати напруги будуть у 28 разів вище, ніж при 220 В. «Коефіцієнт опору приводу» (надійність) складає тільки 4% стосовно 220 В. Застосування малих напруг повинне обов'язково носити обмежений (локальний) характер. Оперативний струм 220 В при мережах трифазного струму 380/220 В може бути отриманий, від фази і нульового проводу при глухозаземленій нульовій точці трансформатора, якщо це не суперечить вимогам, що рекомендують при підключенні в такі ланцюги більш п'яти електромагнітних котушок застосовувати, трансформатор ланцюгів керування. При одержанні оперативного струму від лінійних напруг усі комутаційні апарати повинні бути двухполюсного виконання, якщо потрібна підвищена надійність ланцюгів оперативного струму. Трансформатори ланцюгів керування повинні переважно підключатися на лінійні напруги. Закордонний досвід використання підвищеної напруги для електропостачання заводів різних галузей (автомобільних, металургійних і ін.), у тому числі для термічних, ковальських, зварювальних цехів, підтверджує доцільність впровадження напруги 660/380 В і в цих цехах.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Питання безпеки при напрузі 660/380 В

Питання техніки безпеки при використанні напруги 660/380 В вимагають аналізу: умов, що виникають при безпосередніх дотиках до струмоведучих частин; режиму нейтралі електричної мережі; роботи захисних пристроїв, що заземлюють, і занулення; надійності відключення однофазних замикань на землю.

Розгляд цих питань повинний супроводжуватися виявленням найбільш доцільних технічних рішень, що забезпечують можливості нормальної і безпечної роботи електричних установок напругою 660/380 В.

Дотик до струмоведучих частин

Звичайно мінімальний опір тіла людини прийнято вважати разом з перехідним опором шкірного покриву рівним $R_r=1000$ Ом. Такий опір відповідає випадку дотику до двох фаз струмоведучих частин, коли діє лінійна напруга $U_{\text{л}}$. Отже, при цьому максимальний струм, що проходить через людину, дорівнює:

$$I_{\text{ч}} = \frac{660}{1000} = 0,66 \text{ А}.$$

Звичайний дотик людини відбувається до однієї фази, коли діє фазна напруга $U_{\text{ф}}$. У цьому випадку в ланцюзі дотику людини додається перехідний опір взуття. Опір ланцюга дотику людини можна приймати, як мінімум рівним $R_r=1500$ Ом. При глухому заземленні нейтралі максимальний струм, що протікає через людину, дорівнює:

$$I_{\text{л}} = \frac{660}{1,73 \cdot 1500} = 0,25 \text{ А}$$

Практично опори в ланцюзі дотику можуть бути великими за рахунок додаткових, проміжних опорів.

При напрузі 380/220 В максимальні струми через тіло людини на 48% менше, ніж при 660/380 В. Для визначення збільшення небезпеки при використанні напруги 660 В замість 380 В при дотиках до струмоведучих частин необхідно мати на увазі, що дані відносно невеликі струми, що виникають при напругах 660/380 В, вимагають дослідження лише фізіологічного впливу на людину(пов'язаного з фібриляцією серця) [1]. Небезпечні теплові опіки, хімічні електролітичні, електромагнітні (динамічні). Впливи при даних невеликих струмах практично відсутні.

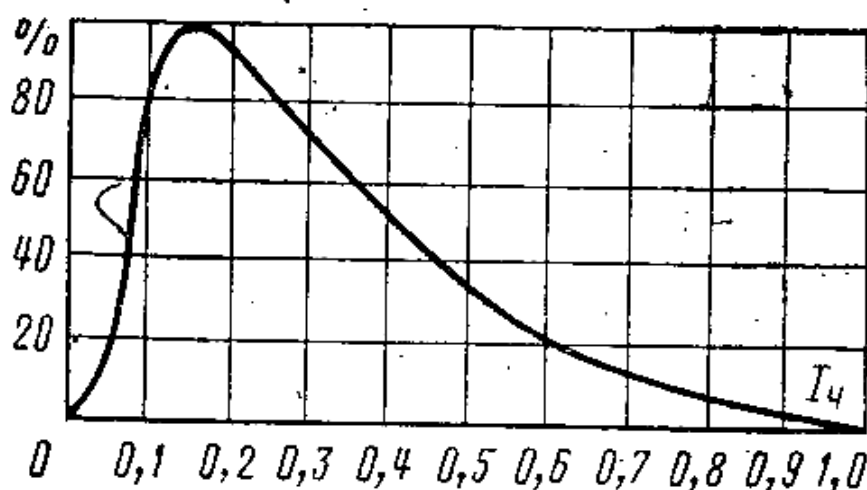


Рис. 4.1. Небезпека електричного струму по фізіологічному впливі.

Небезпека фізіологічного впливу електричного струму досліджена давно. Найбільш зручними для практичного використання є дані, опубліковані в німецьких правилах VDE (рис. 4.1.). Вони дають залежність небезпеки від електричного струму [3, 4]. З рис. 4.1. видно, що небезпека зростає в міру наближення струму до 0,15 А. При великих струмах небезпека знижується. Отже, не можна думати, що з ростом діючої напруги відповідно росте небезпека. Усе залежить від опору, що бере участь у ланцюзі дотику людини. Оцінка цих ймовірних факторів практично не можлива, тому приймаючи однаковою ймовірність будь-яких струмів, від максимальних до мінімальних, рівних нулю, можна визначити умовну небезпеку напруги. Для цього необхідно

використовувати метод інтегрування площ, створюваних ординатами небезпек по величині струму від свого максимального значення до нуля. Такі розрахункові дані приведені на рис. 4.2.

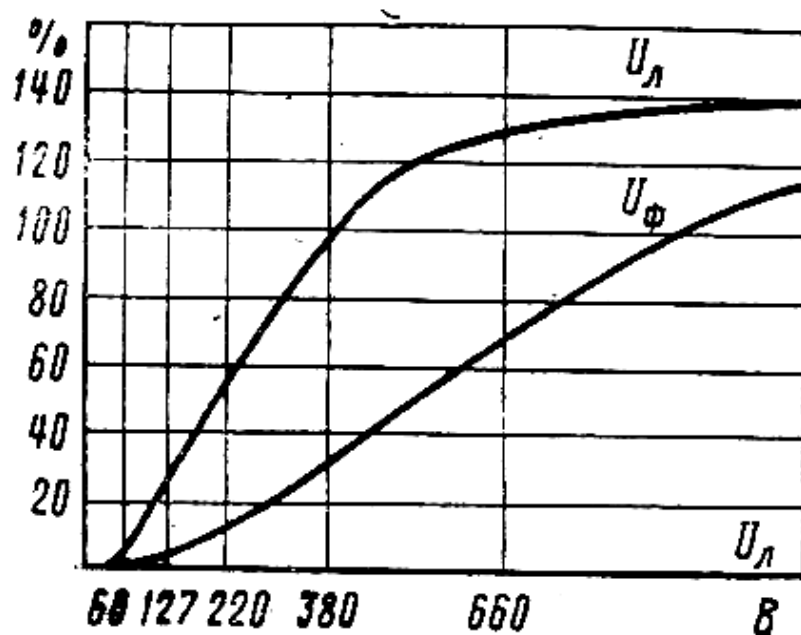


Рис. 4.2. Умовна небезпека напруги

Як бачимо, зі збільшенням напруги небезпека зростає не пропорційно. У зоні 380–1150 В крива умовної небезпеки приймає усе більш положистий характер, незначно знижуючи безпеку. Проте бачимо, що електричні установки на 660 В створюють великі небезпеки дотику до струмоведучих частин, ніж установки напругою 380 В. З цим фактором необхідно вважати, використовуючи цю напругу лише в тих електричних установках, де можна забезпечити гарантію від можливостей дотику до струмоведучих частин електродвигунів.

З цих розумінь, видно, немає рації у використанні 660 В в освітлювальних установках, де забезпечити гарантію від дотику до струмоведучих частин важко. ПУЕ не допускають використання напруги 660 В в побутових, адміністративних і конторських приміщеннях. Зокрема, відстані між необгородженими голими струмоведучими частинами, розташованими на доступній висоті (менш 2,2 м), у проходах між щитами збільшуються на 0,5 м при напрузі 660 В у порівнянні з напругою 380 В; при однобічному розташуванні устаткування – від 1 до 1,5 м, а при двосторонньому – від 1,5 до 2 м.

Режим нейтралі

Розглянемо поведінку трифазної електричної мережі з ізолюваною від землі нейтраллю в момент дотику людини до фазного проводу, приймаючи в увагу нормальні умови стану ізоляції фаз (рис. 4.3). При цьому припустимо, що опори рівні $z_1=z_2=z_3=z$. Тоді струм через тіло людини визначається формулою [5].

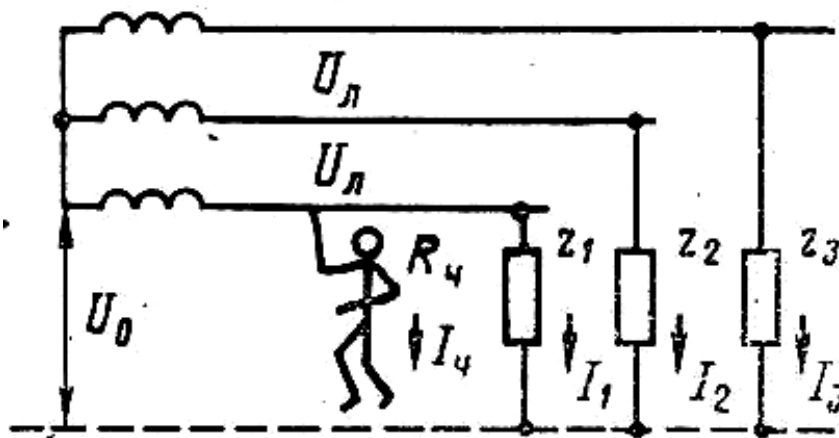


Рис. 4.3. Струморозподілення при дотику людини до фазного проводу

$$I_{\text{л}} = \frac{3U_{\phi}}{3R_{\text{ч}} + z} \quad (4.1)$$

Якщо врахувати ємність проводів на землю $z=jx_c$, то одержимо:

$$I_{\text{л}} = \frac{3U_{\phi}}{\sqrt{(3R_{\text{ч}})^2 + \left(\frac{1}{2\pi fC}\right)^2}}. \quad (4.2)$$

При частоті змінного струму $f=50$ Гц, опорі тіла людини $R_{\text{л}}=1500$ Ом, ємності кабельних ліній за даними [6], коли часткова ємність щодо землі дорівнює 56% повної і коли додаткова ємність електродвигунів і апаратури дорівнює 30% ємності кабельної мережі, для електричних мереж напругою $U_{\text{л}} = 660$ В отримаємо:

$$I_{\text{л}} = \frac{0,16L}{\sqrt{0,39L^2 + 1}} \quad (4.3)$$

Струм через тіло людини при дотику до однієї фази мережі 660 В з ізолюваною нейтраллю при довжині мережі 1, 2, 3, 4 км складе:

	Довжина кабельної мережі			
L, км	1	2	3	4
Струми $I_{\text{л}}$, А	0,137	0,200	0,226	0,236

На підставі цих вихідних даних і за умови, що ізолювана від землі електрична мережа напругою 660 В приблизно 15% часу працює в умовах пробою пробивного запобіжника в нулі трансформатора і що кожний кілометр довжини кабельної мережі створює приблизно 5%-ну ймовірність часу роботи з порушенням ізоляції однієї фази на землю, визначаємо ступінь небезпеки і зіставляємо її зі ступенем небезпеки за умови глухого заземлення нейтралі. Такі розрахункові дані приведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Порівняльна характеристика ступня небезпеки при роботі мережі 660 В з глухозаземленою і ізолюваною нейтраллю.

Потрібні дані	Довжина мереж l., км			
	1	2	3	4
Небезпека, %	5,32	11,15	12,95	13,05
Ймовірність	0,8	0,75	0,7	0,65
Небезпека повна	4,3	8,4	9,1	8,5
Небезпека при пробіі запобіжника	2,25	2,25	2,25	2,25
Небезпека при заземленні фази	1,3	2,6	3,9	5,2
Повна небезпека при ізоляції нейтралі	7,85	13,25	15,25	15,95
Повна небезпека при глухому заземленні нейтралі	15,15	15,15	15,15	15,15

Як бачимо, мережі з більшою довжиною кабельних мереж забезпечують підвищену безпеку при глухому заземленні нейтралі і, навпаки, мережі з меншою довжиною забезпечують підвищену безпеку при ізольованій нейтралі.

Звичайно, що встановлена таблицею границя 2 км не може претендувати на точність, тому що фактори ймовірної тривалості того чи іншого аварійного стану електричної мережі мають великий розкид.

Тому зрозуміло, що одиночні силові споживачі 660 В, що живляться за схемою блок-трансформатор-електроприймач, наприклад комбайни підземних врубових машин, варто живити від мережі з ізольованою від землі нейтраллю. Звичайно ж розгалужені мережі 660 В краще виконувати з глухим заземленням нейтралі.

Для вибору режиму нейтралі, крім безпеки, варто враховувати наступні технічні фактори:

- а) відпадають небезпеки резонансних перенапруг;
- б) забезпечується відвід у землю атмосферних зарядів;
- в) відпадають труднощі, пов'язані з виявленням точки ушкодження ізоляцій на землю;
- г) відпадає необхідність пристрою контролю ізоляції;
- д) відпадає необхідність установки пробивного запобіжника і контролю за його станом;
- е) відкривається шлях для всіх третіх вищих гармонік струму;
- ж) з'являється можливість використання ламп напругою 380 В без проміжної трансформації.

Переваги ізоляції нейтралі мережі 660/380 В від землі полягають у наступному:

- а) знижується імовірність великих струмів заземлення на землю і їхній ефект, що руйнує;
- б) відпадає небезпека роботи двигуна в режимі «двохфазного бігу» при однофазному згорянні плавкої вставки запобіжника.

Перераховане вище в сполученні з умовами безпеки ще більше збільшує недоліки ізоляції нейтралі від землі при протяжних електричних мережах зі значним числом споживачів і навпаки, підвищує доцільність ізоляції мережі для трансформатора, від якого живиться один електроприймач.

Одночасно відзначається, що при глухому заземленні нейтралі мережі 660 В з'являється можливість використання автотрансформаторів із загальною обмоткою 660 і 380 В, що забезпечують значне підвищення економічної ефективності місцевої трансформації напруги 660/380 В, а також забезпечують значне зниження опору і втрат напруги в обмотках, що сприяє стабілізації напруги на освітлювачах при коливанні навантаження. Небезпека випалювання сталі електродвигунів у момент однофазних замикань у пазах статорної обмотки при глухому заземленні нейтралі мережі 660 В практично відсутня, тому що при фазній напрузі 380 В дугові явища не є стійкими. Стійка дуга спостерігається лише при напрузі вище 500 В стосовно землі. Отже, у звичайних мережах напругою 660/380 В на промислових підприємствах нейтраль трансформатора повинна мати глухе заземлення. Лише трансформатори, що живлять індивідуальних споживачів (наприклад, врубові машини), повинні мати нейтраль, ізольовану від землі.

4.2 Захисні заземлення і занулення

Для обліку розходжень роботи захисних заземлень і занулень в електричних мережах напругою 660 В у порівнянні з мережами 380 В необхідно враховувати складність схеми струморозподілення в моменти ушкодження ізоляції (рис. 4.4). У цій схемі діюча напруга й в аварійному режимі може бути лінійною чи фазною в залежності від режиму нейтралі і виду аварійного ушкодження ізоляції. При глухому заземленні нейтралі використовується схема занулення і діє фазна напруга U_{ϕ} . При ізольованій нейтралі використовується схема заземлення і діє лінійна напруга $U_{\text{л}}$.

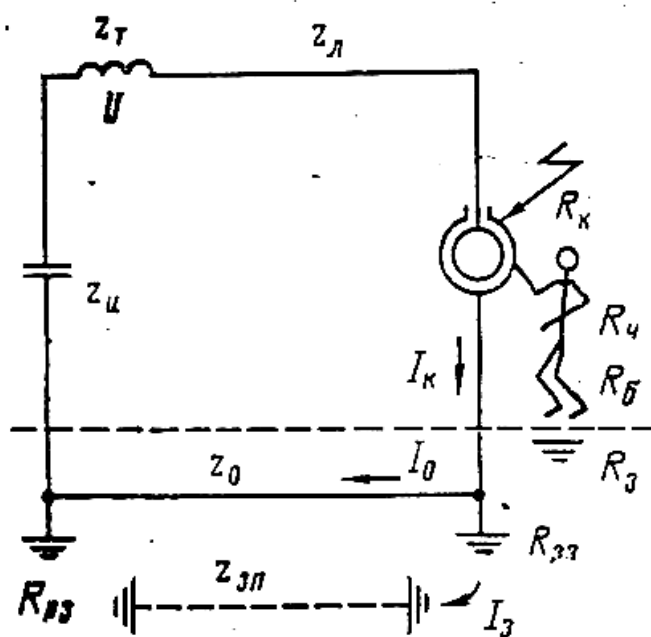


Рис. 4.4. Розрахункова схема роботи захисного заземлення.

Опір обмотки трансформатора z_T , занулюючої чи зв'язку каналів для струмів витоку від землі z_0 лінійних проводів z_L , перехідного опору землі, як зворотного проводу $z_{3,л}$ у принципі повинні враховувати усі види активного і реактивного опору. Опір ізоляції проводів z_u повинен враховувати струми витоку і ємності фазних проводів. Однак при глухому заземленні нейтралі цей опір може бути прийнято рівним нулю. Практика використання землі в якості фазного зворотного проводу при змінному струмі для електрифікованого транспорту показала, що струми в землі течуть, наведено наближаючи до траси основних лінійних проводів [9]. Характер зміни щільності струму в окремих шарах ґрунту має свої закономірності. В міру видалення шарів ґрунту від основних лінійних проводів як у глибину, так і у бік по поверхні землі щільність струму падає. Струми в землі як би підтягуються до проводів. Через це активний опір землі як зворотного проводу майже постійний і мало залежить від її провідності. При цьому його можна приймати рівним $R_{3,л}=0,05$ Ом/км.

Дослідження встановили, що чим більше провідність землі, тим більша щільність струму спостерігається в безпосередній близькості до проводів повітряної чи кабельної лінії. При цьому відбувається, як би зменшення використання перерізу ґрунту. Навпаки, чим менша провідність землі, тим

більший переріз землі використовується для спрямованого струморозподілення. В результаті маємо сумарний опір майже постійної величини. Пояснюється це вирішальною дією індуктивного опору окремих шарів землі. Виявилося, що незалежно від того, використовується четверта жила кабелю чи ні, зворотній занулюючий зв'язок майже зберігає без зміни опір ланцюга зворотного зв'язку. Пояснюється це тим, що при відсутності четвертої жили струми повертаються по інших зовнішніх природних каналах зануляючого зв'язку. Переріз цих каналів зв'язку разом із шарами ґрунту утворює велику кількість рівнобіжних струмопровідних зв'язків, що здатні замінити четверту жилу. Аналіз зазначеної схеми приводить до розрахункових формул, що визначають безпеку.

Можна рекомендувати наступні опори для робочого заземлення мереж із глухим заземленням нейтралі:

$$220,127 \text{ В} \dots\dots\dots R_{p.з} - 6 \text{ Ом}$$

$$380,220 \text{ В} \dots\dots\dots R_{p.з} - 4 \text{ Ом}$$

$$660,380 \text{ В} \dots\dots\dots R_{p.з} - 2 \text{ Ом}$$

При цьому передбачається, що буде забезпечена приблизно однакова напруга дотику при різних напругах електричної мережі. Щоб уникнути протікання великих струмів замикання на землю через природні канали зануляючого зв'язку і через землю в мережах 660/380 В можна рекомендувати використання тільки чотирьохжильні кабелі, а в повітряних мережах переріз нульового проводу приймати рівним фазному. У цих умовах електричні установки 660/380 В виявляться рівноцінними установкам 380/220 В з точки зору надійності роботи захисних пристроїв, що заземлюють.

Однофазні замикання на землю

Однофазні короткі замикання на землю в мережах із глухим заземленням нейтралі повинні бути короткочасними, тому що вони пов'язані з небезпекою підвищення напруги дотику і протіканням великого струму, що руйнує, до того ж небезпечного у відношенні пожеж чи вибухів. Короткочасність струму забезпечується за рахунок відповідної кратності струму замикання на землю стосовно номінального струму захисного апарату. Такі вимоги необхідні для

захисту електрообладнання, розташовуваного в нормальних і особливо у вибухо- і пожеже небезпечних приміщеннях.

Як показують дослідження [9], у мережах 380/220 В не завжди забезпечується необхідна гарантія відключення однофазних коротких замикань. Обстеження показало, що 9,6% ділянок мережі не відключалися, у 55,5% ділянках у вибухонебезпечних установках не забезпечувалася належна кратність струму. З погляду забезпечення гарантії відключення однофазних замикань на землю необхідний аналіз мереж напругою 660/380 В і опору їх з мережами напругою 380/220 В. Для розрахунку струму короткого замикання на землю § 1-7-60 ПУЕ рекомендується наступна наближена формула:

$$I_k = \frac{U_\phi}{z_\pi + \frac{z_T}{3}},$$

де U_ϕ – фазна напруга мережі; z_T – повний опір трансформатора; z_π – повний опір петлі фазний-нульовий провід.

У даному випадку нас цікавить лише зіставлення умов гарантії відключення для мереж 660 В у порівнянні з мережами 380 В, що характеризується співвідношенням коефіцієнтів

кратності струмів:

$$r = \frac{I_{k660}}{I_{n660}} : \frac{I_{k380}}{I_{n380}}$$

При цьому

$$\frac{I_{n380}}{I_{n660}} = \frac{U_{\phi 660}}{U_{\phi 380}} = 1,73$$

Отже, одержуємо:

$$r = 3 \frac{z_{п380} + \frac{z_{т380}}{3}}{z_{п660} + \frac{z_{т660}}{3}}$$

Експериментальні дані для кабельних мереж в умовах промислових підприємств дають наступні значення повного опору:

а) кабелі з мідними жилами, що прокладаються у вибухонебезпечних приміщеннях, Ом/км:

$$z_{п} = \left(\frac{25}{S} + 0,4 \right) L;$$

б) кабелі з алюмінієвими жилами, Ом/км:

$$z_{п} = \left(\frac{39}{S} + 0,6 \right) L;$$

Опір трансформатора

$$z_{т} = 0,055 \frac{U^2}{S_{т}},$$

отже,

$$z_{т380} = \frac{9}{S_{т}}; \quad z_{т660} = \frac{27}{S_{т}}.$$

Підставляючи отримані значення опорів, визначають коефіцієнт, що характеризує підвищення кратностей струмів однофазного замикання на землю в мережах 660/380 В у порівнянні з мережами 380/220 В. На рис. 4.5 показані значення цих коефіцієнтів k для $5T=10000$ кВА: $A=0,1$ км.

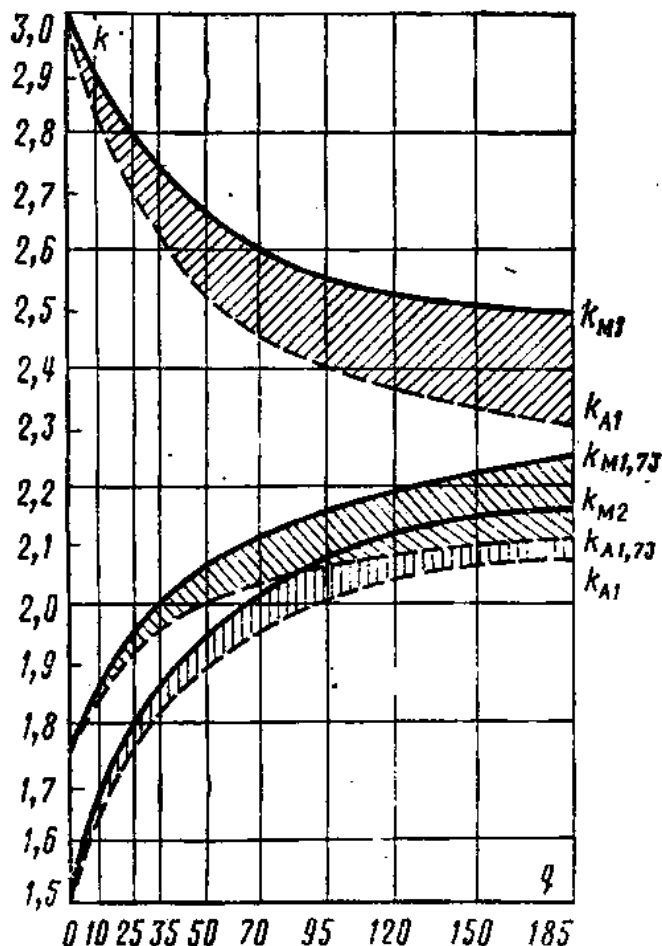


Рис. 4.5. Коефіцієнт, що характеризує збільшення кратності струму однофазного замикання на землю

При цьому розглянуті три варіанти вибору перерізу:

а) незалежно від струму

$$q_{380}=q_{660};$$

б) пропорційно струму (по економічній щільності струму):

$$q_{380}=\sqrt{3}q_{660};$$

в) по нагріванню

$$q_{380}=2q_{660}.$$

З рис. 4.5 видно, що з погляду гарантії відключення напруга 660 В у всіх випадках сприятлива, тому що коефіцієнт 1,5–3,0, вище одиниці. Кратності струмів однофазного замикання на землю при напрузі 660/380 В зростають на 50–200% у порівнянні з тими значеннями, що спостерігалися при 380/220 В. Таким чином, у мережах 660/380 В у більшості випадків відпадає необхідність створення додаткових пристроїв релейного захисту від замикання на землю в мережах 660/380 В.

В даний час захист від однофазних замикань на землю здійснюється двома способами. У першому випадку використовується схема з установкою трансформатора струму в нульовому проводі, до якого приєднується струмове реле, що діє на відключення магнітного контактора. В другому випадку використовується схема з трансформатором нульової послідовності (рис. 4.6). Практика показала більш висока чутливість схеми з трансформатором струму в нульовому проводі, тому що основні струми відсмоктуються на нульові проводи.

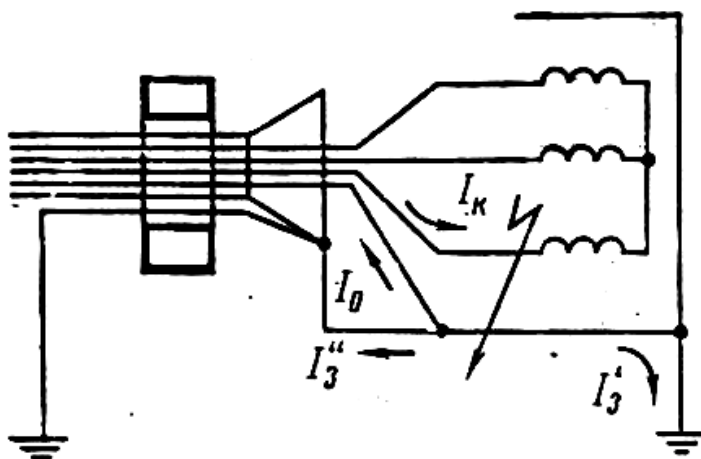


Рис. 4.6. Захист від однофазних замикань на землю трансформаторами з нульовою послідовністю фаз

4.3 Розрахунок заземлювача підстанції 10/0,4 кВ

Розрахуємо контур групового заземлювача в однорідній землі для цехової підстанції 10/0,4 кВ.

В якості штучного заземлювача будемо використовувати вертикальні електроди із прутків з діаметром $d = 0,04$ м та довжиною $L = 5$ м, відстань між електродами $a = 5$ м, вертикальні електроди з'єднуємо у прямокутник горизонтальними полосами шириною $b = 0,05$ м глибина залягання полос 1 м. Підстанція знаходиться на суглинистому ґрунті з питомим опором $\rho_r = 95$ Ом·м. По табл. 3.10 [9] знаходимо коефіцієнт сезонності $\psi_1 = 1,2$, який враховує можливе збільшення опору за рік в III кліматичній зоні.

По ПУЕ для установок до 1000В при потужності установки (трансформатора) більше 100 кВ·А, опір заземлювача повинен бути не більше 4 Ом.

Розрахуємо опір вертикального заземлювача:

$$\rho_{\text{розр.1}} = \rho_r \cdot \psi_1 = 95 \cdot 1,2 = 114 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

Розраховуємо опір ґрунту горизонтальної полоси:

$$\rho_{\text{розр.2}} = \rho_r \cdot \psi_2 = 95 \cdot 1,1 = 104,5 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

де $\psi_2 = 1,1$ – кліматичний коефіцієнт для глибини 1 м.

Визначаємо опір одного вертикального заземлювача довжиною 5 м :

$$\begin{aligned} R_o &= \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{розр.1}}}{L} \cdot \left(\lg \frac{2L}{d} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4t+1}{4t-1} \right) = \\ &= \frac{0,366 \cdot 114}{5} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{0,04} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot 3,5+1}{4 \cdot 3,5-1} \right) = 46,7 \text{ Ом}, \end{aligned}$$

де $t = 1 + (5/2) = 3,5$ м.

Приймаємо, що електроди закладені по замкнутому контуру згідно плану, і знайдемо приблизну кількість заземлювачів:

$$n = \frac{R_o}{R_3 \cdot \eta_t} = \frac{46,7}{4 \cdot 0,56} = 21 \text{ шт.},$$

де η_t – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів розташованих по контуру при $a/L = 5/5 = 1$ м по таблиці 8-4 [6].

Знаходимо довжину з'єднувальної горизонтальної полоси:

$$L_n = 1,05 \cdot a \cdot n = 1,05 \cdot 5 \cdot 21 = 110 \text{ м.}$$

Опір полоси з урахуванням екранування:

$$R_{п.э} = 0,366 \cdot \frac{\rho_{розр}}{L_n \cdot \eta_t} \cdot \lg \frac{2 \cdot L_n^2}{b \cdot h} = 0,366 \cdot \frac{104,5}{110 \cdot 0,56} \cdot \lg \frac{2 \cdot 110^2}{0,05 \cdot 1} = 8,07 \text{ Ом.}$$

Опір, що вимагається у вертикальних заземлювачах:

$$R_k = \frac{R_{п.э} \cdot R_3}{R_{п.э} + R_3} = \frac{8,27 \cdot 4}{8,27 + 4} = 2,9 \text{ Ом.}$$

Кінцева кількість заземлювачів:

$$n = \frac{R_o}{R_k \cdot \eta_t} = \frac{46,7}{7,5 \cdot 0,47} = 14 \text{ шт.}$$

Перевірка за вимогами ПУЕ:

$$R_d = \frac{1}{\frac{1}{R_k} + \frac{1}{R_{п.е}}} = \frac{1}{\frac{1}{7,5} + \frac{1}{8,07}} = 3,89 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}.$$

Спроектований заземлювач контурний – контур складається з 14 шт. вертикальних стержневих електродів довжиною 5 м і діаметром 0,04 м та горизонтального електроду у вигляді залізної полоси з розмірами 4×50мм заглибленої в ґрунт на 1 м (рис. 4.7.).

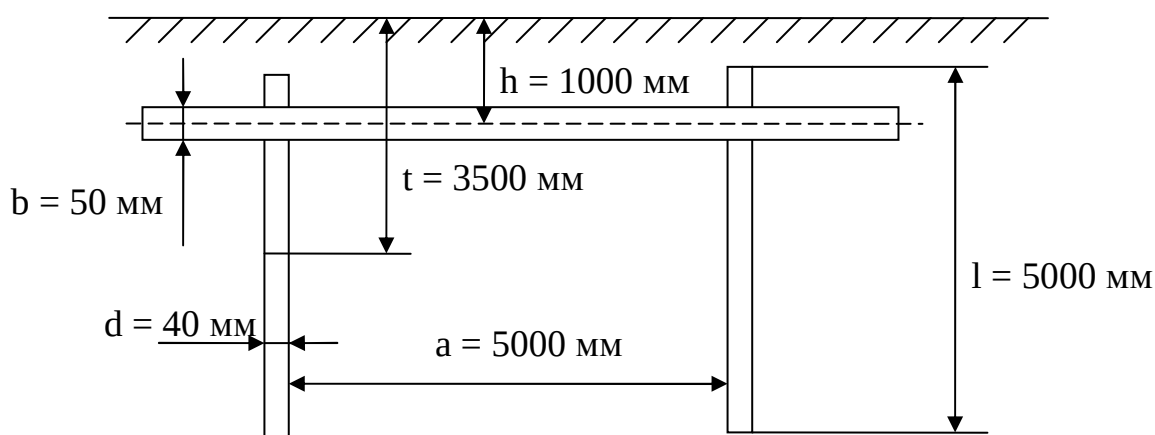


Рис. 4.7. Схема прокладки заземлення.

4.4 Розрахунок блискавкозахисту для будинку цеху

Перенапруга від прямих ударів блискавки найбільш небезпечна. Вимірювання показують, що струм блискавки змінюється від 10 до 250 кА, частіше їх величина сягає 25 кА. Швидкість зміни струму блискавки різна. Зазвичай для розрахунків приймається 50 кА/мкс при амплітуді струму 200 кА.

Для захисту електрообладнання від атмосферних перенапруг застосовують блискавковідводи, захисні троси, розрядники.

Блискавковідводами називають споруди, що захищають будівлі від прямих ударів блискавки. Стержньові блискавковідводи представляють собою високий стовп з прокладеним вздовж нього стальним проводом, з'єднаним з заземлювачем.

При розрахунку блискавковідводу враховують необхідність отримання певної зони захисту, яка представляє собою простір, захищений від прямих ударів блискавки.

Приймаємо виконання захисту двома металічними блискавковідводами стержневого типу висотою 35 м. Визначаємо параметри зони захисту:

$$h_0 = 0,85 \cdot 35 = 29,75 \text{ м};$$

$$r_0 = (1,1 - 0,002h) \cdot h = (1,1 - 0,002 \cdot 35) \cdot 35 = 36,05 \text{ м}$$

Зону захисту будуємо для рівня $h_x = 15$ м. Радіус зони захисту складає:

$$r_x = (1,1 - 0,002h) \cdot \left(h - \frac{h_x}{0,85}\right) = (1,1 - 0,002 \cdot 35) \cdot \left(35 - \frac{15}{0,85}\right) = 17,9 \text{ м}$$

Визначимо параметри h_c , r_{cx} :

$$h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4}h)(L - h) = 29,75 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot 35) \cdot (58 - 35) = 25,6 \text{ м}$$

$$r_{cx} = r_0 \frac{h_c - h_x}{h_c} = 36,05 \frac{25,6 - 15}{25,6} = 14,9 \text{ м}$$

На основі отриманих значень будуємо зони захисту заданого об'єкта (рис. 4.8).

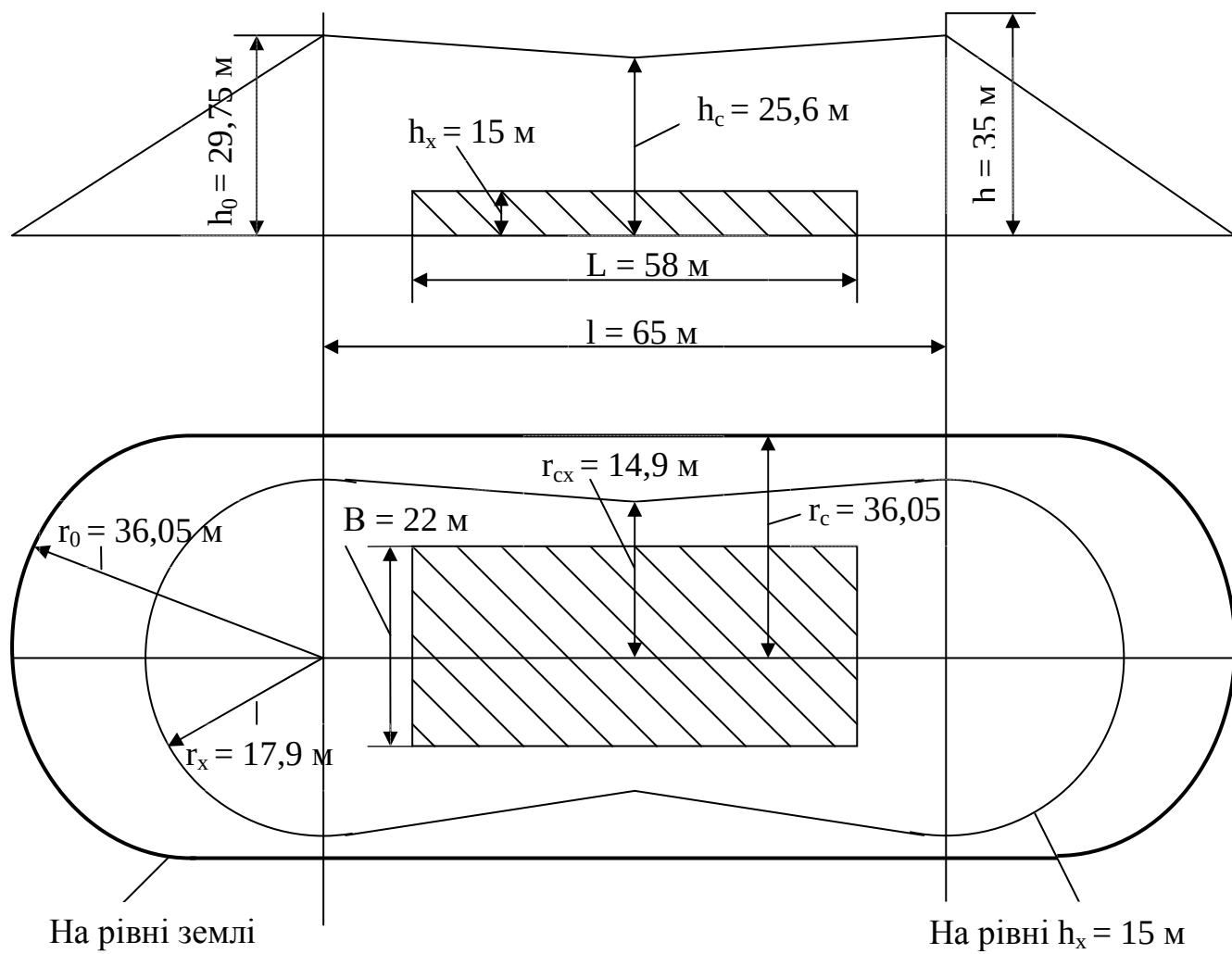


Рис. 4.8. Зони захисту грозозахисту.

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти проведено обґрунтування можливості застосування напруги 660 В.

При розгляді питання доцільності використання напруги 660 В в цехових мережах за критерій оцінки прийнято зведені річні витрати. Розглянуто, які будуть капіталовкладення, або як вони зміняться при переводі цехової мережі з напруги 380 на 660 В. При цьому розглянуто капіталовкладення в такі елементи як, двигуни, апаратура керування, розподільча і живильна мережа, трансформатори і апаратура високої напруги. Оцінено, як зміняться втрати в елементах електричної мережі при використанні напруги 660 В. Всі розрахунки були проведені на 1 кВт встановленої потужності. Для двигунів потужністю до 100 кВт прийнято, що капіталовкладення в двигуни напругою 660 В на 15% більші в порівнянні з двигунами на напругу 380 В, а також втрати більші за рахунок меншого ККД. Капіталовкладення в апаратуру керування в обох варіантах прийнята рівна. Капіталовкладення в розподільчу мережу також прийнята рівна в обох варіантах, при цьому відповідно втрати зменшились в тричі при напрузі 660 В. Капіталовкладення в живильну мережу прийняті менші для варіанту 660 В. При розрахунку питомих капіталовкладень в трансформатори і високовольтну апаратуру враховувалося також, що для варіанту електропостачання напругою 660 В встановлюється додатковий трансформатор для живлення освітлювального навантаження. Для спрощення розрахунків втрати в трансформаторах при напругах 380 і 660 В прийняті однакові. Розрахунок питомих приведених витрат показав, що використання напруги 660 В для цехової мережі товарів народного вжитку при прийнятих припущеннях не вигідний.

Проведений техніко-економічний розрахунок застосування напруги 660 В в цеховій мережі. Використання напруги 660 В є техніко-економічно не виправданим. Це пояснюється наступними причинами:

1. Більшість двигунів електроприймачів цеху мають потужність до 20 кВт при цьому переводити їх на напругу 660 В є не вигідним адже це призведе як до

здорожчання їх вартості так і до збільшення втрат в самих двигунах. Тому, більш доцільним було розглядати варіант електропостачання напругою 380 В для малопотужних споживачів та 660 В для потужних. До того ж в цеху вони знаходяться окремо та живляться від двох силових пунктів (СП-7, СП-8).

2. При проектуванні системи електропостачання з напругою розподільчих мереж 400/230 В були вибрані трансформатори потужністю 630 кВА, а при переводі мереж на напругу 690/400 В вимагає використання трансформаторів тієї ж самої потужності 630 кВА. При цьому за рахунок наявності у варіанті на 660 В додаткових трансформаторів потужністю 160 кВА, що живлять освітлювальне та малопотужне навантаження призводить до суттєвого збільшення капіталовкладення в варіант 660 В.

3. Суттєвого зменшення втрат в варіанті напругою 660 В також не спостерігається. Це пояснюється відносно невеликою протяжністю кабельних ліній у цеху.

4. Зменшення потужності конденсаторних батарей за рахунок збільшення пропускної здатності трансформаторів у варіанті електропостачання напругою 660 В не призводить до суттєвого зниження капіталовкладень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тайц А.А., Грейсук Е.Н., Приклонский Е.Н. Применение напряжения 660 В на промышленных предприятиях. М.: Энергия, 1979.
2. Шкрабець, Ф. П. Основи електропостачання : навч. посіб. / Ф. П. Шкрабець, П. Г. Плешков. - Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2010. - 408 с.
3. Королькова В.И. Электробезопасность на промышленных предприятиях. М.: Машиностроение, 1970.
4. Долин П.А. Действие электрического тока на человека и первая помощь пострадавшему. М.: Энергия, 1972.
5. Применение напряжения 660 В на промышленных предприятиях. Сборник статей под ред. И.Я. Сыромятникова, М.–Л. Госэнергоиздат, 1962.
6. Овчаренко А.С., Винокур М.Х., Головкова А.И., Мактаз А.Г. Техно-экономический анализ применения напряжения 660 В. – «Энергетика и электрификация», 1975, №5, с. 45-48.
7. Грейсук М.В., Сыромятников И.А. О применении напряжения 660 В в народном хозяйстве. – Электричество, 1966, №3, с. 12-17.
8. Цапенко Е.Ф., Кораблев В.П. Защитные свойства зануления при напряжении 660 В. Промышленная энергетика, №10, 1972, 11-14.
9. Кораблев В.П., Цапенко Е.Ф. Применение напряжения 660 В во внутризаводских сетях. ГОСИНТИ, 1972.
10. Люботинский А.И., Ионов В.А., Расин П.И., Красногородцев С.А. 660 В в цветной металлургии. – Промышленная энергетика, 1975, №4, с. 28-30.
11. Кораблев В.П. Исследование условий безопасности при применении напряжения 660 В в сетях промышленных предприятий. МЭИ. Автореферат диссертации, 1973.
12. Фарович В.М. О целесообразности повышения напряжения электросертей шахтных комбайнов до 1140 В. – В кн.: Электрофикация горных разработок. М.: Недра, 1968.