

ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Методичні вказівки

до виконання практичних робіт для здобувачів вищої освіти
першого (бакалаврського) рівня денної і заочної форм здобуття освіти за
спеціальностями 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»,
015.33 «Професійна освіта» («Енергетика, електротехніка та електромеханіка»)

Електронний ресурс



Рецензенти:

К. Ю. Бровко – к. т. н., доцент, доцент кафедри електротехніки та електроенергетики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна;

О. Ю. Єгорова – к. т. н., доцент, доцент кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій Національного технічного університету «Харківського політехнічного інституту».

*Затверджено до розміщення в мережі Інтернет рішенням Науково-методичної ради
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна
(протокол № 5 від 20 лютого 2026 року)*

Я 45 Якість електричної енергії : методичні вказівки до виконання практичних робіт для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня денної і заочної форм здобуття освіти за спеціальностями 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», 015.33 «Професійна освіта» («Енергетика, електротехніка та електромеханіка») [Електронний ресурс] / уклад. Ю. С. Олійник, Н. Д. Винокурова. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2026. – (PDF 30 с.)

Методичні вказівки з виконання практичних робіт підготовлено згідно з навчальною програмою дисципліни «Якість електричної енергії». Ця дисципліна є складовою професійної підготовки студентів третього курсу бакалаврату за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньо-професійної програми «Електричні станції, мережі та системи». Основною метою курсу є надання здобувачам вищої освіти теоретичні знання і практичні навички, які є необхідні для аналізу, оцінки та забезпечення якості електричної енергії. Це включає вивчення показників якості електричної енергії, методів контролю та управління ними, а також технологій та пристроїв, що забезпечують оптимальні параметри електричної енергії в електричних мережах.

УДК 339.9(477)(075.8)

© Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна, 2026

© Олійник Ю. С., Винокурова Н. Д., уклад., 2026

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	4
ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ	5
СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ	8
ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ	9
Задача 1. Розрахунок компенсації реактивної потужності та впливу на струм і падіння напруги	14
Задача 2. Типова задача на флікер (дозу флікера)	16
Задача 3. Пуск двигуна (провал напруги) та раптове вимикання потужного навантаження	17
Задача 4. Розрахунок втрат напруги в мережі	19
Задача 5. Розрахунок втрат напруги в трифазній мережі	20
Задача 6. Розрахунок втрат напруги в трифазній мережі	21
Задача 7. Коефіцієнт потужності	23
Задача 8. Гармонічні спотворення	24
Задача 9. Провали напруги	25
Задача 10. Компенсація реактивної потужності	26
Задача 11. Втрати напруги в мережі	27
РЕКОМЕНДОВНА ЛІТЕРАТУРА	28

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Забезпечення належної якості електроенергії є важливим чинником підвищення ефективності роботи електроприймачів та стабільності функціонування енергосистем. Вирішення питань, пов'язаних із якістю електроенергії, повинно базуватися на комплексному техніко-економічному аналізі, що враховує як позитивний ефект від реалізації заходів з її покращення, так і додаткові витрати, яких вони потребують.

Оцінювання якості електроенергії здійснюється за техніко-економічними показниками, які враховують збитки, спричинені її незадовільним рівнем. Серед основних негативних наслідків низької якості можна виокремити:

- ✓ техногенні втрати - зниження продуктивності, порушення технологічних процесів у споживачів електроенергії, пошкодження обладнання систем електропостачання;
- ✓ електромагнітні втрати - збільшення втрат електроенергії та вихід з ладу електротехнічного обладнання;
- ✓ збитки в електроенергетиці - пов'язані з порушенням вимог стандартів якості електроенергії.

Якість електроенергії нерозривно пов'язана з надійністю електропостачання. Нормальним режимом вважається такий стан системи, за якого споживачі отримують електроенергію у необхідному обсязі, безперервно та з дотриманням встановлених стандартів.

Поняття якості електроенергії є багатограним і відображає ступінь її придатності для використання споживачами. Високий рівень якості є основою безпечної, ефективної та довговічної роботи електротехнічного обладнання. У сучасних умовах, коли електроенергія становить фундамент більшості технологічних процесів, її якість безпосередньо визначає економічну ефективність, екологічну стійкість та соціальну стабільність.

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Якість електричної енергії є ключовим чинником для забезпечення надійності та ефективності функціонування електроенергетичних систем. Знання її принципів і технічних особливостей дозволяє інженерам та технічним спеціалістам проєктувати, впроваджувати й експлуатувати сучасні системи електроживлення, що охоплюють управління електричними мережами, стабілізацію напруги та роботу електронних пристроїв.

Володіння інформацією про параметри якості електроенергії сприяє підвищенню рівня безпеки працівників, користувачів та обладнання, допомагає запобігати аваріям, коротким замиканням і перенапругам, які можуть спричинити пошкодження або пожежі. Своєчасне виявлення й усунення проблем, пов'язаних із якістю електроенергії, зменшує втрати та сприяє раціональному використанню енергоресурсів.

Низька якість електроенергії здатна викликати збої у роботі обладнання, зниження продуктивності, а також додаткові витрати на ремонт чи заміну. Усвідомлення значення цього показника дозволяє мінімізувати ризики та підвищити ефективність енергоспоживання.

Вивчення курсу «Якість електричної енергії» відіграє важливу роль у підготовці кваліфікованих фахівців електроенергетики та формуванні обізнаності широкої громадськості. Знання з цієї дисципліни сприяють підвищенню ефективності використання електроенергії, підвищенню безпеки експлуатації обладнання та надійності енергопостачання в різних сферах життєдіяльності.

Мета викладання навчальної дисципліни «Якість електричної енергії» є надання здобувачам вищої освіти теоретичні знання і практичні навички, які є необхідні для аналізу, оцінки та забезпечення якості електричної енергії. Це включає вивчення показників якості електричної енергії, методів контролю та управління ними, а також технологій та пристроїв, що забезпечують оптимальні параметри електричної енергії в електричних мережах.

Якість електроенергії є не лише технічним показником, а й важливим соціально-економічним чинником, що впливає на безпеку та комфорт населення, продуктивність промисловості й загальний розвиток економіки. Підвищення ефективності енергопостачання можливе завдяки модернізації систем, впровадженню інноваційних технологій та заходів з енергоефективності, що забезпечать надійне й якісне електропостачання споживачів.

Основні завдання вивчення дисципліни:

- ✓ Ознайомлення студентів з нормативними документами та стандартами, що регулюють якість електричної енергії.
- ✓ Вивчення основних факторів, що впливають на якість електричної енергії.
- ✓ Розвиток навичок діагностики та аналізу проблем, пов'язаних з якістю електричної енергії.
- ✓ Оволодіння методами та інструментами для забезпечення та підвищення якості електричної енергії в системах електропостачання.

Дисципліна є вибірковою, отже заплановані результати навчання можна представити у наступному вигляді.

Перелік компетентностей, що формує дана дисципліна:

- ✓ Знання нормативних документів: розуміння стандартів якості електричної енергії (ІЕС, ІЕЕЕ, ДСТУ тощо).
- ✓ Здатність аналізувати такі показники, як напруга та її відхилення, частота, гармонічні складові, доза флікера, перерви та провали напруги.
- ✓ Мати навички роботи з вимірювальними приладами (аналізатори якості енергії, осцилографи, мультиметри).
- ✓ Використання програмного забезпечення для моделювання електромереж і прогнозування впливу різних факторів на якість енергії.
- ✓ Розробка технічних рішень: здатність пропонувати способи покращення якості енергії (фільтри, стабілізатори, компенсаційні пристрої).
- ✓ Оцінка впливу на споживачів: розуміння, як порушення якості електроенергії впливають на роботу електрообладнання, виробничі процеси та безпеку.
- ✓ Усвідомлення необхідності підвищення ефективності електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного устаткування.

Після опанування курсу «Якість електричної енергії» здобувач вищої освіти буде:

- ✓ Володіти основними поняттями та термінами, пов'язаними з якістю електричної енергії.
- ✓ Розуміти нормативні документи і стандарти, що регулюють якість електричної енергії.
- ✓ Знати фактори, що впливають на якість електричної енергії, та їхніх джерел.
- ✓ Вміти аналізувати показники якості електричної енергії.
- ✓ Мати здатність діагностувати проблеми в електричних мережах, пов'язані з якістю енергії.

- ✓ Мати навички оцінки впливу різних факторів на якість електричної енергії.
- ✓ Вміти оцінювати економічних наслідків недостатньої якості електричної енергії.
- ✓ Вміти проводити економічний аналіз витрат та вигод від впровадження заходів з підвищення якості електричної енергії.
- ✓ Уміти оцінювати енергоефективність та надійність роботи електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем.

СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 1. Якість електричної енергії												
Тема 1. Вступ	14	4				10	22	2				20
Тема 2. Основні показники якості електричної енергії	33	8	10			15	22	2				20
Тема 3. Фактори, що впливають на якість електричної енергії. Методи контролю та аналізу якості електричної енергії	33	8	10			15	22	2				20
Тема 4. Методи забезпечення та підвищення якості електричної енергії. Практичні аспекти забезпечення якості електричної енергії	33	8	10			15	28	2	6			20
Тема 5. Аналіз економічних аспектів якості електричної енергії	29	4	10			15	20					20
Разом за розділом 1	142	32	40			70	114	8	6			100
Розділ 2. Компенсація реактивної потужності												
Тема 1. Поняття реактивної потужності. Компенсація реактивної потужності.	38	8	10			20		2	2			62
Разом за розділом 2	46	8	10			20	66	2	2			62
Усього годин	180	40	50			90	180	10	8			162

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Розділ 1. Якість електричної енергії

Тема 1. Вступ. Якість електричної енергії визначається як сукупність характеристик електричного струму, напруги та частоти, які забезпечують стабільну та надійну роботу електричних пристроїв. Від неї залежить стабільність електропостачання та ефективність роботи електрообладнання.

Нормативні документи та стандарти в галузі якості електричної енергії. Основні нормативні документи та стандартів, які регулюють якість електричної енергії. Вплив якості електричної енергії на роботу електрообладнання та електронних пристроїв. Низька якість електричної енергії може спричинити кілька проблем: перенапруги та короткі замикання: можуть пошкодити електрообладнання та зменшити його термін експлуатації; перешкоди та шум: впливають на роботу електронних пристроїв, особливо чутливих до змін напруги та частоти. Енергетичні втрати: низька якість електроенергії може збільшити енергетичні втрати, що призводить до підвищених витрат на електропостачання.

Тема 2. Основні показники якості електричної енергії. Основні показники якості електричної енергії: частота напруги - це кількість коливань змінного струму за секунду. У більшості країн стандартна частота електромережі становить 50 або 60 Гц. Відхилення від цієї частоти можуть спричинити неправильну роботу електрообладнання. Амплітуда напруги - це максимальне значення напруги в електричному циклі. Зазвичай вона повинна бути постійною і відповідати номінальному значенню (наприклад, 220 В або 110 В). Відхилення амплітуди можуть призвести до перегрівання або зниження ефективності роботи пристроїв. Спотворення форми напруги та струму (гармонічні складові). Гармонічні складові - це спотворення синусоїдальної форми напруги або струму, що виникають через нелінійні навантаження. Вони можуть викликати додаткові втрати енергії, нагрівання обладнання та погіршення роботи електронних пристроїв. Асиметрія напруги - це нерівномірний розподіл напруги між фазами в трифазній електромережі. Це може призвести до перевантаження та перегріву обладнання, а також до нерівномірної роботи електродвигунів. Провали та перенапруги. Провали напруги - це короточасні зниження напруги, які можуть спричинити вимкнення або неправильну роботу електронних пристроїв. Перенапруги - це

короткочасні підвищення напруги, які можуть пошкодити ізоляцію, спричинити збої в роботі обладнання або навіть його поломку.

Тема 3. Фактори, що впливають на якість електричної енергії. Методи контролю та аналізу якості електричної енергії

Фактори, що впливають на якість електричної енергії та методи контролю та аналізу. Нерівномірний розподіл навантаження між фазами в мережі може призвести до асиметрії напруги та погіршення якості електроенергії. Це виникає, коли одна або більше фаз навантажуються більше, ніж інші, що викликає нерівномірний розподіл потужності. Перехідні процеси в електричних мережах. Перехідні процеси включають короткочасні збурення напруги та струму, які виникають при комутації, включенні або вимкненні обладнання, аваріях у мережі тощо. Вони можуть спричиняти спалахи напруги, провали напруги та інші тимчасові збурення. Гармонічні спотворення, створені нелінійними навантаженнями. Нелінійні навантаження, такі як випрямлячі, інвертори та деякі види освітлювальних приладів, можуть створювати гармонічні складові, що спотворюють форму хвилі напруги та струму. Це знижує ефективність роботи обладнання та може спричинити додаткові втрати. Електромагнітні завади. Електромагнітні завади можуть бути викликані різними джерелами, включаючи радіочастотні випромінювання, комутаційні імпульси та інше обладнання. Вони можуть впливати на якість сигналу та роботу чутливих електронних пристроїв. Методи контролю та аналізу якості електричної енергії. Вимірювальні прилади та пристрої для оцінки якості електричної енергії. Для оцінки якості електричної енергії використовуються різноманітні вимірювальні прилади, такі як аналізатори якості електроенергії, осцилографи, мультиметри та інші спеціалізовані інструменти. Вони дозволяють вимірювати та аналізувати параметри напруги, струму, частоти, гармонічних спотворень та інші характеристики. Методи спектрального аналізу для виявлення гармонічних складових. Спектральний аналіз дозволяє виявляти та оцінювати гармонічні складові напруги та струму. Це допомагає ідентифікувати джерела нелінійних спотворень та оцінити їхній вплив на якість електричної енергії. Моніторинг параметрів якості електричної енергії в реальному часі. Системи моніторингу в реальному часі дозволяють постійно контролювати параметри якості електричної енергії та швидко реагувати на будь-які відхилення або проблеми. Це допомагає забезпечити стабільність електропостачання та запобігти можливим збоям в роботі обладнання.

Тема 4. Методи забезпечення та підвищення якості електричної енергії.
Практичні аспекти забезпечення якості електричної енергії

Використання компенсаційних пристроїв (конденсаторні установки, фільтри гармонік).

Системи автоматичного регулювання напруги.

Пристрої безперебійного живлення (UPS) та стабілізатори напруги.

Резервування та дублювання електроживлення.

Розрахунки та моделювання електричних мереж з урахуванням показників якості.

Реальні кейси та приклади з промислової практики.

Впровадження новітніх технологій для покращення якості електричної енергії.

Тема 5. Аналіз економічних аспектів якості електричної енергії.

Методи забезпечення та підвищення якості електричної енергії.
Використання компенсаційних пристроїв (конденсаторні установки, фільтри гармонік). Конденсаторні установки використовуються для компенсації реактивної потужності, зменшуючи втрати енергії та покращуючи стабільність напруги. Фільтри гармонік встановлюються для зменшення гармонічних спотворень, що виникають через нелінійні навантаження, забезпечуючи більш чисту форму синусоїдальної хвилі. Системи автоматичного регулювання напруги (AVR) забезпечують постійну стабільність напруги в мережі, регулюючи її в залежності від зміни навантаження. Це допомагає уникати перенапруг та провалів, забезпечуючи стабільну роботу електрообладнання. Пристрої безперебійного живлення (UPS) використовуються для захисту критичного обладнання від переривань в електропостачанні, забезпечуючи резервне живлення на короткий час. Стабілізатори напруги допомагають підтримувати постійну напругу, захищаючи електроніку від перепадів. Резервування та дублювання електроживлення полягає у використанні додаткових джерел енергії або дублюючих ліній електропередачі для забезпечення надійності електропостачання. Це дозволяє уникнути простоїв обладнання при аварійних ситуаціях. Практичні аспекти забезпечення якості електричної енергії. Розрахунки та моделювання електричних мереж з урахуванням показників якості. Використання спеціалізованого програмного забезпечення для моделювання електричних мереж дозволяє прогнозувати якість електроенергії та оптимізувати роботу системи. Це допомагає виявляти потенційні проблеми та розробляти заходи для їх запобігання. Реальні кейси та приклади з

промислової практики Вивчення реальних кейсів допомагає розуміти, які заходи були ефективними для забезпечення якості електроенергії в різних умовах. Приклади з промисловості можуть включати впровадження нових технологій, модернізацію обладнання та інші заходи. Впровадження новітніх технологій для покращення якості електричної енергії. Сучасні технології такі як розумні мережі (Smart Grids), інтернет речей (IoT) та великі дані (Big Data) дозволяють більш точно контролювати та аналізувати якість електричної енергії. Це допомагає вчасно виявляти проблеми та впроваджувати ефективні рішення для їх усунення.

Розділ 2. Компенсація реактивної потужності

Тема 1. Поняття реактивної потужності. Компенсація реактивної потужності.

Поняття реактивної потужності. Компенсація реактивної потужності. Вступ. Реактивна потужність (Q) - це складова електричної потужності, яка не перетворюється в корисну роботу, а створюється і поглинається електричними та магнітними полями. Вона відіграє важливу роль у функціонуванні електричних систем, забезпечуючи магнітне поле для роботи індуктивних навантажень. Проблеми, пов'язані з реактивною потужністю. Реактивна потужність спричиняє кілька проблем в електричних системах: збільшення втрат енергії через нагрівання проводів та обладнання, зменшення пропускної здатності ліній електропередавання, зниження коефіцієнта потужності ($\cos \phi$), що призводить до менш ефективного використання електричної енергії, необхідність збільшення розмірів обладнання для підтримання достатнього рівня напруги. Компенсація реактивної потужності. Компенсація реактивної потужності - це процес зменшення або усунення негативного впливу реактивної потужності на електричну систему. Це досягається шляхом встановлення спеціальних пристроїв, які генерують або поглинають реактивну потужність. Методи компенсації реактивної потужності. Конденсаторні батареї: використовуються для генерації реактивної потужності та компенсації індуктивних навантажень. Синхронні компенсатори: синхронні машини, що працюють в холостому режимі, генерують або поглинають реактивну потужність в залежності від режиму роботи. Статичні вар-компенсатори (SVC): використовують тиристорні регулятори для керування потоком реактивної потужності. Фільтри гармонік: використовуються для усунення гармонічних спотворень та компенсації реактивної потужності.

Приклади використання та розрахунки. Приклади використання компенсації реактивної потужності включають промислові підприємства, електростанції та розподільчі мережі. Розрахунки включають визначення необхідної ємності конденсаторів або потужності компенсаторів для досягнення бажаного коефіцієнта потужності. Технічні та економічні аспекти компенсації. Технічні аспекти компенсації включають правильний вибір та встановлення обладнання, забезпечення стабільної роботи електричної системи та зменшення втрат енергії. Економічні аспекти включають зниження витрат на електроенергію, зменшення плати за реактивну потужність та підвищення ефективності роботи електричних систем.

Задача 1. Розрахунок компенсації реактивної потужності та впливу на струм і падіння напруги

Цех споживає активну потужність $P = 160$ кВт, напруга мережі $U = 400$ В, частота $f = 50$ Гц. Початковий коефіцієнт потужності $\cos\varphi_1 = 0,72$. Необхідно підвищити його до $\cos\varphi_2 = 0,95$. Фідер має опір активний $R = 0,05$ Ом та індуктивний опір $X = 0,08$ Ом.

Необхідно:

1. визначити потрібну потужність батареї конденсаторів $Q_{БК}$;
2. порівняти лінійний струм до/після компенсації;
3. оцінити зменшення падіння напруги на фідері;
4. (опційно) оцінити ємність секції конденсаторної батареї при з'єднанні «трикутник».

Розв'язання:

1. Необхідна реактивна потужність компенсації:

$$Q_{БК} = P \cdot (tg\varphi_1 - tg\varphi_2), \text{ квар}$$

$$tg\varphi = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi};$$

$$\sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi = 1; \sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi};$$

$$tg\varphi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi};$$

Відповідно до довідкових даних ([Комплектна конденсаторна установка АКУ, КРМ, УКМ 58 0.4 \(0.38\) кВ. Виробництво і продаж з цінами в Харкові і Україні](#)) необхідно обрати КУ.

Модель	Опис

2. Струм до та після компенсації:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}, \text{ А}$$

$$\text{Струм до компенсації: } I_1 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi_1}, \text{ А.}$$

$$\text{Струм після компенсації: } I_2 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi_2}, \text{ А;}$$

Зменшення струму внаслідок використання ККУ складає $\Delta I = I_1 - I_2$, А

$$\Delta I \approx \%$$

3. Падіння напруги на фідері:

Лінійні втрати напруги: $\Delta U \approx \sqrt{3} \cdot (R \cdot I_1 \cdot \cos\varphi + X \cdot I_1 \cdot \sin\varphi)$, В

До компенсації: $\Delta U_1 \approx \sqrt{3} \cdot (R \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1 + X \cdot I_1 \cdot \sin\varphi_1)$, В

Зменшення падіння напруги внаслідок використання ККУ складає:

$$\Delta U_1 - \Delta U_2, \text{ В}$$

4. Ємність конденсаторів (з'єднання «трикутник»):

Для трикутника $Q = 3 \cdot \omega \cdot C_{\Delta} \cdot U^2$, квар

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$C_{\Delta} = \frac{Q}{3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot U^2}, \text{ Ф (на кожному з трьох гілок трикутника).}$$

Висновки:

1. Яка потрібна компенсація?
2. Яким чином зміниться струм мережі?
3. Яким чином зміниться падіння напруги на фідері?

Задача 2. Типова задача на флікер (дозу флікера)

При вмиканні зварювального апарата напруга в мережі падає з $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$ до $U_{\text{мін}} = 198 \text{ В}$. Визначити:

1. Відносну зміну напруги ΔU ;
2. Короткочасну дозу флікера P_{st} , якщо для даної частоти коливань коефіцієнт чутливості лампи дорівнює $k = 1,5$;
3. Порівняти з нормами (ДСТ 13109-97/ EN 61000-4-15: $P_{st} \leq 1,0$).

Розв'язання:

1. Відносна зміна напруги:

$$\Delta U = \frac{U_{\text{ном}} - U_{\text{мін}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\%, \text{ В}$$

2. Короткочасна доза флікера:

$$P_{st} = k \cdot \frac{\Delta U}{100\%}$$

3. Порівняння з нормами:

Оскільки $P_{st} = \leq 1,0$, доза флікера не перевищує/перевищує допустимі межі, і якість електроенергії вважається задовільною.

Висновок: при якому значенні провалі напруги доза флікера не перевищує/перевищує норму.

Задача 3. Пуск двигуна (провал напруги) та раптове вимикання потужного навантаження

Дано (спільне для обох випадків):

$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$, $f = 50 \text{ Гц}$, потужність короткого замикання в точці приєднання $S_{SC} = 100 \text{ МВА}$ – еквівалентний струм короткого замикання.

Розв'язання:

$$I_{SC} = \frac{S_{SC}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \text{ А}$$

Провал напруги під час пуску двигуна:

Асинхронний двигун навантаження цеху $P = 1 \text{ МВт}$, $\cos\varphi_1 = 0,9$, $\eta = 0,95$

Пусковий струм $I_{st} = 6 \cdot I_n$

Орієнтовний час розгону $t_{st} \approx 0,8 \text{ с}$

1. Номінальний струм двигуна:

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot \eta}, \text{ А.}$$

2. Пусковий струм:

$$I_{st} = 6 \cdot I_n, \text{ А}$$

3. Оцінка глибини провалу напруги:

Для «жорсткої» мережі (домінує внутрішній опір джерела) відносний провал можна грубо оцінити:

$$\frac{\Delta U}{U} \approx \frac{I_{st}}{I_{SC}} \cdot 100\%$$

Отже, під час пуску очікується провал приблизно тривалістю близько ВКАЗАТИ СКІЛЬКИ СЕКУНД.

Висновок: провал $\approx$ % за 0,8 с, ймовірно, не критичний для більшості приводів/ освітлення, але може спричиняти мерехтіння світла або збої чутливих перетворювачів.

Перепад напруги при раптовому вимиканні потужного навантаження:

Раптово відключається активне навантаження $P = 3 \text{ МВт}$ (наближено $\cos\varphi = 1$)

1. Струм, який зникає з мережі:

$$I_{drop} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \text{ А}$$

2. Оцінка перепаду (підвищення) напруги:

$$\frac{\Delta U}{U} \approx \frac{I_{drop}}{I_{SC}} \cdot 100\%$$

Висновок: очікується короткочасний перепад (підвищення) напруги близько ВКАЗАТИ СКІЛЬКИ. Як правило, він триває кілька періодів мережі до спрацювання регулювання напруги/автомат

.

Задача 4. Розрахунок втрат напруги в мережі

Мережа живлення складається з однієї однофазної лінії довжиною $L = 250$ м, виконаної алюмінієвим проводом перерізом $S = 35$ мм². Опір 1 км такого проводу становить $R_0 = 0,868$ Ом/км. До кінця лінії підключене навантаження з активною потужністю $P = 20$ кВт при напрузі $U = 380$ В, коефіцієнті потужності $\cos \varphi = 0,9$.

Визначити:

1. Падіння напруги в лінії.
2. Відносне відхилення напруги, %.
3. Чи відповідає отримане значення нормативам (допустиме відхилення – не більше 5 % від номінальної напруги).

Розв'язання:

1. Обчислимо струм навантаження:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi}, \text{ А}$$

2. Опір проводу на даній довжині:

$$R = R_0 \cdot \frac{L}{1000}, \text{ Ом}$$

Оскільки лінія однофазна, враховуємо опір прямого і зворотного провідника:

$$R_L = 2 \cdot R, \text{ Ом}$$

3. Падіння напруги:

$$\Delta U = I \cdot R_L, \text{ В}$$

4. Відносне відхилення напруги:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100\%$$

Висновок: вказати падіння напруги в лінії, який відповідає якій кількості % від номінальної напруги. Це перевищує/не перевищує допустиме значення, тому переріз проводу потрібно збільшити або зменшити довжину/навантаження.

Задача 5. Розрахунок втрат напруги в трифазній мережі

До кінця трифазної лінії довжиною $L = 400$ м підключене навантаження потужністю $P = 150$ кВт при напрузі $U = 0,4$ кВ (лінійна) і коефіцієнті потужності $\cos \varphi = 0,92$. Лінія виконана мідним кабелем перерізом $S = 70$ мм², активний опір якого становить $R_0 = 0,443$ Ом/км.

Визначити:

1. Струм навантаження.
2. Активний опір лінії.
3. Падіння напруги в трифазній мережі.
4. Відносне відхилення напруги, %.
5. Чи відповідає отримане значення стандартам (допустиме падіння – не більше 5 %).

Розв'язання:

1. Струм навантаження:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}, \text{ А}$$

2. Опір проводу на даній довжині:

$$R = R_0 \cdot \frac{L}{1000}, \text{ Ом}$$

3. Падіння напруги в трифазній мережі:

Для трифазної системи:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot \cos \varphi, \text{ В}$$

4. Відносне відхилення напруги:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100\%$$

Висновок: вказати значення падіння напруги в лінії у В та у %, що значно перевищує/не перевищує допустиме значення (5 %). Для забезпечення нормативних умов необхідно збільшити переріз кабелю або застосувати інші технічні рішення.

Задача 6. Розрахунок втрат напруги в трифазній мережі

Трифазна лінія довжиною $L = 300$ м виконана мідним кабелем перерізом $S = 95$ мм². До кінця лінії підключене збалансоване навантаження з активною потужністю $P = 120$ кВт при лінійній напрузі $U = 0,4$ кВ і коефіцієнті потужності $\cos \varphi = 0,92$. Опір міді можна прийняти за формулою $R_0 = \frac{17,24}{S}$, Ом/км (при $t = 20^\circ\text{C}$).

Визначити:

1. Струм навантаження I .
2. Активний опір одного провідника лінії R на довжину L .
3. Падіння напруги ΔU у трифазній мережі.
4. Відносне відхилення напруги $\Delta U\%$.
5. Чи відповідає падіння нормативу ($\leq 5\%$).

Розв'язання:

1. Струм навантаження (для трифазної системи):

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}, \text{ А}$$

2. Опір одного провідника на довжину L :

Спочатку опір на 1 км:

$$R_0 = \frac{17,24}{S}, \text{ Ом/км}$$

Опір на довжину $L = 300$ м:

$$R = R_0 \cdot \frac{L}{1000}, \text{ Ом}$$

3. Падіння напруги в трифазній мережі

Для активної частини падіння напруги використовуємо формулу:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot R \cdot \cos \varphi, \text{ В}$$

4. Відносне відхилення напруги:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100\%$$

5. Оцінка відповідності стандарту

Допустиме падіння - $\geq/\leq 5\%$. Отримане відхилення вказати значення у % отже — відповідає/не відповідає стандарту.

Висновок: вказати значення падіння напруги в лінії у В та у %, що вкладається/не вкладається в норматив ($\leq 5\%$). Якщо потрібно отримати запас або зменшити втрати ще більше, можна:

- ✓ збільшити переріз кабелю;
- ✓ скоротити довжину лінії (або змінити точку підключення);
- ✓ застосувати багатопровідні рішення або покращити матеріал проводів.

Задача 7. Коефіцієнт потужності

Підприємство споживає активну потужність $P = 80$ кВт і реактивну потужність $Q = 60$ квар.

Необхідно:

- ✓ Визначити повну потужність S .
 - ✓ Обчислити коефіцієнт потужності $\cos \varphi$.
 - ✓ Зробити висновок про якість роботи системи.
- ✓ Розв'язання:

1. Повна потужність:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \text{ кВА}$$

2. Коефіцієнт потужності:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Висновок: Вказати значення повну потужність та $\cos \varphi$. Коефіцієнт потужності дорівнює (вказати значення) - середній, доцільно розглянути компенсацію реактивної потужності для зниження струмів і втрат.

Задача 8. Гармонічні спотворення

В мережі зафіксовані гармоніки струму:

3-тя — 12 А,

5-та — 8 А,

7-ма — 6 А,

основна гармоніка (1-ша) — 100 А.

Визначити:

- ✓ коефіцієнт гармонічних спотворень струму (THD).
- ✓ зробити висновок про якість енергії (норма — не більше 8 %).

Розв'язання:

1. Гармонічні спотворення (THD)

THD визначається як:

$$TND = \frac{\sqrt{\sum_{n \geq 2} I_n^2}}{I_1}$$

2. Підсумовуємо квадрати гармонік (без основної):

$$I_3^2 + I_5^2 + I_7^2, \text{ А}$$

3. Квадратний корінь:

$$\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2}, \text{ А}$$

4. THD:

$$TND = \frac{TND}{100}, \%$$

Висновок: Вказати значення у % TND , що перевищує/ не перевищує норму (наприклад, 8 %). Необхідні заходи — фільтри гармонік, коригування навантаження, перевірка нелінійних споживачів.

Задача 9. Провали напруги

В мережі 380 В зафіксований провал напруги до 300 В тривалістю 0,3 с.

Необхідно:

- ✓ Обчислити відносну глибину провалу у %.
- ✓ Вказати можливі наслідки для електродвигунів і чутливого обладнання.

Розв'язання:

1. Глибина провалу (відносна):

$$\Delta U\% = \frac{U_{\text{ном}} - U_{\text{min}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\%$$

Можливі наслідки:

- ✓ асинхронні двигуни можуть уповільнитись або зупинитись (зростання пускового струму, ризик перегріву);
- ✓ чутливе електронне обладнання (ПЛК, ІТ) — перезавантаження, втрата даних;
- ✓ захисти можуть спрацювати, призвести до простою;
- ✓ можливі проблеми з якістю технологічних процесів.

Задача 10. Компенсація реактивної потужності

Споживач має активну потужність $P = 50$ кВт при коефіцієнті потужності $\cos \varphi = 0,7$. Потрібно підвищити його до $\cos \varphi = 0,95$.

Необхідно:

- ✓ Визначити початкову реактивну потужність Q_1 .
- ✓ Визначити кінцеву реактивну потужність Q_2 .
- ✓ Обчислити необхідну потужність батареї конденсаторів Q_c .

Розв'язання:

$P = 50$ кВт, початковий $\cos \varphi_1 = 0,7$, цільовий $\cos \varphi_2 = 0,95$

Краще обчислювати через тангенс кута:

$Q = P \cdot \operatorname{tg} \varphi$, квар

$$\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi} - 1}$$

1. Знайдемо Q_1 (початкова реактивна):

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \sqrt{\frac{1}{0,7^2} - 1}$$

$Q_1 = P \cdot \operatorname{tg} \varphi_1$, квар

Перевірка іншим шляхом:

$$S_1 = \frac{P}{\cos \varphi_1}, \text{ кВА}$$

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2}, \text{ квар} - \text{співпадає значення}$$

2. Знайдемо Q_2 (після підвищення $\cos \varphi$ до 0,95):

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \sqrt{\frac{1}{0,95^2} - 1}$$

$Q_2 = P \cdot \operatorname{tg} \varphi_2$, квар

3. Необхідна компенсуюча потужність конденсаторної батареї:

$$Q_c = Q_1 - Q_2, \text{ квар}$$

Висновок: вказати значення квар батареї конденсаторів, яке приблизно потрібно, щоб підвищити $\cos \varphi$ з 0,7 до 0,95.

Задача 11. Втрати напруги в мережі

Довжина кабельної лінії $L = 150$ м, переріз мідного проводу $S = 50$ мм², опір 1 км – 0,36 Ом/км. Навантаження: $P = 40$ кВт, $U = 380$ В, $\cos \varphi = 0,9$.

Необхідно:

- ✓ Визначити струм навантаження.
- ✓ Розрахувати падіння напруги в лінії.
- ✓ Перевірити, чи відповідає відхилення нормативу ($\leq 5\%$).

Розв'язання:

Зауваження: розв'язання здійснюємо для однофазної лінії з прямим та зворотним провідниками (тобто опір береться двічі).

1. Струм навантаження:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi}, \text{ А}$$

2. Опір одного провідника на довжину L :

$$R = R_0 \cdot \frac{L}{1000}, \text{ Ом}$$

Опір обхідного кола (прямий + зворотний):

$$R_{\text{л}} = 2 \cdot R, \text{ Ом}$$

3. Падіння напруги (активна частина, при простоті моделі):

$$\Delta U = I \cdot R_{\text{л}}, \text{ В}$$

4. Відносне відхилення:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100\%$$

Висновок: вказати значення падіння напруги у % - відповідає/не відповідає нормативу ($\leq 5\%$). Якщо потрібно ще зменшити падіння - збільшити переріз кабелю або змінити схему підключення.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА:

1. Кунденко Є. О., Чорний А. О. Smart Grid та системи гнучкості електроенергетичних мереж України : монографія. Київ : Інститут електродинаміки НАН України, 2022. 284 с.
2. Horbachov I. С. Моніторинг якості електричної енергії в умовах енергетичного переходу та децентралізації генерації : монографія. Київ : НУЕУ, 2023. 198 с.
3. Цифровий облік електричної енергії з урахуванням показників її якості та визначенням відповідальності за погіршення / Монографія / Є. І. Сокол, Д.А., Гапон, О.Г., Гриб, А.О. та інші/ Під загальною редакцією член-кореспондента НАН України, доктора технічних наук, професора Сокола Є. І. – Харків: ФОП Бровін О.В., 2021. – 330 с.
4. Рудик В. Є., Сидоренко С. П., Буткевич В. М. Аналіз та методи оцінки показників якості електричної енергії в розподільчих системах : навч. посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 212 с.
5. Сахно О. О., Назаренко І. П. Вимірювання показників якості електричної енергії та оцінка їх впливу на ефективність роботи споживачів : монографія. Харків : НТУ «ХПІ», 2021. 257 с.
6. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. Вилучено з <https://de.com.ua/uploads/0/1703-EnergyStratagy2030.pdf>
7. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначеності (EN 50160:2010, IDT) : ДСТУ EN 50160: 2014. – [Чинний від 2014-10-01]. – К. Мінекономрозвитку України, 2014. – 33 с. – (Національний стандарт України)
8. EN 61000-4-30:2009 Електромагнітна сумісність (ЕМС). Частина 4- 30. Методики випробування та вимірювання. Вимірювання показників якості електричної енергії
9. ДСТУ ІЕС 61000-4-30:2010 Електромагнітна сумісність. Частина 4-30. Методи випробування та вимірювання. Вимірювання показників якості електричної енергії (ІЕС 61000-4-30:2008, IDT)

Електронне навчальне видання комбінованого використання
Можна використовувати в локальному та мережному режимі

Олійник Юлія Сергіївна
Винокурова Наталія Дмитріївна

ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Методичні вказівки

до виконання практичних робіт для здобувачів вищої освіти
першого (бакалаврського) рівня денної і заочної форм здобуття освіти за
спеціальностями 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»,
015.33 «Професійна освіта» («Енергетика, електротехніка та електромеханіка»)

В авторській редакції

Підписано до розміщення 20.02.2026. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 1,86. Обсяг 0,689 Мб. Зам. № 40/26.

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.2009
Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна