

Електроживлення систем зв'язку

Тема 1. Введення в дисципліну

Особливості електричної енергії

Із курсу фізики відомо, що для виконання будь-якої роботи необхідно витратити енергію. Тобто енергія – це спроможність виконувати роботу.

На сьогоднішній день людством використовуються наступні види енергії:

- хімічна (енергія зв'язку атомів в молекулах речовини);
- кінетична (енергія руху тіла що має певну масу);
- теплова (кінетична енергія руху атомів та молекул у речовині);
- енергія випромінювання (хвиль або часток);
- ядерна енергія (енергія зв'язку нуклонів у ядрах атомів).

І останній вид енергії, що в останній час активно використовується людством, це електрична енергія.

Сама електрична енергія безпосередньо людиною не використовується. У людини не має органів для відчуття енергії цього типу. Окрім блискавки та атмосферної електрики на Землі не має природних джерел електричної енергії. Таким чином для життя людини електрична енергія не потрібна.

Але вона має ряд властивостей, які обумовили її активне використання людиною. До цих властивостей відносяться наступні.

Висока швидкість передавання, яка практично дорівнює швидкості світла (300 тисяч кілометрів за секунду).

Простота передавання у тому числі на великі відстані. Електричну енергію можна передавати на тисячі кілометрів, із мінімальними втратами. Втрата при передаванні електричної енергії є найменшими порівняно із втратами при передаванні енергії інших видів (наприклад, теплової).

До того ж електричну енергію передавати зручно. Для доставки енергії у потрібну точку простору потрібно лиш два ізольовані проводи.

І до цих позитивних властивостей додається ще й простота перетворення в енергію того виду, якщо безпосередньо необхідний людині: механічну, світлову, теплову та інші.

Таким чином, усі ці позитивні властивості призвели до того, що електрична енергія стала активно використовуватися людиною у якості проміжної ланки при передаванні енергії або інформації у необхідну точку простору.

Розглянемо це на прикладі. Нехай потрібно надати свердлу певну кількість кінетичної енергії. Джерелом кінетичної енергії може бути, наприклад, вітер. Але як доставити кінетичну енергію у потрібну нам точку простору? Для цього можна перетворити кінетичну енергію вітру у електричну за допомогою генератора. За допомогою ізольованих проводів доставити електричну енергію у потрібну точку, а потім, за допомогою електродвигуна перетворити електричну енергію у кінетичну (Рисунок 1). Таким чином, електрична енергія виступає у якості проміжної ланки для передавання енергії у просторі.

Висока швидкість передавання електричної енергії зумовила її широке використання у телекомунікаційному та інформаційному обладнанні, де за допомогою електричних сигналів відбувається передавання та обробка інформації. Таким чином, для роботи любого телекомунікаційного або інформаційного обладнання необхідна електрична енергія.

На підприємстві зв'язку електрична енергія також використовується для освітлення робочих та службових приміщень, для роботи систем вентиляцій та мікроклімату, для роботи різних допоміжних засобів або систем, а також на різні господарські потреби (Рисунок 2).

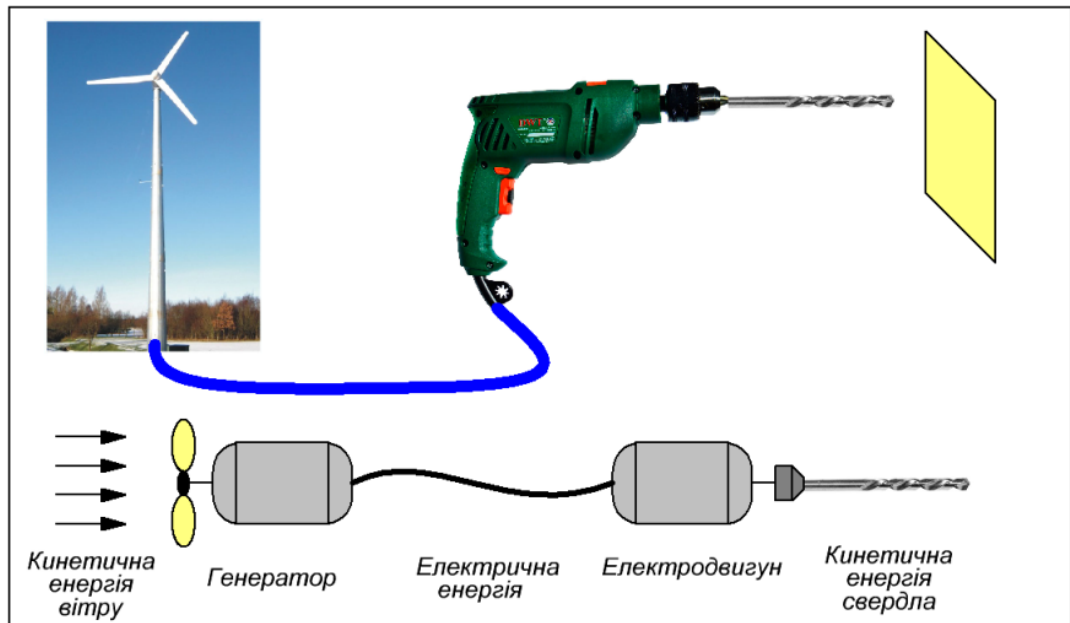


Рисунок 1 – Принцип передачі механічної енергії із використанням електричної енергії у якості проміжної ланки



Рисунок 2 – Використання електричної енергії на підприємстві зв'язку

Система електроживлення підприємства зв'язку

Для забезпечення електричною енергією обладнання на підприємстві зв'язку організовується система електроживлення.

Система електроживлення – це комплекс споруд на території підприємства зв'язку, що включає систему електропостачання, обладнання перетворення, розподілу, регулювання і резервування електричної енергії, та забезпечує функціонування підприємства зв'язку як в нормальних так і в аварійних режимах роботи (Рисунок 3).

Система електроживлення

Система електроживлення - комплекс споруд на території підприємства зв'язку, що включає систему електропостачання, обладнання перетворення, розподілу, регулювання і резервування електричної енергії, забезпечує функціонування підприємства зв'язку, як в нормальних, так і в аварійних режимах роботи.

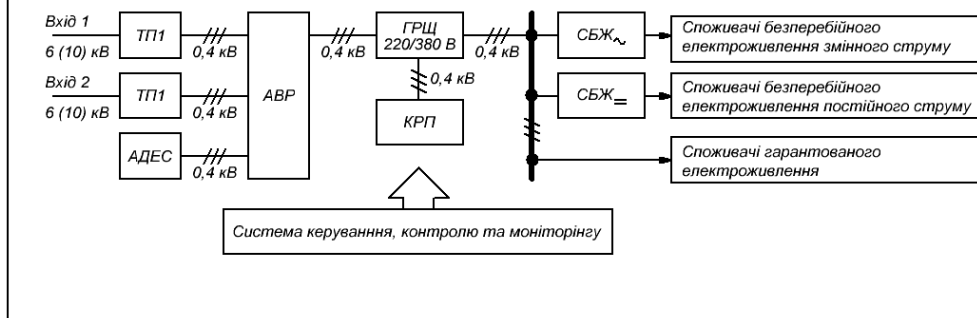


Рисунок 3 – Система електроживлення підприємства зв'язку

У даному курсі ви познайомитеся із основними положеннями принципів побудови і функціонування систем електроживлення підприємств зв'язку, системами та пристроями безперебійного електроживлення змінного і постійного струмів. У курсі ви також ознайомитеся із методикою проектування системи електроживлення, та будете мати можливість самостійно спроектувати типову систему електроживлення підприємства зв'язку відповідно до вашого індивідуального завдання.

Види джерел електричної енергії

Із закону збереження енергії відомо, що енергія не з'являється з нізвідки і нікуди не зникає, а лише переходить із одного виду в інший. Тому коли ми кажемо «джерело електричної енергії», насправді ми маємо на увазі перетворювач, який перетворює енергію якогось первинного виду в електричну.

Якщо у якості первинного виду енергії виступає будь-який вид енергії окрім електричної, то джерело електричної енергії називається первинним. А якщо у якості первинного виду енергії виступає електрична енергія, то джерело називають вторинним. Таким чином існують два види джерел електричної енергії (Рисунок 4). Первинне джерело електричної енергії перетворює енергію інших видів на електричну, а вторинне джерело перетворює параметри електричної енергії.

Первинні джерела електричної енергії

На сьогоднішній день існує велика кількість первинних джерел електричної енергії, які дозволяють перетворити на електричну практично всі види енергії відомі людству (Рисунок 5).

Механічну (або кінетичну) енергію на електричну можна перетворити за допомогою генераторів або п'єзоелементів.

Принцип дії генератора базується на законі електромагнітної індукції – виникнення електрорушійної сили на виводах котушки, що знаходиться у змінному магнітному полі. Джерело кінетичної енергії обертає ротор генератора, на якому знаходяться або магніт, або котушки внаслідок чого механічна енергія перетворюється на електричну.

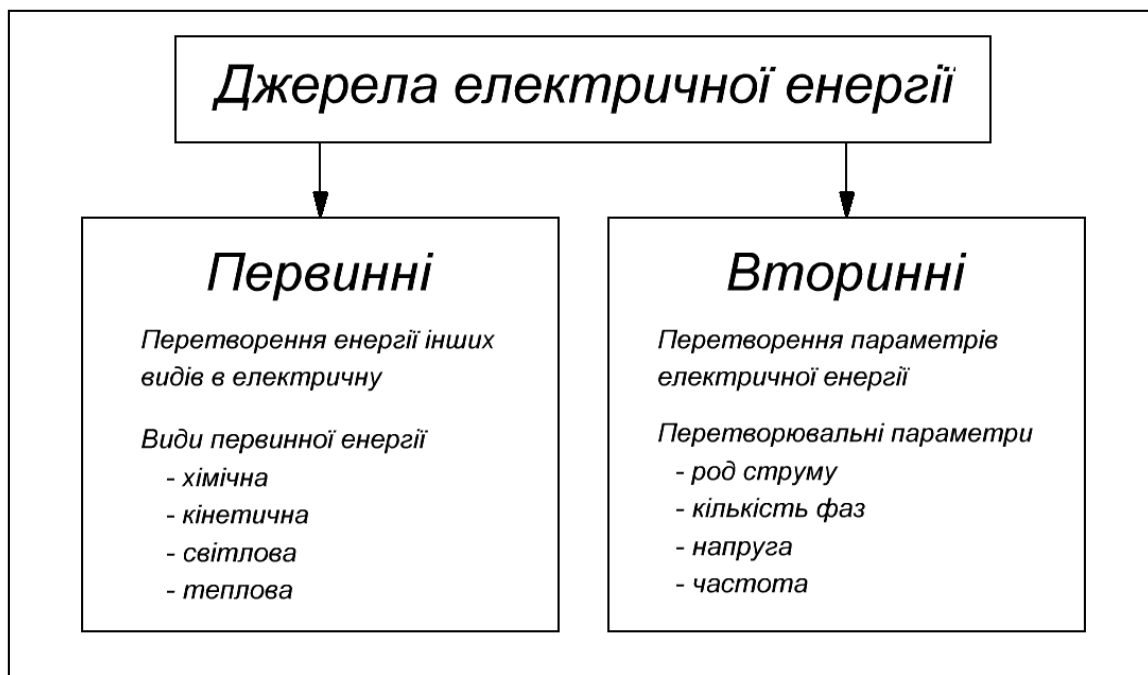


Рисунок 4 – Види джерел електричної енергії



Рисунок 5 – Первинні джерела електричної енергії

У п'єзоелементах використовуються властивості деяких речовин (п'єзоелектриків) формувати на сторонах електричний потенціал при деформації. Таким чином механічна деформація п'єзоелектрика призведе до генерації електричної енергії.

Хімічна енергія на електричну перетворюється у гальванічних елементах, акумуляторах та паливних елементах.

У гальванічних елементах протікає хімічна реакція у результаті якої генерується різниця потенціалів електродів. В гальванічних елементах хімічна реакція є незворотною.

Під час протікання реакції частина елемента руйнується. Після того, як електрична енергія із гальванічного елемента буде вичерпана його слід замінити та утилізувати.

На відміну від гальванічного елемента хімічна реакція у акумуляторах є зворотною. Тобто акумулятор при необхідності можна зарядити (помістив у нього певну кількість електричної енергії) а потім, коли потрібно, цю енергію можна отримати розрядив акумулятор.

Найбільшу ефективність серед хімічних джерел електричної енергії мають паливні елементи. В них електрична енергія генерується у результаті окислення палива в якості якого можуть виступати різні горючі матеріали: бензин, спирт, олія, природний газ, біогаз, тощо. Окислення палива у паливному елементі відбувається при низькій температурі без фази горіння. При цьому практично вся енергія, що виділяється у результаті хімічної реакції перетворюється на електричну. Тобто паливний елемент має високе значення ККД. Але, на жаль, на сьогоднішній день, при створенні паливного елемента, у якості каталізатора використовується платина. Зараз йдуть активні дослідження по заміні каталізатора на більш дешевий, але поки що паливні елементи залишаються дуже дорогими і використовуються лише там, де вартість має другорядні значення, наприклад, у космічній галузі.

Теплову енергію у електричну можна перетворити за допомогою елементів Пельтьє або термопар. Але, що термопари, що елементи Пельтьє мають низьку ефективність перетворення, тому у якості джерел електричної енергії їх практично не використовують.

Перспективним напрямом отримання електричної енергії є використання енергії випромінювання Сонця. Перетворити світло на електричну енергію можна за допомогою фотоелементів. До недавнього часу фотоелементи були безальтернативним джерелом електричної енергії для космічних апаратів. У останній час у зв'язку із впровадженням енергозберігаючих технологій сонячна енергія розглядається як альтернативне джерело енергії. На сьогоднішній день вже побудовано велику кількість сонячних електростанцій у яких генерація електричної енергії відбувається за допомогою фотоелементів, об'єднаних у сонячні батареї.

І останній вид первинних джерел електричної енергії, який ми розглянемо – це атомні батареї. У них електрична енергія генерується внаслідок розпаду радіоактивного матеріалу. Атомні батареї можуть працювати без заміни на протязі десятків років і використовуються там, де заміна джерела живлення є складною задачею.

Вторинні джерела електричної енергії

Вторинні джерела електричної енергії (Рисунок 6) не перетворюють вид енергії. Вони лише перетворюють параметри електричної енергії. Можна виділити наступні види вторинних джерел електричної енергії.

Перетворювачі постійної напруги перетворюють електричну енергію постійного струму з напругою однієї величини у електричну енергію постійного струму з напругою іншої величини. Основна функція цих перетворювачів – перетворення рівня постійної напруги. Але вони ще можуть використовуватися як суматори потужності (у випадку коли один споживач може живитися від різних джерел електричної енергії) або як розгалужувачі потужності, або багатоканальні джерела живлення, коли від одного первинного джерела живлення живиться декілька незалежних споживачів. Перетворювачі постійної напруги також можуть використовуватися у випадку коли необхідна електрична ізоляція джерела живлення на обладнання, називається гальванічна розв'язка.

Перетворювачі змінної напруги перетворюють електричну енергію змінного струму з напругою однієї величини у електричну енергію змінного струму іншої величини. Основні функції перетворювачів змінної напруги аналогічні функціям перетворювачів постійної напруги. Але додатково перетворювачі змінної напруги можуть змінювати частоту струму, фазу струму, та й взагалі, кількість фаз.

Випрямні пристрої, або перетворювачі змінної напруги на постійну перетворюють рід струму. Основне призначення випрямних пристроїв – живлення обладнання постійного струму від джерела живлення змінного струму. Оскільки основним джерелом електричної енергії є промислова мережа змінного струму, то все радіоелектронне обладнання яке призначене для роботи від промислової мережі, має у своєму складі випрямний пристрій, оскільки радіоелектронне обладнання потребує для роботи електричну енергію постійного струму. Окрім перетворення роду струму випрямні пристрої можуть бути багатоканальними, тобто мати кілька виходів постійної напруги та забезпечувати гальванічну розв'язку.

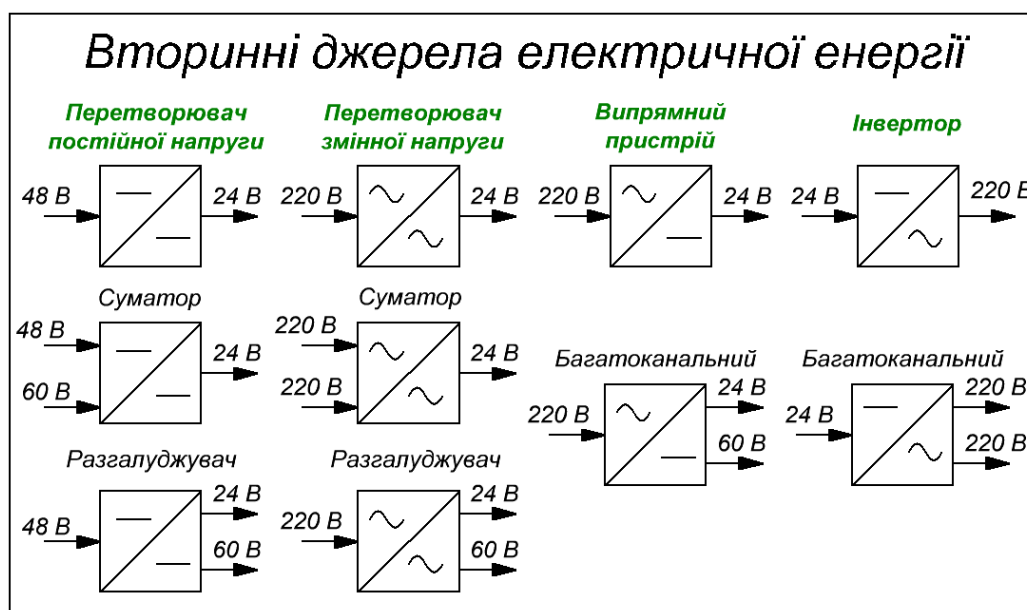


Рисунок 6 – Вторинні джерела електричної енергії

Зворотну функцію випрямлення струму виконують інвертори, або перетворювачі електричної енергії постійного струму на електричну енергію змінного струму. Основне призначення інверторів – живлення обладнання змінного струму від первинного джерела електричної енергії постійного струму. Одним із прикладів практичного використання інверторів є живлення обладнання, що розраховане на роботу від промислової мережі від акумуляторних батарей при аварії у промисловій мережі. Інвертори, також як і всі інші типи вторинних джерел живлення можуть бути багатоканальними та забезпечувати гальванічну розв'язку.

Таким чином на сьогоднішній день існує велика кількість та різноманітність як первинних, так і вторинних джерел електричної енергії, які активно використовуються як безпосередньо у телекомунікаційному обладнанні, так і на підприємстві зв'язку.

Види напруги та струму

Чим відрізняється постійна напруга від змінної? Студенти часто неправильно розуміють ці поняття і вважають, що змінна напруга – це напруга, що змінюється, тобто то є напруга, то її немає. Наступний матеріал необхідно зрозуміти та запам'ятати, оскільки ці визначення будуть постійно зустрічатися на протязі усього курсу електроживлення.

У електроживленні розглядається три види напруги (Рисунок 7): постійна, яка не змінює ні свою полярність, ні свою величину, пульсуюча, що змінює свою величину, але не змінює свою полярність, та змінна, яка змінює і свою полярність і свою величину. Постійна напруга не змінює ні свою полярність, ні свою величину.

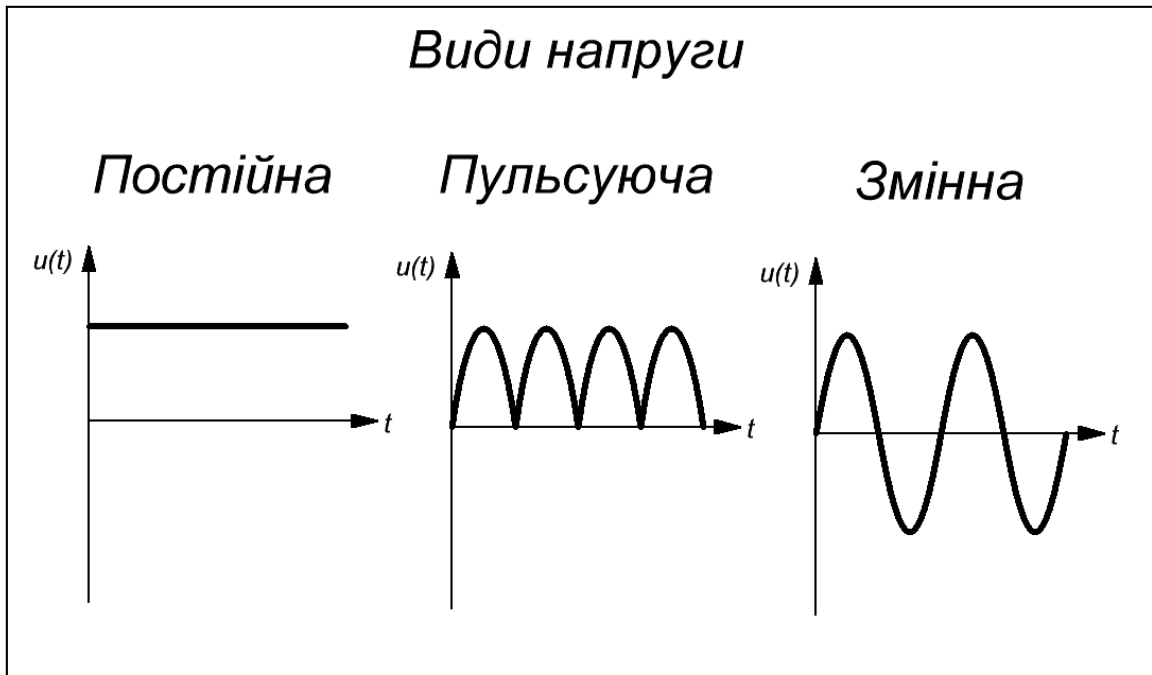


Рисунок 7 – Види напруги

Постійна напруга

Взагалі у природі постійної напруги не існує, оскільки у природі немає нічого незмінного. Тому за постійну напругу приймають таку напругу, яка повільно може змінювати свою величину (позитивну або негативну) (Рисунок 8).

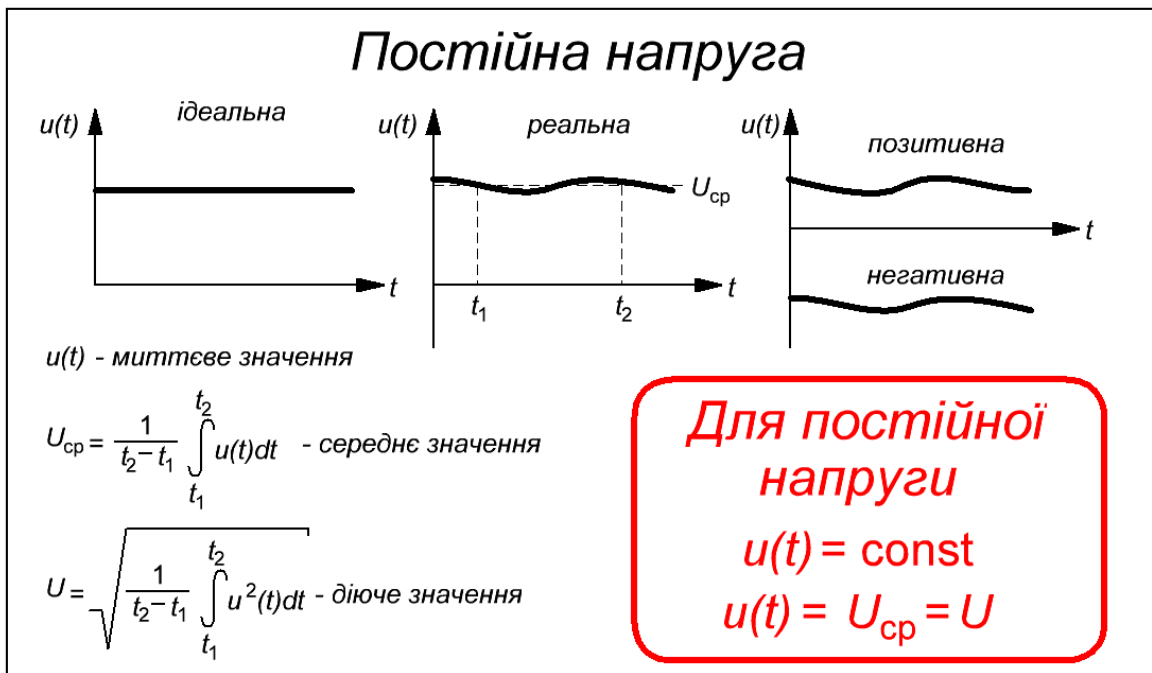


Рисунок 8 – Особливості постійної напруги

Люба напруга, у тому числі і постійна характеризується трьома основними параметрами: миттєвим, середнім та діючим значенням.

Миттєве значення напруги

Миттєве значення показує величину напруги у певний момент часу. Ця величина часто використовується при аналізі та дослідженні електричних процесів. При ілюстрації електричних процесів показують саме графік зміни миттєвого значення у часі. Миттєве значення звичайно має позначення у вигляді малої літери, після якої у дужках стоїть буква «t», що позначає час. Таким позначенням акцентують увагу на те, що миттєве значення у більшості випадків є функцією часу.

Середнє значення напруги

Якщо виконати інтегрування миттєвого значення на протязі якогось довільного інтервалу часу, ми отримаємо середнє значення напруги. Середнє значення звичайно має позначення у вигляді великої літери, що має нижній індекс «ср».

Діюче значення напруги

І якщо виконати інтегрування квадратів миттєвого значення на протязі якогось довільного інтервалу часу, а потім розділити на тривалість цього інтервалу та добути квадратний корінь із отриманого значення, ми отримаємо середньоквадратичне значення напруги. Середньоквадратичне значення називається також діючим або ефективним значенням. Воно позначається великою літерою без якихось додаткових індексів чи скобок.

Діюче значення має фізичний сенс. Якщо у нас напруга має довільну форму, то діюче значення показує яку еквівалентну постійну напругу нам потрібно було б надати для того, щоб отримати такий ж самий енергетичний ефект.

У електроживленні коли вказують величину напруги або струму, то вказують саме середньоквадратичне значення. Таким чином діюче, воно ж ефективне, воно ж середньоквадратичне значення є основною характеристикою напруги.

Зв'язок між миттєвим, середнім та діючим значенням постійної напруги

Оскільки для постійної напруги миттєве значення не змінюється, то після підстановки в інтеграли для розрахунку середнього та діючого значень напруги, отримаємо, що для постійного струму миттєве, середнє та діючі значення однакові. Цю важливу особливість постійної напруги вам необхідно запам'ятати.

Пульсуюча напруга

Якщо напруга не змінює свою полярність але постійно і швидко змінює свою величину, то вона називається пульсуючою (Рисунок 9).

Пульсуюча напруга характерна для вторинних джерел електричної енергії і зумовлена електричними процесами, що відбуваються при перетворенні електричної енергії.

Зв'язок між миттєвим, середнім та діючим значенням пульсуючої напруги

Як і постійна, пульсуюча напруга має свої миттєве, середнє та діюче значення, які обчислюються за тими самими формулами, що і для постійної напруги.

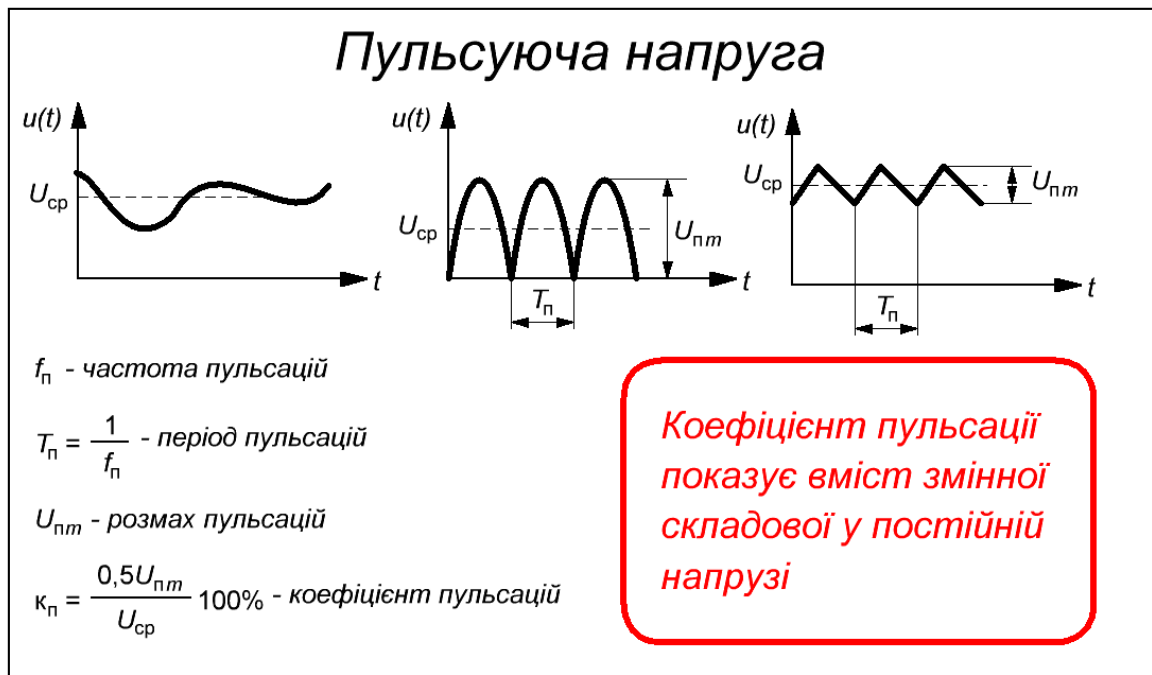


Рисунок 9 – Особливості пульсуючої напруги

Коефіцієнт пульсацій напруги

У більшості випадків пульсуючу напругу можна представити як постійну напругу, що має певний рівень змінної складової, яка має певну частоту, що називається «частотою пульсацій» (Рисунок 9). Частоті пульсацій напруги відповідає «період пульсацій» – як зворотна величина від частоти.

Величина змінної складової визначається «розмахом пульсацій». Розмах пульсацій визначається як різниця між максимальним та мінімальним значенням напруги. Половина розмаху буде відповідати амплітуді пульсації.

Якщо поділити амплітуду пульсації на середнє значення напруги ми отримаємо параметр, який називається «коефіцієнт пульсацій». Коефіцієнт пульсації показує вміст змінної складової у постійній напрузі і є одним із найважливіших параметрів пульсуючої напруги.

Для постійної напруги коефіцієнт пульсацій дорівнює нулю, тому що в постійній напрузі немає змінної складової і розмах пульсації буде дорівнювати нулю. А для змінного струму, який ми розглянемо трішки пізніше, середнє значення дорівнює нулю і коефіцієнт пульсацій буде прогнати до нескінченності.

Таким чином, чим менший коефіцієнт пульсацій, тим більше напруга подібна до постійної напруги. І навпаки, чим більший коефіцієнт пульсації, тим більше напруга подібна до змінної напруги.

Змінна напруга

Змінна напруга, це напруга, яка змінює свою полярність (Рисунок 10). У загальному випадку вона може бути довільної форми, але у електроживленні як правило використовується періодична напруга. Періодична напруга характеризується своєю частотою, із якою тісно пов'язаний період. Також для змінної напруги важливим параметром є форма. У електроживленні використовується напруга синусоїдальної, прямокутної, трикутної або більш складної форми.

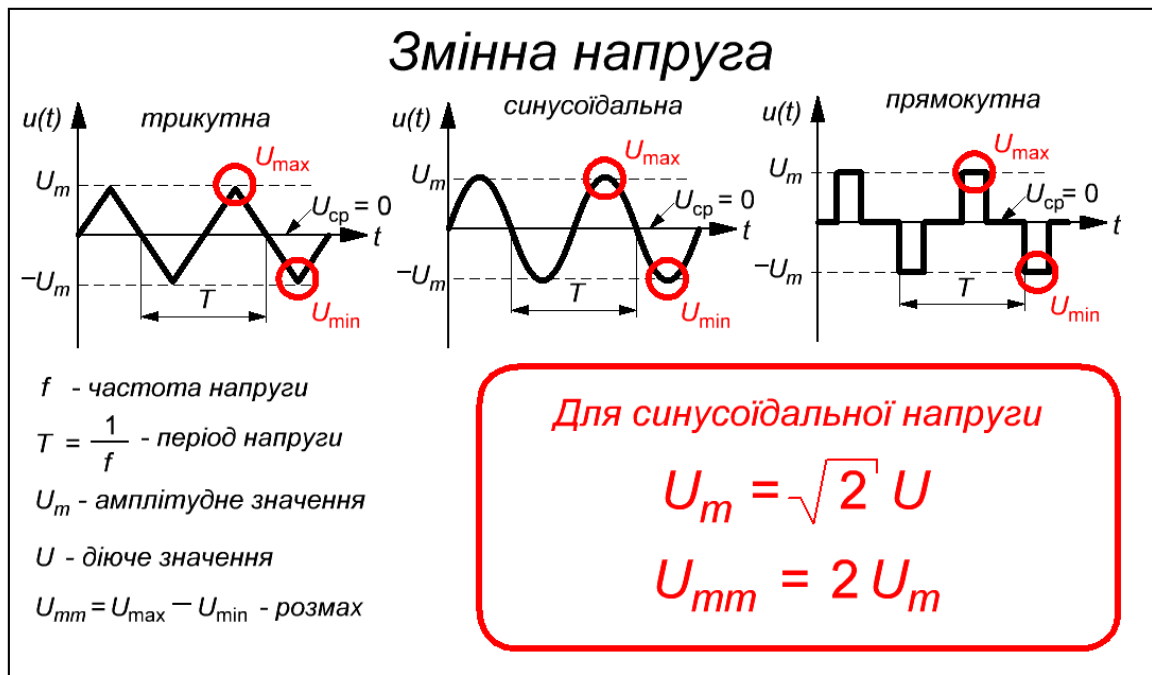


Рисунок 10 – Особливості змінної напруги

Зв'язок між миттєвим, середнім та діючим значеннями змінної напруги

Аналогічно постійній та пульсуючій напругам, змінна напруга також характеризується своїм миттєвим, середнім та діючим значеннями. Але особливістю періодичної змінної напруги, що використовується у системах електроживлення є те, що її середнє значення дорівнює нулю. Тому у електроживленні змінна напруга, як правило, визначається діючим значенням. Окрім зазначених вище параметрів змінна напруга ще додатково характеризується своїм амплітудним значенням.

Амплітудне значення напруги

Амплітудне значення – це максимальне значення напруги, яке вона досягає на інтервалі періоду. Ви можете бачити, що на інтервалі періоду напруга досягає амплітудного значення двічі. Один раз миттєве значення дорівнює амплітудному при позитивній полярності напруги, а другий – при негативній.

Для синусоїдальної форми напруги амплітудне значення у корінь із двох раз більше за діюче значення. Для змінної напруги іншої форми коефіцієнт, що зв'язує амплітуда і діючі значення напруги потрібно визначати у відповідних довідниках, або обчислювати самостійно.

Розмах напруги

Іноколи використовують параметр змінної напруги, що називається розмахом. Розмах напруги, у загальному випадку, це різниця між максимальним та мінімальним значенням напруги. Для змінної напруги синусоїдальної форми розмах дорівнює подвоєній амплітуді.

Параметри фазної напруги промислової мережі

У якості прикладу визначимо параметри фазної напруги промислової мережі (Рисунок 11). Фазна напруга, це напруга однієї із трьох фаз. Функція миттєвого значення від часу без урахування початкової фази напруги записується у наступному вигляді.

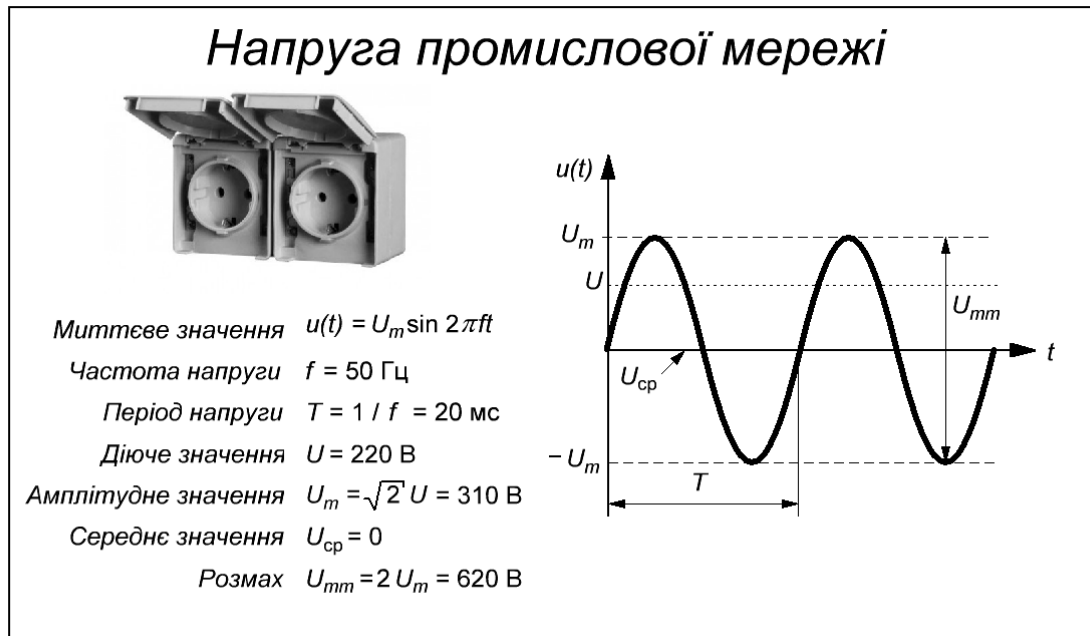


Рисунок 11 – Параметри фазної напруги промислової мережі

Частота напруги промислової мережі дорівнює 50 Гц. Відповідно період дорівнює 20 мс. Форма напруги – синусоїдальна. Діюче значення дорівнює 220 В. Оскільки напруга промислової мережі має синусоїдальну форму, то діюче значення зв'язане із амплітудним коефіцієнтом корінь із двох. Таким чином, амплітудне (воно ж максимальне) значення напруги дорівнює 310 вольт. Оскільки напруга змінна, то середнє значення напруги промислової мережі дорівнює нулю. Розмах напруги промислової мережі дорівнює подвоєному значенню амплітуди і становить 620 вольт.

Таким чином напруга фази промислової мережі, а це ні що інше як напруга у звичайній електричній розетці, 50 раз на секунду змінює свою полярність. При цьому напруга у розетці 100 раз за секунду досягає значення 310 вольт, причому 50 раз ця напруга позитивна, а 50 раз – негативна. Середнє значення напруги у розетці дорівнює нулю, діюче значення дорівнює 220 вольт, а розмах напруги у розетці становить 620 вольт.

Відмінність параметрів струму від параметрів напруги

У цьому матеріалі ми з вами розглядали характеристики напруги. Але все що було сказано вище справедливо і для струму. Аналогічно напрузі струм буває постійним, змінний та пульсуючий. Струм характеризується миттєвим, середнім та діючим значеннями. Пульсуючий струм також має коефіцієнт пульсацій. Усі формули для визначення параметрів струму ідентичні формулам для визначення аналогічних параметрів напруги.

Єдиною відмінністю є те, що у струмі немає полярності, а є напрямок. Тобто постійний та пульсуючий струми – це струми, що не змінюють свого напрямку, а змінний струм – це струм у якого напрямок протікання може змінюватись.

Найпростіша система електроживлення

Оскільки електричний струм протікає по замкнутому контуру то джерело електричної енергії повинно мати щонайменше два виводи. Таким чином, у найпростішому варіанті джерело та споживач електричної енергії з'єднуються за допомогою двох проводів (Рисунок 12).

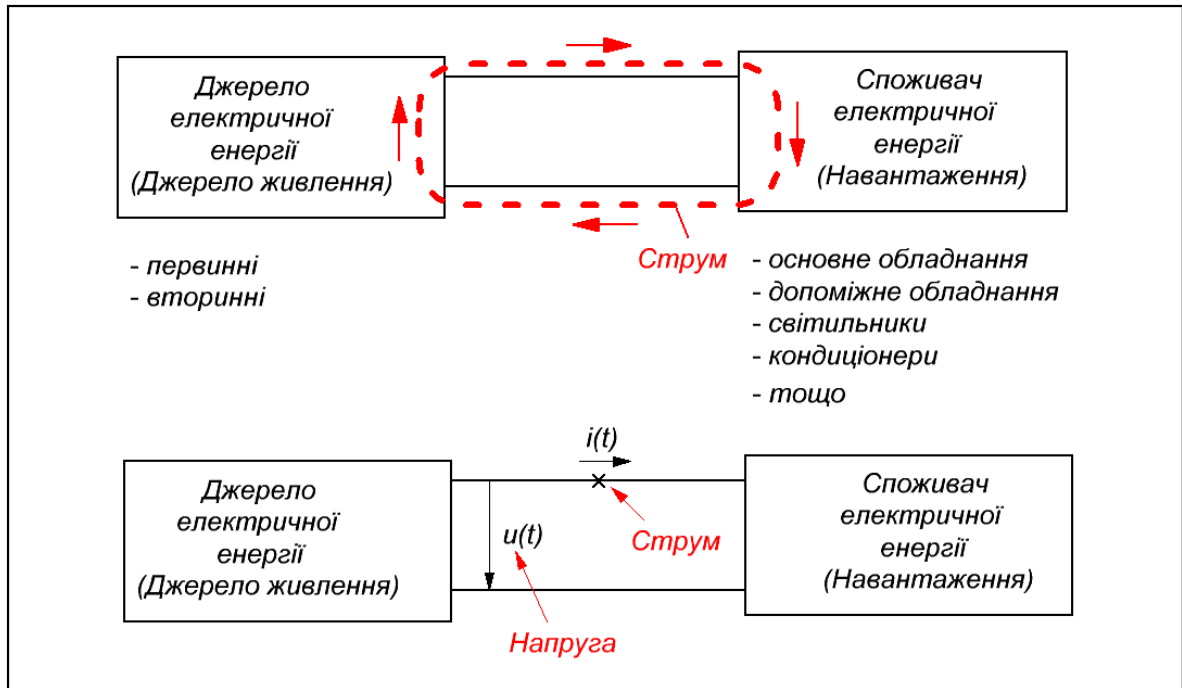


Рисунок 12 – Найпростіша система електроживлення

Джерелом електричної енергії може бути будь-яке з первинних або вторинних джерел живлення, які були розглянуті у попередніх матеріалах. Під споживачем електричної енергії, у загальному випадку, слід розуміти будь-який пристрій, який споживає електричну енергію або перетворює її параметри. Фактично споживач виконує функцію зворотню функції джерела – перетворює електричну енергію на енергію інших видів.

У системах електроживлення підприємства зв'язку споживачами електричної енергії є робоче та допоміжне обладнання, а також світильники, кондиціонери, системи вентиляції, загалом будь-яке обладнання, що виконує певну функцію.

У системах електроживлення споживачів електричної енергії часто називають «навантаження», підкреслюючи, що споживачі створюють певне навантаження на пристрій та системи електроживлення.

Що визначає напругу та струм у системі електроживлення

У нормальному режимі роботи між виводами джерела живлення утворюється певна напруга, і протікає струм. Величина напруги визначається джерелом живлення, а величина струму – споживачем. Таким чином, якщо відключити навантаження, то на виводах джерела живлення напруга буде присутня, а струм – ні.

На перших порах студентам інколи буває важко уявити цей момент. Тут на допомогу може прийти наступна асоціація. Уявіть собі звичайну електричну розетку (Рисунок 13). Чи є там напруга? Так, вона дорівнює 220 В. А чи протікає по ній струм? Це залежить від того чи підключено щось до цієї розетки. Якщо до розетки нічого не

підключено то струму у ній не буде. Якщо підключити до розетки, наприклад, настільну лампу, то буде протікати струм однієї величини, а якщо підключити, електричний чайник, то буде протікати зовсім інший струм. А напруга? У ідеальному випадку напруга у розетці не повинна залежати від струму, що протікає через неї, вона завжди повинна дорівнювати 220 В. Таким чином, напруга у колах живлення визначається джерелом живлення, а струм – навантаженням.



Рисунок 13 – Елементи системи електроживлення, що визначають напругу та струм

Електрична потужність (миттєва потужність)

Якщо помножити напругу джерела живлення на струм, що споживає обладнання, то добуток буде дорівнювати потужності.

Із курсу фізики відомо, що потужність, це швидкість передавання енергії. Чим більша потужність, тим більше електричної енергії поступає від джерела живлення у навантаження (Рисунок 14).

Потужність є основною характеристикою любого джерела живлення. Вона показує яку кількість енергії можна отримати від даного джерела за одиницю часу. Чим більше потужність, тим більші розміри, маса, та вартість джерела електричної енергії.

Перед цим ми з вами визначили, що напруга у колі живлення визначається джерелом, а струм – навантаженням. Нехай у нас напруга дорівнює 10 В, а струм – 1 А. Якщо визначити потужність, то вона буде дорівнювати 10 Вт. Таким чином, у даному випадку, джерело живлення забезпечує навантаження електричною енергією зі швидкістю 10 Вт або 10 Дж/с оскільки 1 Вт дорівнює кількості енергії в 1 Дж що проходить по колу за 1 секунду (Рисунок 15).

Поки усе логічно, але на практиці може виникнути ситуація, коли навантаження згенерувало струм – 1 А, тобто струм величиною 1 А який протікає у зворотному напрямку. Потужність визначається із урахуванням знаків напруги та струму. Після підстановки числових значень у формулу для визначення потужності, ми отримаємо, що у нашому випадку потужність буде дорівнювати мінус 10 ват. Тобто у колі живлення переміщується електрична енергія зі швидкістю 10 Дж за секунду, але у напрямку від навантаження до джерела живлення. Тобто, у даному випадку, фактично навантаження є джерелом живлення, а джерело живлення – навпаки, споживачем електричної енергії.

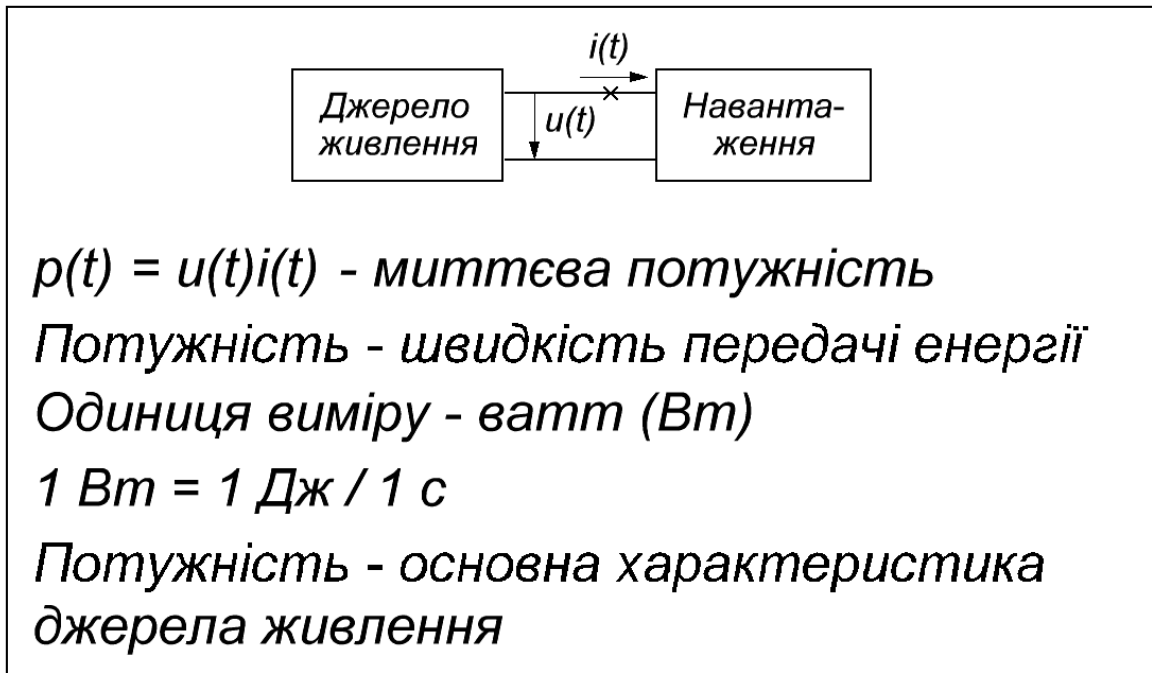


Рисунок 14 – Електрична потужність

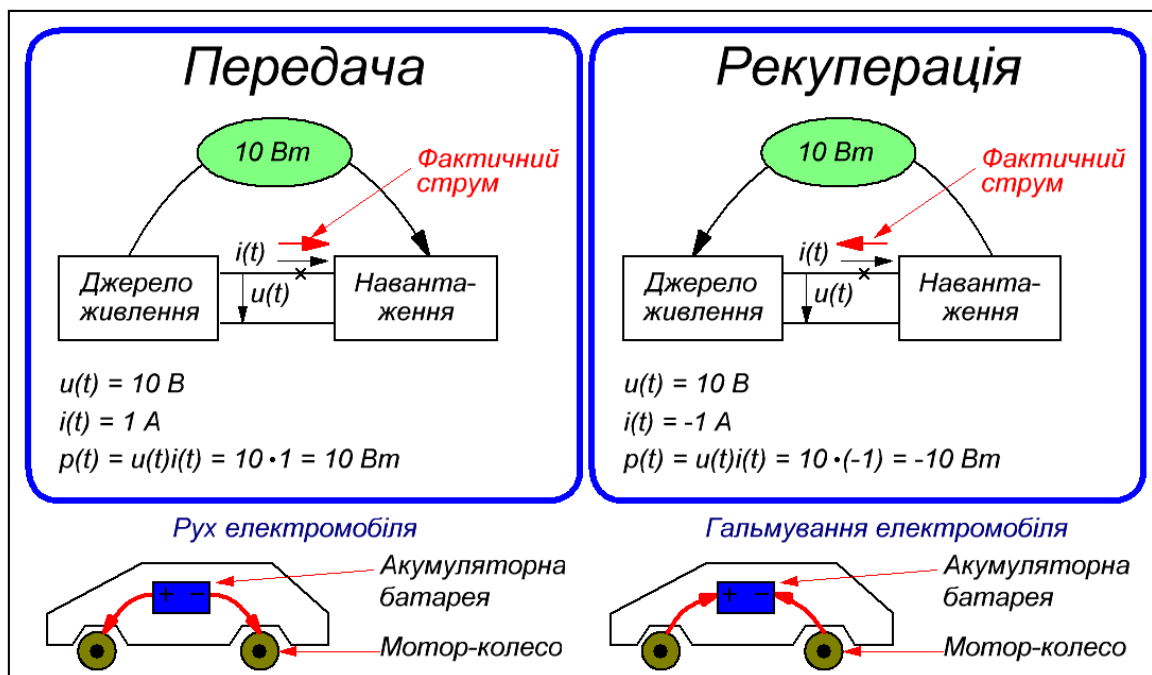


Рисунок 15 – Передача та рекуперація електричної енергії

Чи може таке бути? Виявляється, що може. Такий режим називається рекуперацією. У режимі рекуперації енергія у системі передається у зворотному напрямі – від навантаження до джерела живлення.

Режим рекуперації використовується, наприклад, в електромобілях. Джерелом живлення в електромобілі виступає акумуляторна батарея, а одним із споживачів – мотор-колесо. Коли електромобіль набирає швидкість або лінійно рухається, енергія передається від акумулятора до мотора і потужність у системі живлення позитивна. А коли

електромобіль починає гальмувати, то режим роботи мотора змінюється і мотор-колесо починає заряджати акумулятор. У цьому випадку кінетична енергія рухомої маси автомобіля перетворюється на електричну і направляється у акумуляторну батарею. Струм при цьому має зворотній напрям, і потужність у системі негативна.

Режими роботи системи електроживлення

Таким чином, миттєве значення потужності у системі може бути (Рисунок 16):

- Позитивним. Цей режим називається режимом передачі. У цьому режимі енергія передається від джерела живлення у навантаження.
- Негативним. Цей режим називається режимом рекуперації. У цьому режимі енергія передається від навантаження до джерела живлення.
- Нульовим. У цьому випадку або миттєве значення напруги дорівнює нулю або миттєве значення струму дорівнює нулю. Цей режим називається режимом холостого ходу. У цьому режимі електрична енергія не передається.

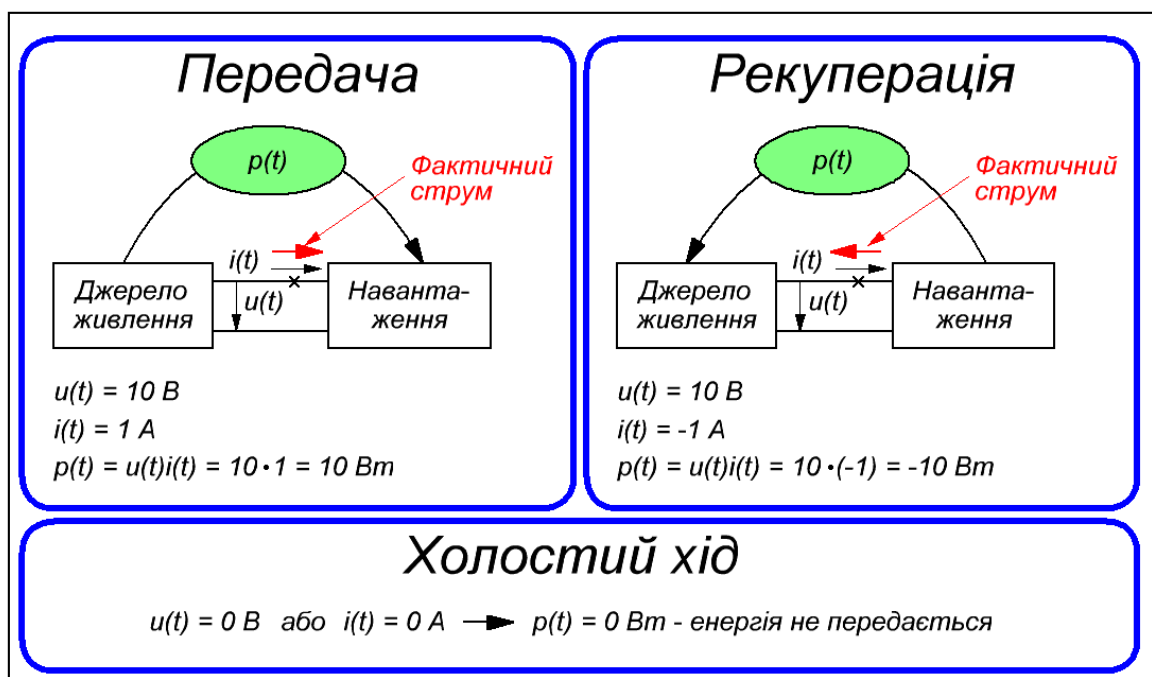


Рисунок 16 – Режими роботи системи електроживлення

Види електричної потужності

У попередніх матеріалах було розглянуто особливості електроживлення обладнання. Було визначено, що у найпростішому випадку джерело живлення з'єднується з навантаженням за допомогою двох проводів. Також було визначено, що у нормальному режимі у колі живлення присутня напруга, яка визначається джерелом живлення, та струм, який визначається навантаженням. Також було визначено поняття миттєвої потужності, яка дорівнює добутку миттєвих значень напруги та струму у колі живлення, та встановлено, що система електроживлення може працювати у трьох режимах: передачі (коли електрична енергія передається від джерела до навантаження), рекуперації (коли енергія передається від навантаження до джерела), та холостого ходу, коли енергія не передається.

Системи електроживлення постійного струму як правило працюють у режимі передачі. Режим рекуперації при живленні постійним струмом використовують рідко, в

основному в транспортних засобах для повернення енергії при гальмуванні. А ось у системах електроживлення змінного струму мають місце досить цікаві явища, які будуть розглянуті у даному матеріалі.

Розглянемо особливості живлення обладнання змінним струмом, наприклад у випадку, коли обладнання живиться від промислової мережі.

Робота на навантаження активного характеру

Фазна напруга промислової мережі має синусоїдальну форму, частоту 50Гц та діюче значення 220В. Якщо ми підключимо до такого джерела живлення навантаження, що буде мати лише активний опір, наприклад обігрівач, то струм, що буде споживати навантаження буде визначатися законом Ома. Ми бачимо, що форма струму буде аналогічна формі напруги. Якщо побудувати графік миттєвої потужності у такій системі живлення, то він буде мати наступний вигляд (Рисунок 17).

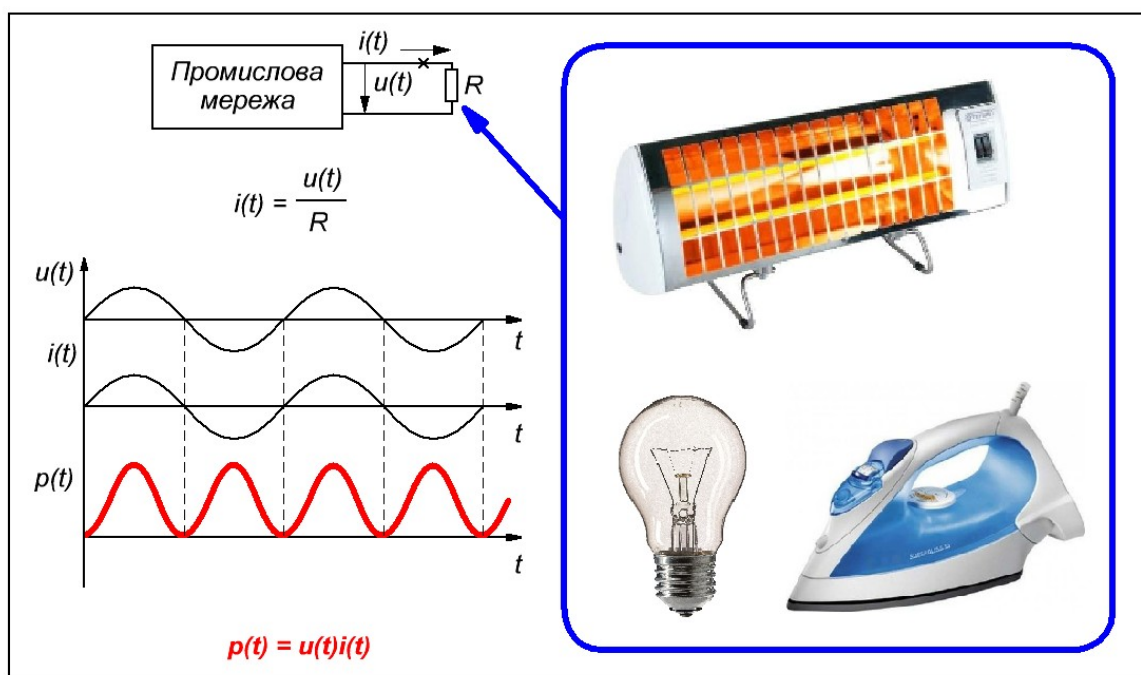


Рисунок 17 – Робота на навантаження активного характеру

Ми бачимо, що у кожній точці періоду миттєве значення потужності позитивне або дорівнює нулю. Зверніть увагу на те, що навіть коли напруга джерела живлення негативна, значення миттєвої потужності усе одно позитивне, оскільки значення струму у цей час також негативне, а добуток двох негативних чисел є позитивним.

Звідси можна зробити наступний важливий висновок: якщо знаки напруги та струму співпадають, та система знаходиться у режимі передачі, а якщо ні – то у режимі рекуперації.

При роботі джерела змінної напруги на навантаження активного характеру система працює лише в режимі передачі і електрична енергія передається лише в одному напрямку – від джерела живлення до навантаження.

Зверніть увагу на те, що енергія у навантаження поступає нерівномірно. На графіку явно видно, що енергія поступає у навантаження періодично із частотою удвічі більшою за частоту напруги джерела живлення (Рисунок 18). На графіку добре видно наявність максимумів та мінімумів передачі енергії. Під час мінімумів електрична енергія не передається, а система працює у режимі холостого ходу.

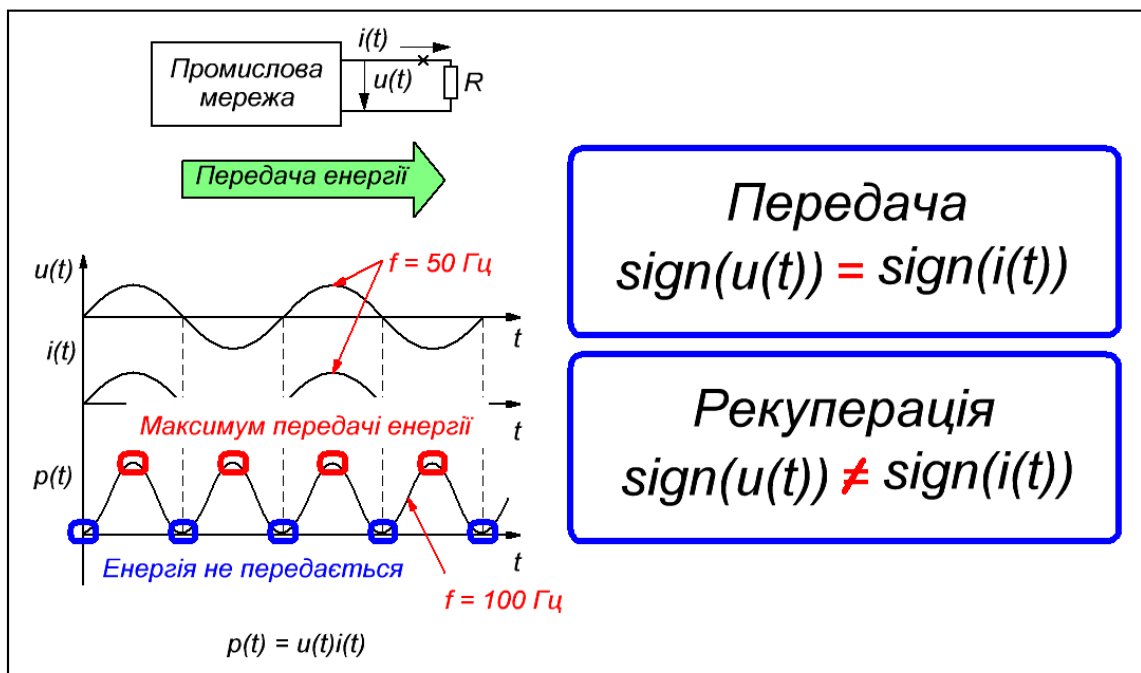


Рисунок 18 – Робота на навантаження активного характеру

Робота на навантаження індуктивного характеру

Тепер підключимо до джерела живлення навантаження, що має індуктивний характер, наприклад, дросель, трансформатор, або електродвигун. Зв'язок між напругою та струмом для індуктивності визначається рівнянням (Рисунок 19).

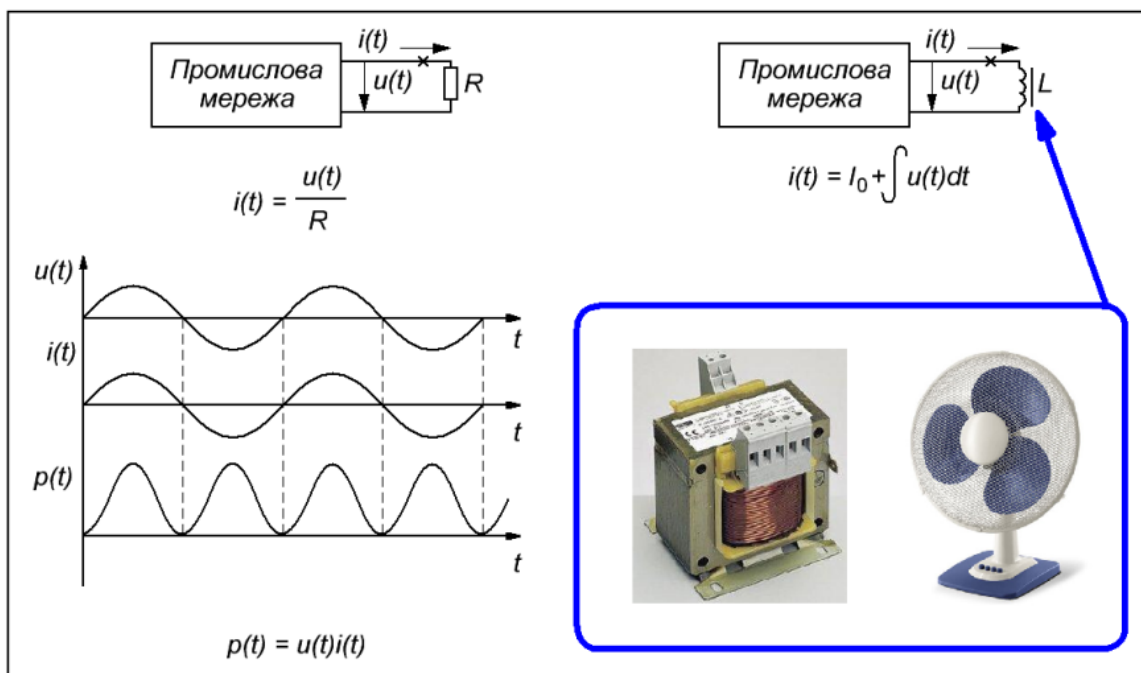


Рисунок 19 – Робота на навантаження індуктивного характеру

Якщо побудувати графік струму, що буде споживати дросель (що споживає навантаження) то ми побачимо, що він має синусоїдальну форму, та зміщений у часі, або другими словами – має зсув по фазі.

Для індуктивного характеру навантаження струм на 90 градусів (або $\pi/2$ якщо у радіанах) запізнюється відносно напруги.

Графік потужності при цьому буде мати наступний вигляд (Рисунок 20). Ви бачите, що аналогічно активному навантаженню частота потужності також збільшилась удвічі, але у нас з'явилися моменти, коли напруга та струм мають різні знаки, тобто система періодично працює то у режимі передачі то у режимі рекуперації.

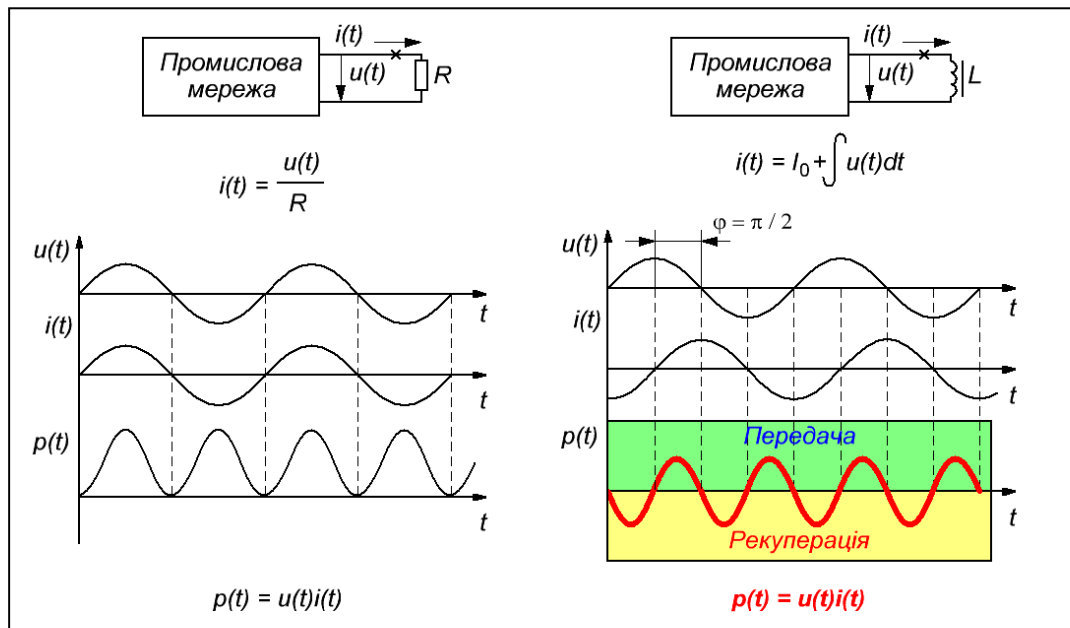


Рисунок 20 – Робота на навантаження індуктивного характеру

Що це означає? Розглянемо детальніше. Нехай ми підключимо до джерела живлення дросель з індуктивністю 0,7 Гн. Із курсів фізики, електротехніки, або електричних кіл відомо, що індуктивність у колах змінного струму, має еквівалентний опір, що обчислюється за наступною формулою (Рисунок 21):

$$X_L = 2\pi fL = 2 \cdot 3,1415 \cdot 50 \cdot 0,7 = 220 \text{ Ом}.$$

Таким чином, дросель з індуктивністю 0,7 Гн для частоти 50 Гц буде мати еквівалентний опір 220 Ом. Це означає, що у колі живлення буде протікати струм, діюче живлення якого буде дорівнювати:

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{220}{220} = 1 \text{ А}.$$

1 А – це діюче значення синусоїдального струму. Для того щоб визначити його максимальне значення цю цифру необхідно помножити на корінь із двох. Таким чином максимальне значення струму у системі буде дорівнювати приблизно:

$$I_m = \sqrt{2}I = \sqrt{2} \cdot 1 \approx 1,41 \text{ А}.$$

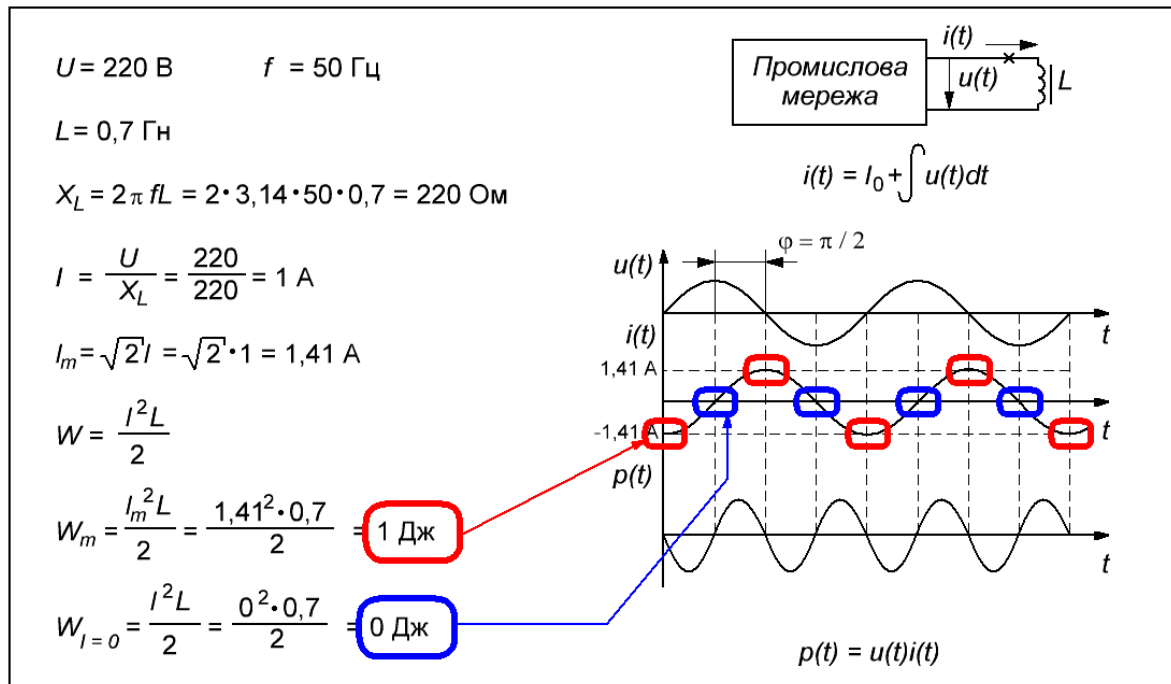


Рисунок 21 – Робота на навантаження індуктивного характеру

Із курсу фізики відомо, що індуктивність накопичує енергію у магнітному полі, величина якої обчислюється за формулою (Рисунок 21):

$$W = \frac{I^2 L}{2}.$$

Таким чином, коли струм досягає максимального значення у магнітному полі дроселя накопичується енергія, кількість якої дорівнює:

$$W_m = \frac{I_m^2 L}{2} = \frac{1,41^2 \cdot 1}{2} \approx 1 \text{ Дж}.$$

А коли струм дроселя дорівнює нулю, то і енергія магнітного поля у ньому також відсутня.

А тепер розглянемо енергетичні процеси у системі (Рисунок 22). У момент, коли струм дроселя дорівнює нулю енергії у його магнітному полі відсутня. Через чверть періоду струм у дроселі досягає значення 1,41 А, що відповідає енергії магнітного поля 1 Дж. Звідки взялася ця енергія?

Оскільки у нашій системі є лиш 2 об'єкта: джерело живлення та дросель, то виходить, що за цей час джерело живлення передало 1 Дж енергії у дросель.

Ще через чверть періоду струм дроселя досягає нульового значення і енергії у магнітному полі вже немає. А куди подівся той 1 Дж, що був у магнітному полі чверть періоду назад? Він повернувся в джерело живлення!

Тобто, після того як струм дроселя досягнув максимального значення, система перейшла у режим рекуперації і енергія з магнітного поля дроселя почала повертатися назад у джерело живлення.

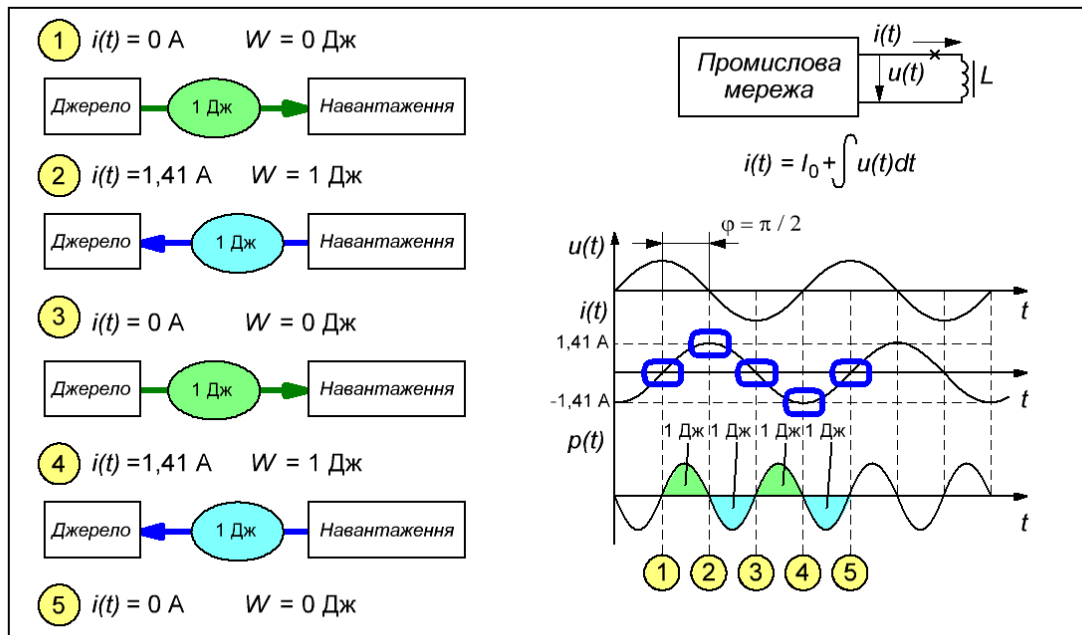


Рисунок 22 – Коливання енергії при роботі на навантаження індуктивного характеру

Ще через чверть періоду струм дроселя знов досягне максимального значення, хоч і з протилежним знаком, і у магнітному полі дроселя знов буде 1 Дж енергії, тобто на цій чвертї періоду система знаходилася у режимі передачі.

А ще через чверть періоду струм дроселя знов стане рівним нулю і той 1 Дж, що був у магнітному полі дроселя повернеться у джерело живлення. Тобто система останню чверть періоду знаходилася у режимі рекуперації.

А що взагалі відбувається у системі? А відбувається досить цікава річ. Напруга живлення присутня – 220 В. Дросель споживає струм 1 А. Але енергія нікуди не передається. Має місце лише коливання 1 Дж енергії лиш джерелом живлення та дроселем.

Добре це чи погано? Виходить якось нелогічно. Джерело живлення призначено для забезпечення електричною енергією, а навантаження цю енергію не споживає. Як нам визначити ці речі?

Увімкнемо у коло живлення вольтметр та амперметр, які покажуть нам діючі значення відповідно напруги та струму (Рисунок 23). Знову розглянемо два варіанти навантаження: активний, у вигляді резистора з опором 220 Ом, та індуктивний у вигляді дроселя із індуктивністю 0,7 Гн. У обох випадках у колі живлення буде протікати струм, діюче значення якого буде дорівнювати 1 А. Але у випадку активного характеру навантаження фазовий зсув між напругою та струмом буде дорівнювати нулю, а у випадку індуктивного – 90 градусів.

Повна потужність

Якщо ми перемножимо діюче значення напруги та струму, то отримаємо потужність, яка створює навантаження на джерело живлення. Вона називається «повна потужність». Ви можете бачити, що у обох випадках струм у системі буде однаковий. Таким чином, навантаження на джерело живлення у обох випадках буде однаковим, і повна потужність буде дорівнювати:

$$S = UI = 220 \cdot 1 = 220 \text{ ВА}.$$

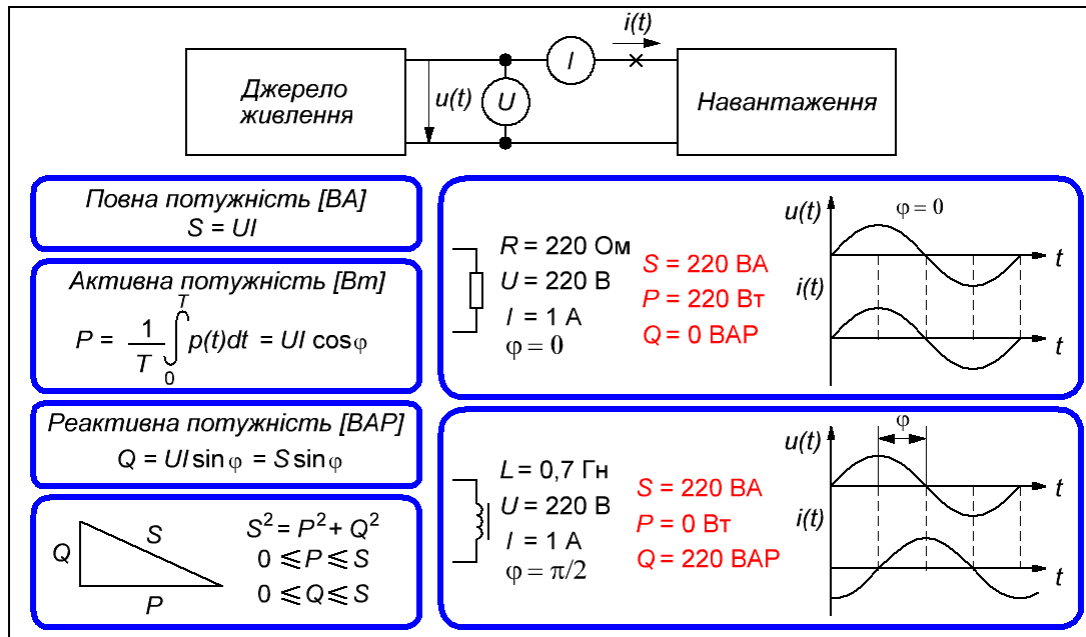


Рисунок 23 – Види електричної потужності

Але за активного характеру навантаження електрична енергія споживається від джерела живлення і перетворюється в інші види енергії, а за індуктивного характеру навантаження електрична енергія від джерела живлення не споживається, а лише у кількості 1 Дж коливається між джерелом живлення і навантаженням.

Активна потужність

Отримати кількість спожитої енергії можна шляхом інтегрування миттєвого значення потужності за певний проміжок часу. У випадку змінного струму інтегрування відбувається на інтервалі періоду. Величина інтегралу показує кількість електричної енергії, що була спожита навантаженням. Вона має назву «активна потужність».

Величина активної потужності знаходиться у межах від нуля до значення повної потужності:

$$0 \leq P \leq S.$$

Коли активна потужність дорівнює нулю, то електрична енергія нікуди не передається, а є лише коливання енергії між джерелом живлення і навантаженням, як у випадку індуктивного характеру навантаження.

Коли активна потужність дорівнює повній то вся електрична енергія, що споживається від джерела живлення, перетворюється навантаженням в інші види енергії і коливання енергії джерелом живлення та навантаженням відстані Це відповідає випадку коли до джерела живлення підключається навантаження активного характеру.

Реактивна потужність

Величина коливань електричної енергії визначається за допомогою «реактивної потужності». У прикладі із активним навантаженням реактивна потужність відсутня, а у прикладі індуктивного навантаження реактивна потужність дорівнює повній потужності.

Взаємозв'язок повної, активної та реактивної потужностей

Взагалі, активна, реактивна та повна потужності зв'язані між собою теоремою Піфагора (Рисунок 23):

$$S^2 = P^2 + Q^2.$$

Таким чином в загальному випадку при живленні навантаження від джерела живлення розділяють три види потужності.

Активна потужність характеризує реальну кількість електричної енергії спожитої навантаженням від джерела живлення. Активна потужність позначається латинською буквою P та вимірюється у ватах (Вт).

Реактивна потужність величину коливань електричної енергії між джерелом живлення та навантаженням. Вона також визначає додаткове навантаження, що створює навантаження на джерело живлення. Реактивна потужність позначається латинською буквою Q та вимірюється у варах (ВАР) – вольт-ампер реактивних.

Повна потужність – це реальна потужність яку навантаження створює на джерело живлення з урахуванням активної та реактивної потужності. Повна потужність позначається латинською буквою S та вимірюється у ВА (вольт-амперах).

Види потужностей у системах електроживлення постійного та змінного струму

При живленні обладнання постійного струму, у тому числі і телекомунікаційного обладнання, режим рекуперації є нетиповим, тобто електричне завжди передається тільки в одному напрямку від джерела живлення до навантаження. Таким чином, для більшості обладнання постійного струму реактивна енергія дорівнює нулю, а активна потужність дорівнює повній.

А ось при живленні пристроїв змінного струму присутні усі види потужності: активна та реактивна. Наявність реактивної потужності зумовлена наявністю реактивних елементів дроселів та конденсаторів, без яких неможливо побудувати обладнання. Тому ці потужності необхідно обов'язково враховувати при розрахунках систем електроживлення.

Коефіцієнт потужності

У попередніх матеріалах було визначено, що у загальному випадку у колі живлення обладнання розрізняють три види потужності (Рисунок 24):

- активна потужність, що вимірюється у ватах, яка визначає кількість електричної енергії, що було передано від джерела живлення у навантаження;
- реактивна потужність, що вимірюється у варах (вар розшифровується як вольт-ампер реактивний), та визначає величину коливань електричної енергії між джерелом живлення та навантаженням;
- повна потужність, що вимірюється у вольт-амперах, яка визначає реальне навантаження на джерело живлення, з урахуванням активної та реактивної складової.

Зв'язок між різними видами потужності визначається за теоремою Піфагора:

$$S^2 = P^2 + Q^2.$$

У попередніх матеріалах було також визначено, що поява коливань електричної енергії або, іншими словами, поява реактивної потужності зумовлено наявністю у навантаженні реактивних елементів (наприклад, дроселів або конденсаторів), які спроможні накопичувати енергію у електричному або магнітному полі.

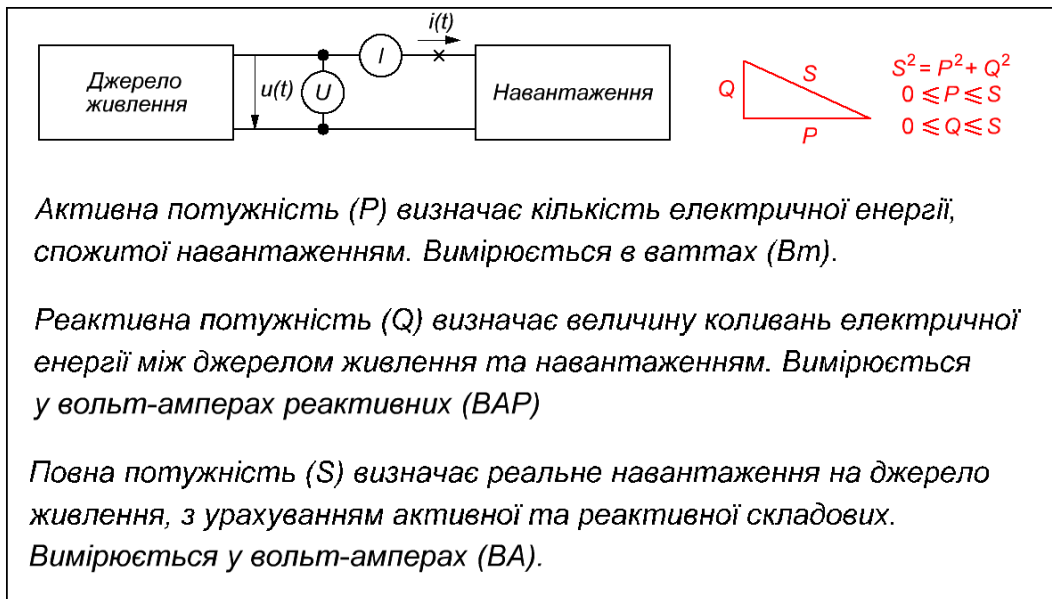


Рисунок 24 – Види електричної потужності

При живленні змінним струмом реактивні елементи потребують постійного перезаряду у результаті якого струм, що споживає навантаження, має фазовий зсув відносно напруги (Рисунок 25). Взагалі у системах електроживлення змінного струму розрізняють чотири види навантаження, які відрізняються характером споживаного струму.

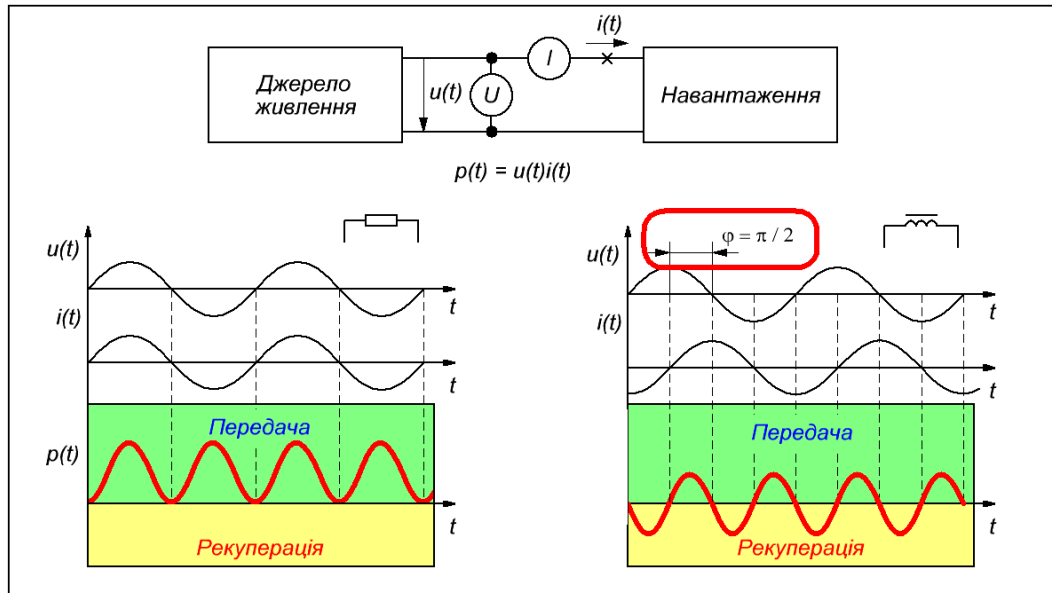


Рисунок 25 – Електричні процеси при активному та індуктивному характері навантаження

Коли навантаження не містить реактивних або нелінійних елементів, воно є навантаженням активного типу (Рисунок 26). Для такого навантаження форма споживаного струму відповідає формі напруги, тобто струм має синусоїдальну форму. Фазовий зсув між напругою та струмом відсутній. Прикладом активного навантаження можуть бути наприклад, різні нагрівальні елементи: обігрівачі, праски, лампи розжарювання, тощо.

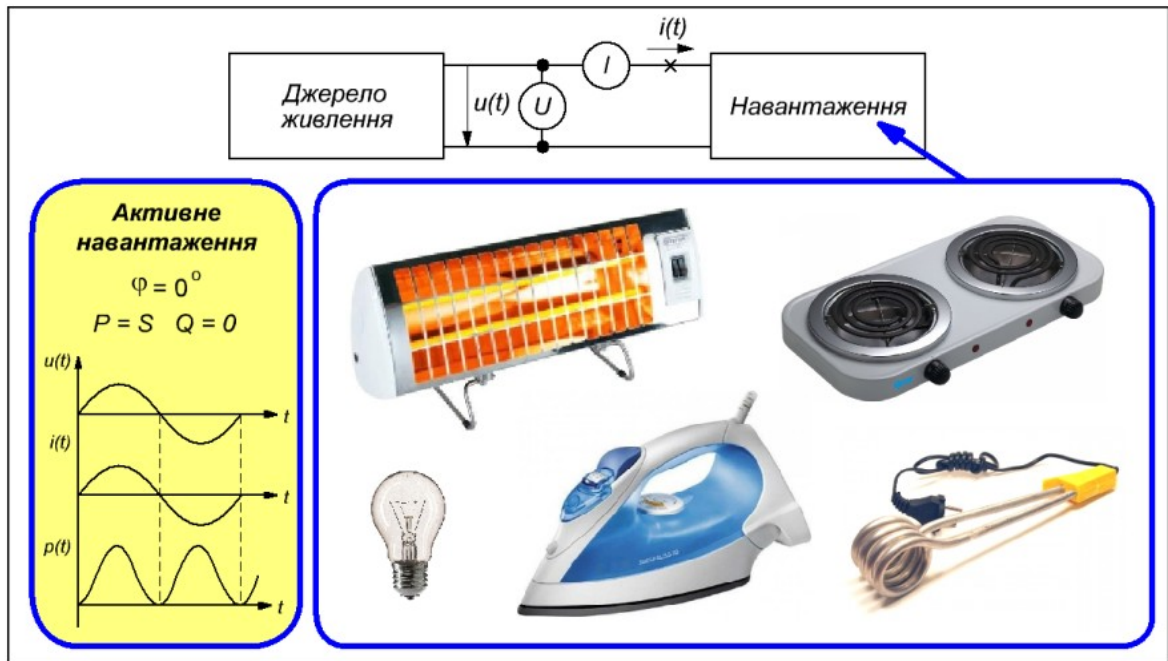


Рисунок 26 – Навантаження активного характеру

Для індуктивного характеру навантаження (Рисунок 27) струм має синусоїдальну форму, але відстає по фазі від напруги. І чим більша різниця між формами напруги та струму, тим більший рівень коливань електричної енергії між джерелом живлення та навантаженням. Максимальна різниця між фазами напруги та струму становить 90° . За такого кута активна потужність від джерела живлення взагалі не споживається і у колі живлення мають місце лише коливання електричної енергії.

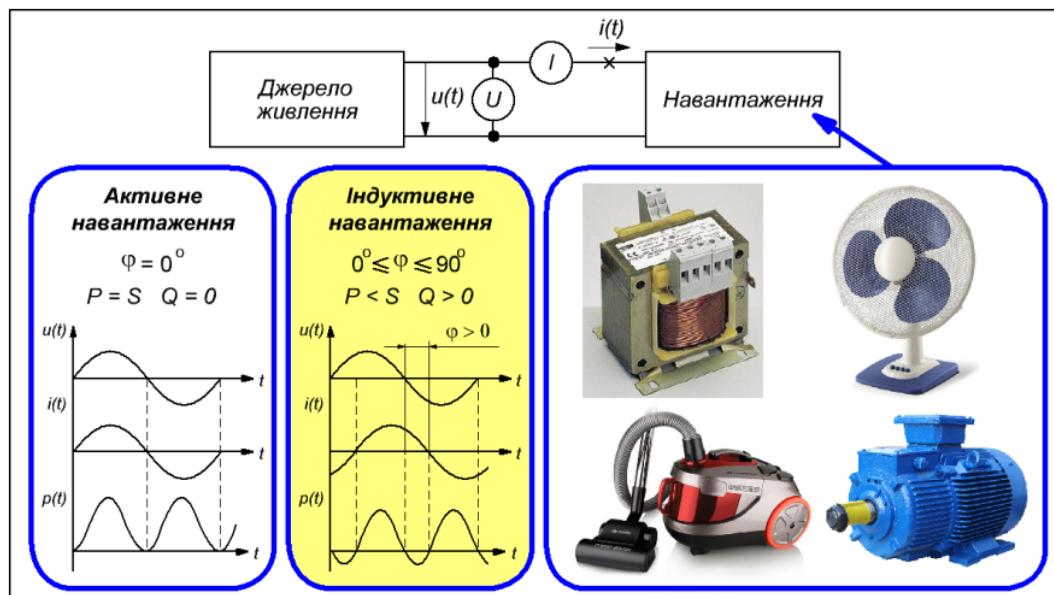


Рисунок 27 – Навантаження індуктивного характеру

Прикладом навантаження індуктивного характеру можуть бути пристрої, функціонування яких так чи інакше пов'язане із магнітним полем: електродвигуни, трансформатори, гучномовці, тощо.

Зворотним індуктивному є ємнісне навантаження (Рисунок 28). Для ємнісного навантаження струм також має синусоїдальну форму, але, на відміні від індуктивного навантаження, у даному випадку він випереджає по фазі напруги живлення.

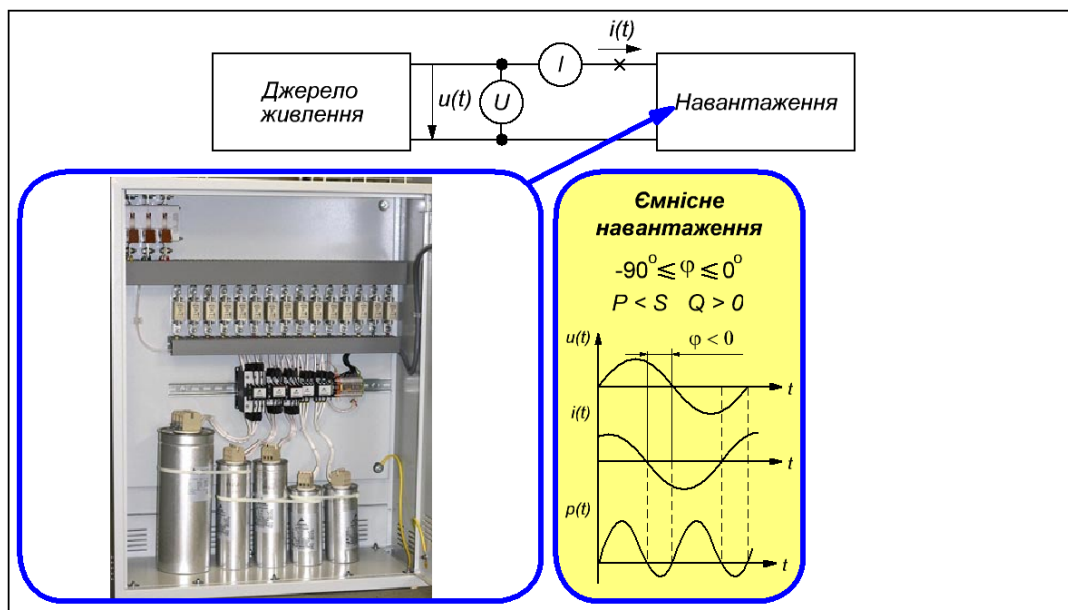


Рисунок 28 – Навантаження ємнісного характеру

Аналогічно індуктивному навантаженню, чим більша різниця між фазами напруги та струму. Тим більший рівень коливань електричної енергії між джерелом живлення та навантаження. Максимальна різниця між фазами напруги та струму для ємнісного навантаження також становить 90° . Але, оскільки струм випереджає напругу за фазою, то ця різниця буде від'ємною. Тобто, для ємнісного характеру навантаження кут “ ϕ ” між напругою та струмом буде менше нуля.

У граничному випадку, коли фазовий зсув дорівнює 90° , аналогічно індуктивному навантаженню, активна потужність від джерела живлення не споживається і мають місце лише коливання електричної енергії між джерелом живлення і навантаженням.

Споживачі електричної енергії з ємнісним характером споживаного струму зустрічаються досить рідко, на відміну від пристроїв з активним або індуктивним характером споживання електричної енергії.

Як правило, це пристрій, функціонування яких так чи інакше пов'язане із електричним полем. Одним із прикладів пристроїв із ємнісним характером споживання електричної енергії є компенсатори реактивної потужності, які містять конденсатори великої ємності.

Останнім типом споживачів електричної енергії є споживачі із нелінійною формою споживаного струму (Рисунок 29). Фаза струму, що споживають дані пристрої, співпадає з фазою напруги, але форма струму суттєво відрізняється від синусоїдальної.

Оскільки фаза струму співпадає із фазою напруги, то коливання електричної енергії у системі електроживлення відсутні. У такій системі джерело живлення функціонує лише у режимі передачі. Режим рекуперації у даній системі не виникає.

Нелінійна форма струму у багатьох випадках зумовлене процесами перетворення роду струму. Якщо навантаження містить у своєму складі випрямляч, то, якщо не приймати не яких додаткових заходів, споживаний струм буде мати форму, яку ви зараз бачите на екрані. Таким чином, до споживачів з нелінійною формою споживаного струму можна віднести усе радіоелектронне обладнання у тому числі: телекомунікаційне і комп'ютерне.

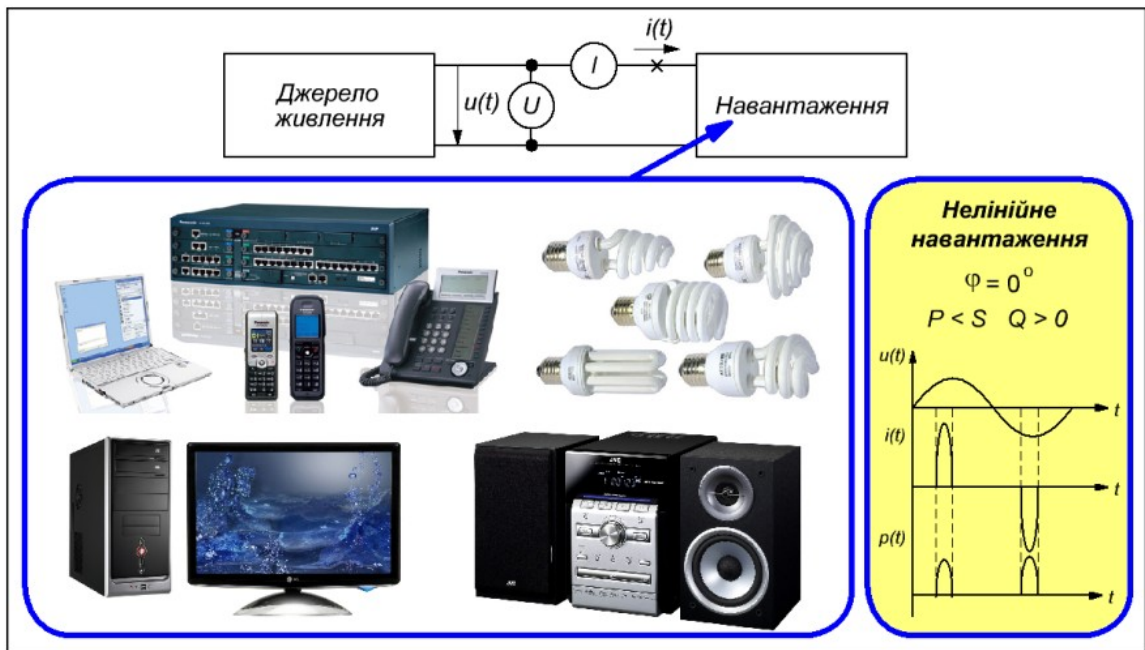


Рисунок 29 – Навантаження нелінійного характеру

Загалом нелінійну форму споживаного струму мають практично усі споживачі постійного струму, що живляться від джерела електричної енергії змінного струму.

Таким чином існують чотири види навантаження: активне, індуктивне, ємнісне та нелінійне (Рисунок 30). Визначимо, який вид навантаження є найбільш енергетично ефективним.

У загальному випадку, джерело живлення призначене для того, щоб забезпечувати обладнання електричною енергією. Тобто, у загальному випадку, джерело живлення повинне працювати лише у режимі передачі. Але у нас є два види навантаження для яких має місце певний рівень коливань електричної енергії.

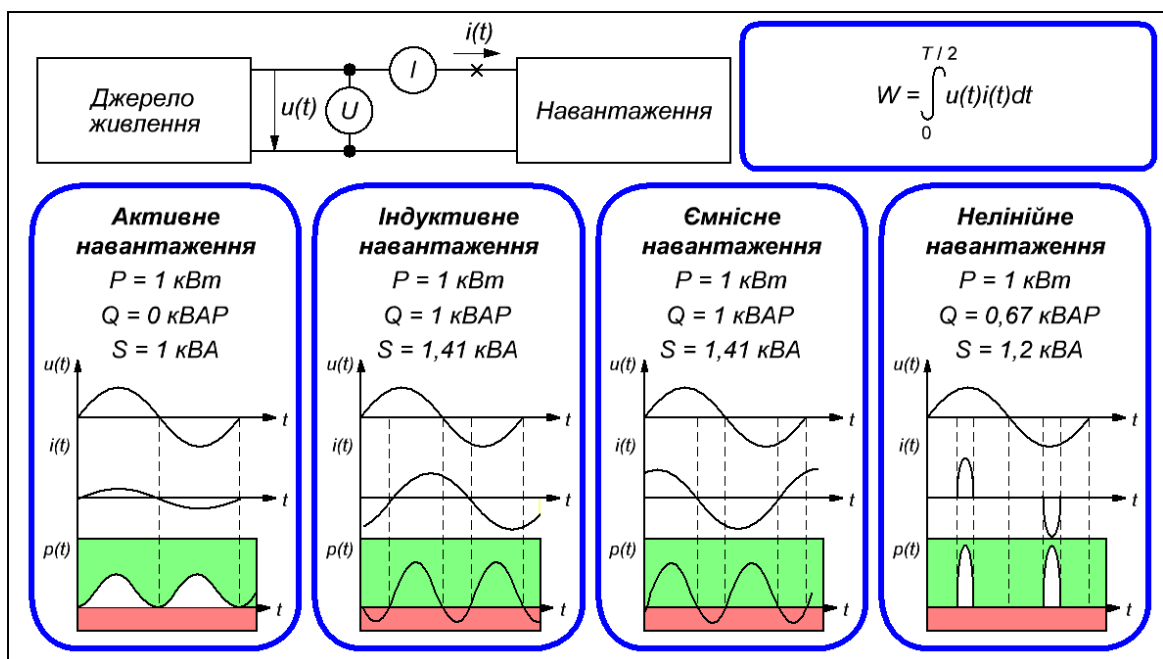


Рисунок 30 – Види навантаження у системі електроживлення змінного струму

Порівняємо енергетичні процеси для активного, індуктивного та ємнісного характеру навантаження. Нехай у всіх трьох випадках навантаження споживає 1 кВт активної потужності, тобто кількість спожитої електричної енергії для всіх трьох випадків однакова. Для навантаження, що має активний характер реактивна потужність дорівнює нулю і повна потужність дорівнює активній. Таким чином, активне навантаження навантажує джерело живлення лише на той рівень потужності, який необхідний для його роботи.

У випадку індуктивного або ємнісного характеру навантаження обладнання також споживає 1 кВт активної потужності. Але, окрім активної потужності обладнання повинно отримати від джерела живлення ще й додаткову кількість електричної енергії, необхідну для перезаряду реактивних елементів. Нехай ця величина буде дорівнювати 1 кВАР.

Що ми бачимо? Ми бачимо, що у випадку індуктивного та ємнісного характеру навантаження, нам потрібне більш потужне джерело живлення, яке повинне забезпечити більший струм, який використовується не тільки на корисні потреби, а ще й на коливання електричної енергії. Таким чином, коливання електричної енергії не є корисними, але, на жаль, без прийняття якихось додаткових заходів, обладнання без них не зможе нормально функціонувати.

Рівень додаткових навантажень нам показує повна потужність, оскільки вона враховує усі складові навантаження і активну, і реактивну. Для активного навантаження ми вже визначили, що повна потужність дорівнює активній і становить 1 кВА. А для індуктивного та ємнісного характеру навантаження повна потужність буде дорівнювати 1,41 кВА:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{1+1} = 1,41 \text{ кВА}.$$

Таким чином, поки що найбільш енергетично ефективним є обладнання активного характеру. Для індуктивного або ємнісного навантаження нам потрібне більш потужне джерело живлення.

Тепер розглянемо навантаження з нелінійним характером струму. Нехай воно також споживає 1кВА корисної потужності. Спробуємо, чи достатньо буде для його живлення джерело з повною потужністю 1кВА.

Як відомо із курсу фізики, кількість електричної енергії за період часу обчислюється за формулою:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} u(t)i(t)dt.$$

За період активне та нелінійне навантаження повинні спожити одну й ту ж кількість енергії. Це означає, що інтеграли струмів активного та нелінійного навантаження повинні бути однакові. Але активне навантаження споживає струм впродовж всього періоду, а нелінійне – лише впродовж короткого інтервалу часу. І для того щоб інтеграли струмів були однакові, амплітуду струму нелінійного навантаження необхідно збільшити.

Таким чином, максимальне значення струму для нелінійного характеру навантаження буде більше ніж для активного. Це значить, що у випадку нелінійного навантаження нам також потрібне більш потужне джерело живлення ніж для активної. Незважаючи на те, що фізично ніяких коливань енергії між джерелом живлення та нелінійним навантаженням немає, усе одно, у розрахунках приймають, що нелінійне навантаження споживає певний рівень реактивної потужності.

Таким чином, із розглянутих варіантів енергетично правильно електричну енергію споживає лише активне навантаження.

Лише в цьому випадку нам потрібне джерело живлення, повна потужність якого дорівнює рівню активної потужності обладнання. У всіх інших випадках обладнання створює додаткове навантаження на джерело живлення, що призводить до необхідності збільшення його потужності. Таким чином, можна сказати, що існує обладнання, яке споживає електричну енергію правильно і є обладнання, яке споживає електричну енергію неправильно (Рисунок 31).



Рисунок 31 – Види обладнання за якістю споживання електричної енергії

Поки що до правильного обладнання можна віднести лише обладнання з активним характером споживання електричної енергії, а до неправильного – усі інші.

Але, коли я купую обладнання, наприклад комп'ютер, то мені ніхто у магазині не розкаже про активний чи індуктивний характер споживання електричної енергії і, взагалі, будова цього комп'ютера може бути державною або комерційною таємницею і я не маю права навіть його відкривати.

То як визначити, без діаграм напруг та струмів, типів навантаження та інших технічних складнощів, чи правильно цей прилад споживає електричну енергію? Виявляється для цього достатньо зазирнути у технічну документацію і знайти параметр, який має назву коефіцієнт потужності.

Коефіцієнт потужності (Power factor) це безрозмірна величина, яка визначає якість споживання електричної енергії. Зазвичай цей параметр проводиться для обладнання, що живиться змінним струмом, оскільки при живленні постійним струмом також проблем, як правило, не виникає.

Коефіцієнт потужності дорівнює відношенню активної потужності, що споживає навантаження до повної (Рисунок 32). У різних джерелах коефіцієнт потужності може визначатися як зазвичай для індуктивних споживачів (електродвигунів, трансформаторів) або як грецька літера «псі», або літерами PF (від англійської Power factor).

Оскільки активна потужність знаходиться у межах від 0 до величини повної потужності, то коефіцієнт потужності буде знаходитися у межах від нуля до 1. При цьому значенню 0 відповідає найгірша якість споживання електричної енергії за якої електрична енергія взагалі не споживається, а обладнання лише створює марне навантаження на джерело живлення.

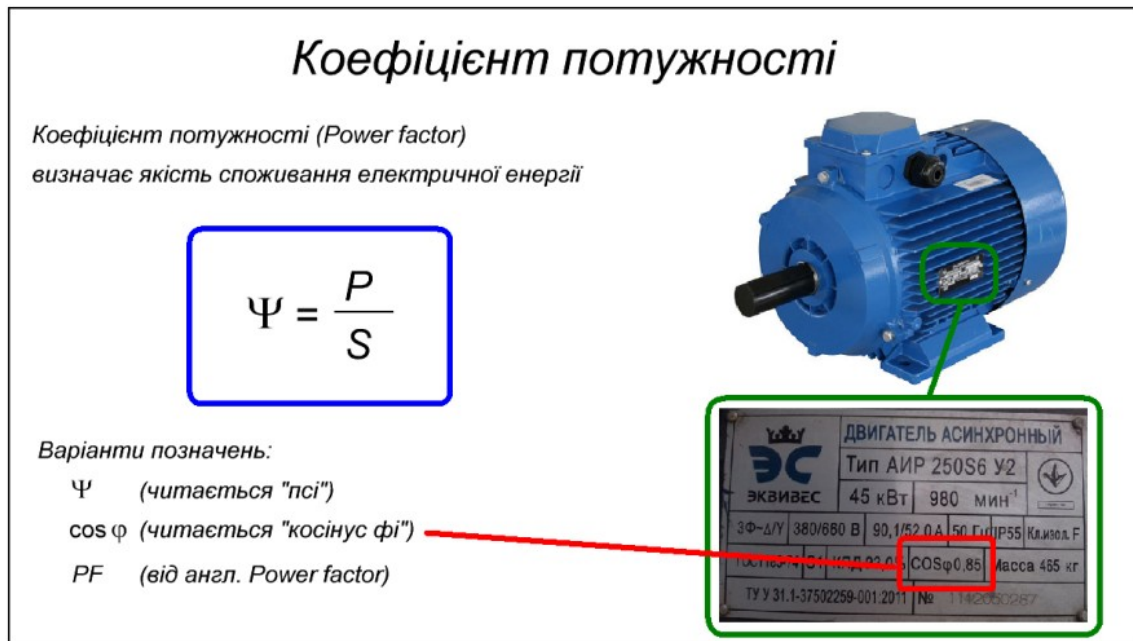


Рисунок 32 – Коефіцієнт потужності

Найкраща якість досягається у випадку коли коефіцієнт потужності дорівнює 1. У цьому випадку активна потужність дорівнює повній і ніяких додаткових навантажень на джерело живлення не створюється. Загалом, якість споживання електричної енергії визначається за величиною коефіцієнта потужності наступним чином:

- 0,95...1,00 висока
- 0,85...0,95 добра
- 0,65...0,85 задовільна
- 0,50...0,65 низька
- 0,00...0,50 незадовільна

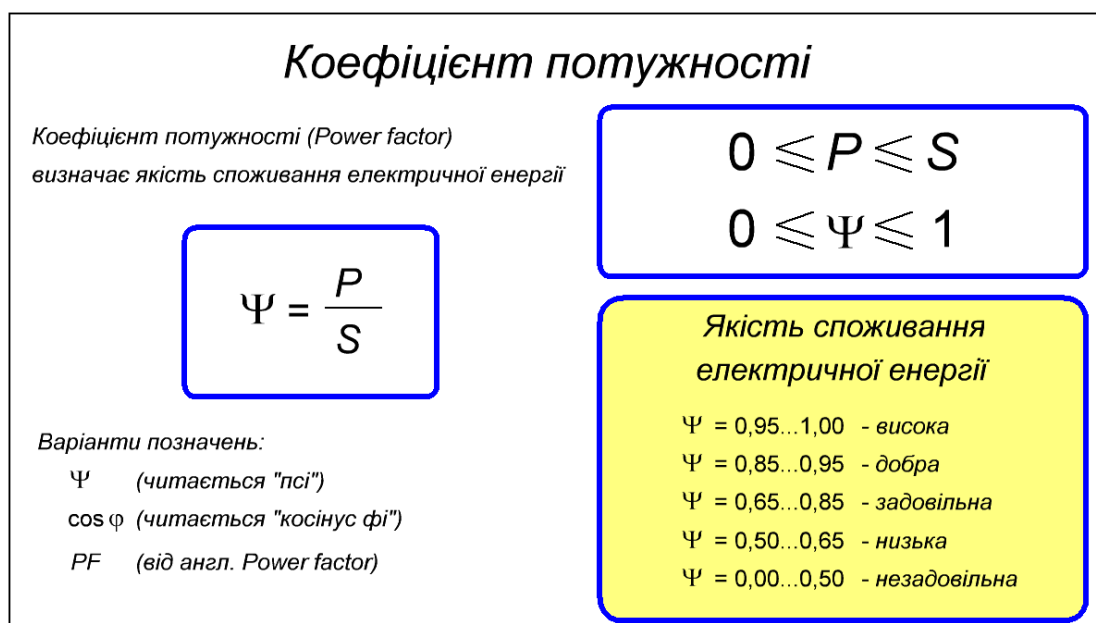


Рисунок 33 – Коефіцієнт потужності

Останнє питання, яке виникає після розглядання цього матеріалу, а як так виходить, що є обладнання яке неправильно споживає електричну енергію?

Відповідь дуже проста. На сьогоднішній день немає обладнання такого типу, яке б правильно споживало електричну енергію. Наприклад не існує електродвигунів, які б не мали фазового зсуву між напругою та струмом. Для більшості електродвигунів коефіцієнт потужності знаходиться у межах 0,6...0,85, а найпростіший випрямляч, має коефіцієнт потужності 0,65...0,67 і з цим нічого не можна вдіяти.

Тому на практиці завжди буде обладнання, яке буде неправильно споживати електричну енергію, тобто буде мати коефіцієнт потужності менше 1.

Для того, щоб підвищити коефіцієнт потужності обладнання повинно містити спеціальний вузол – коректор коефіцієнту потужності. Але це призводить до підвищення вартості пристрою.



Рисунок 34 – Коректор коефіцієнту потужності у блоці живлення персонального комп'ютера

Таким чином, навантаження може неправильно споживати електричну енергію від джерела живлення, причому якість споживання електричної енергії визначається коефіцієнтом потужності. Коефіцієнт потужності є характеристикою обладнання і приводиться у технічній документації на пристрій. Існує декілька градацій якості споживання електричної енергії. Потужні пристрої із незадовільним коефіцієнтом потужності підключати до джерел живлення змінного струму категорично заборонено.