

Розділ II. Кола однофазного та трифазного синусоїдального струму

Тема 2.1 «Кола однофазного та трифазного змінного струму»

Лекція 6

Отримання змінного струму. Однофазні електричні кола. Нерозгалужені електричні кола змінного струму

Мета: оволодіти знаннями про змінний струм.

Методи: словесний, практичний, наочний.

План:

1. Отримання змінного струму.
2. Однофазні електричні кола.
3. Нерозгалужені електричні кола змінного струму.

1. Отримання змінного струму.

Постійний електричний струм можна отримати від батареї або іншого джерела струму. У такому випадку ми будемо мати струм, який весь час тече в одному напрямку від позитивного полюса джерела до негативного.

Деякі електроприлади живляться постійним струмом, однак більшість споживає змінний струм.

Отримання змінного електричного струму можливо завдяки використанню явища електромагнітної індукції. Це явище полягає в тому, що при зміні магнітного потоку, який пронизує замкнутий провідний контур, в контурі виникає електричний струм.

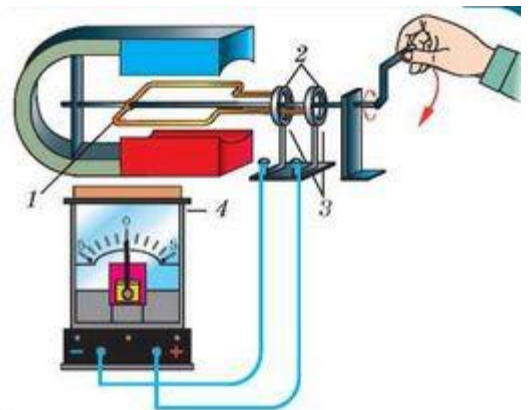
Отримання змінного струму відбувається за допомогою електромеханічних індукційних генераторів.

У даний час є багато різних типів індукційних генераторів, але всі вони складаються з одних і тих самих основних частин. Найпростіший індукційний генератор - рамка, яка рівномірно обертається у магнітному полі (мал. 1).

У зображеній на малюнку моделі генератора обертається дротяна рамка, яка є ротором (правда, без залізного осердя). Магнітне поле створює нерухомий постійний магніт. Зрозуміло, можна було б вчинити і навпаки: обертати магніт, а рамку залишити нерухомою.

Звернемося до досліду (мал. 1). Візьмемо рамку, що складається з кількох витків дроту (1). Своїми кінцями рамка кріпиться до кілець (2), що обертаються разом з нею. До кілець також щільно прилягають щітки (3), які виконують роль контактів.

Почнемо обертати рамку в магнітному полі. Під час обертання рамки кількість магнітних ліній, що її пронизують, то збільшується, то зменшується. Отже, магнітне поле, що пронизує рамку, постійно змінюється. Тому в рамці виникає індукційний струм (пригадайте явище електромагнітної індукції). Оскільки кожний кінець рамки з'єднаний з окремим кільцем, то в ті моменти, коли половина рамки проходить біля одного з полюсів магніту (наприклад, північного), у ній виникає індукційний струм, який протікає до внутрішнього контактного кільця. А коли біля північного полюса проходить інша половина рамки, індукційний струм протікає до зовнішнього контактного кільця. Щоразу, коли рамка змінює свою орієнтацію відносно полюсів магніту, індукційний струм також змінює свій напрямок на протилежний. Про це може свідчити коливання стрілки гальванометра (4).



Мал. 1. Найпростіша модель індукційного генератора

Увесь час, поки ми будемо обертати рамку (а цю роль можуть відігравати різні джерела механічної енергії), у рамці буде виникати (генеруватися) змінний електричний струм.

Для отримання великого магнітного потоку в генераторах застосовують спеціальну магнітну систему (мал. 2), що складається з двох осердь, зроблених з електротехнічної сталі. Обмотки, що створюють магнітне поле, розміщені в пазах одного з осердь, а обмотки, в яких індукується ЕРС, - в пазах другого. Одне з осердь (зазвичай внутрішнє) разом зі своєю обмоткою обертається довкола горизонтальної або вертикальної осі. Тому воно називається ротором. Нерухоме осердя з його обмоткою називають статором. Зазор між осердями статора і ротора роблять якомога меншим для збільшення потоку магнітної індукції.

Промисловий генератор змінного електричного струму (мал. 3) складається з нерухомої частини (статора) та рухомої частини (ротора). Масивний нерухомий статор являє собою порожнистий циліндр, на внутрішній поверхні якого розміщений товстий мідний ізолюваний дріт — обмотка статора. У середині статора обертається ротор. Він являє собою великий циліндр, у пази якого вкладено обмотку. До обмотки ротора через колектор подається напруга від джерела постійного струму — збуджувача. Струм тече по обмотці ротора, створюючи навколо нього магнітне поле.

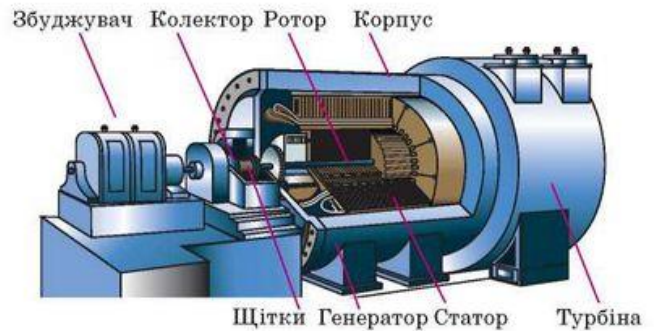
Під дією пари (на теплових й атомних електростанціях) або води, що падає з висоти (на гідроелектростанціях), турбіна починає швидко обертати ротор генератора. Унаслідок цього магнітне поле, що пронизує обмотку статора, змінюється, і завдяки електромагнітній індукції в обмотці виникає змінний електричний струм. Зазнавши низку перетворень, цей струм подається до споживача електричної енергії.

Генератори електричного струму мають практично таку саму будову, що й електродвигуни. Але за принципом дії генератор — це електричний двигун «навпаки».

У великих промислових генераторах (мал. 4) обертається саме електромагніт, який є ротором, тоді як обмотки, в яких наводиться ЕРС, укладені в пазах статора і залишаються нерухомими. Річ у тім, що підводити струм до ротора або відводити його з обмотки ротора у зовнішнє коло доводиться за допомогою ковзних контактів. Для цього ротор забезпечується контактними кільцями, приєднаними до кінців його обмотки. Нерухомі пластини - щітки - притиснуті до кілець і здійснюють зв'язок обмотки ротора із зовнішнім колом. Сила струму в обмотках електромагніту, що створює магнітне поле, значно менша за силу струму, що віддається генератором у зовнішнє коло. Струм, що генерується, зручніше знімати з нерухомих обмоток, а через ковзні контакти підводити порівняно слабкий струм до електромагніту, що обертається. Цей струм виробляється окремим генератором постійного струму (збудником). (У наш час постійний струм в обмотку ротора найчастіше подають з обмотки статора цього ж генератора через випрямляч).



Мал. 2. Магнітна система генератора



Мал. 3. Промисловий генератор змінного струму



Мал. 4. Промислові генератори

У малопотужних генераторах магнітне поле створюється постійним магнітом, що обертається. У такому разі кільця і щітки взагалі не потрібні. Поява ЕРС в нерухомих обмотках статора пояснюється виникненням в них вихрового електричного поля, породженого зміною магнітного потоку внаслідок обертання ротора. Сучасний генератор електричного струму - це значна споруда з мідних дротів, ізоляційних матеріалів і сталевих конструкцій. Маючи розміри в декілька метрів, найважливіші деталі генераторів вимагають виготовлення з точністю до міліметра. Більш ніде в техніці немає такого поєднання рухомих частин, які могли б породжувати електричну енергію настільки ж безперервно і економічно.

2. Однофазні електричні кола.

Найбільш розповсюдженими колами змінного струму є однофазні. Переважна більшість не силових електричних кіл – однофазні (кола живлення джерел освітлення, кола високої та підвищеної частоти радіоапаратури, кола автоматики, зв'язку та ін.). В деяких випадках однофазними є потужні кола електронагрівальних установок підвищеної частоти.

В колах змінного струму безперервно змінюються величини напруги, струму та потужності, а також безперервно змінюється енергія в приладах, які створюють електричні і магнітні поля (в ємностях та індуктивностях).

Безперервна зміна струму в колі з індуктивністю призводить до появи безперервно змінної ЕРС самоіндукції, рівно як зміна напруги, прикладеної до кола з ємністю, призводить до появи струму в ємності і до зміни напруги заряду цієї ємності. У зв'язку з тим, що вказані ЕРС і напруга направлені назустріч прикладеним напругам, вони створюють опір проходженню електричного струму. Ці опори називають **реактивними**, тому що електрична енергія в них не перетворюється в інші види енергії (наприклад, в теплову), а лише перетворюється з енергії електричного поля в енергію магнітного поля і навпаки.

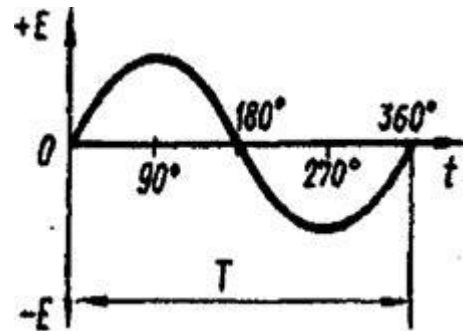
Електричні опори, зумовлені властивостями матеріалів, з яких виконані окремі ділянки кола і в яких електрична енергія перетворюється в теплову, називають **активними**.

Практично в колі змінного струму завжди існують всі три види опорів: реактивні індуктивні, реактивні ємнісні та активні, однак за суттєвої відмінності величин цих опорів коло може характеризуватись лише одним з них.

Однофазний струм одержують від однієї обмотки генератора. Цей періодичний струм змінюється синусоїдально, якщо його одержують від генераторів, які перетворюють механічну енергію в електричну.

Значення змінного струму, ЕРС, напруги, потужності за мить називаються миттєвими значеннями і відповідно позначаються літерами i , e , u , p . Найбільші миттєві значення синусоїдальних струмів, ЕРС, напруг, потужностей називаються амплітудними і позначаються літерами I_m , E_m , U_m , P_m .

Час, за який змінний струм змінюється на синусоїду, називається періодом. Період позначають літерою T , вимірюють у секундах. Фазний кут, або фаза, визначає відхилення синусоїдальної величини від нульового значення. Позначають літерою ϕ , вимірюють у градусах (мал. 5).



Мал. 5. Графік зміни ЕРС

Кожному фазному куту відповідає певна частина періоду:

φ	$T, \text{с}$
90°	$T/4$
180°	$T/2$
270°	$3/4T$
360°	T

Частота струму — це кількість періодів за одну секунду. Позначають літерою f , вимірюють у герцах (Гц) і визначають за формулою $f = 1/T$. Стандартна промислова та побутова частота струму $f = 50$ Гц.

Кутова частота обертання витка обмотки ротора генератора у магнітному полі статора — це кутова швидкість обертання цього витка. Позначають літерою ω , вимірюють у радіанах за 1 с:

$$\omega = 2\pi \frac{1}{T} = 2\pi f$$

Миттєві значення синусоїдальних струмів I та напруг U у час t визначають за формулами

$$I = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$$

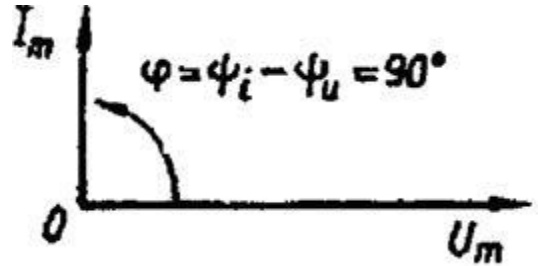
$$U = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$$

де ψ_i і ψ_u — початкові фази струму i та напруги u . Фазний кут φ визначають за формулою:

$$\varphi = \psi_u - \psi_i.$$

Він може мати плюсове або мінусове значення.

Синусоїдальні величини струму та напруги графічно зображують як вектори, що дорівнюють амплітудним значенням цих величин під кутом ψ_i , чи ψ_u до горизонтальної осі графіка (мал. 6).



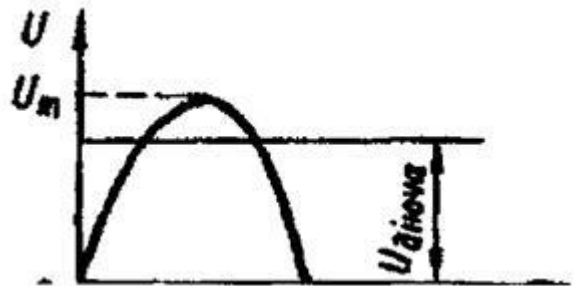
Мал. 6. Векторна діаграма напруги

Плюсові кути відкладають проти обертання годинникової стрілки. Якщо вектор обертається проти годинникової стрілки, то в кожному мить часу він утворює з горизонтальною віссю кут, що дорівнює

$$\omega t + \psi_i \text{ чи } \omega t + \psi_u.$$

Максимальні та діючі значення величин змінного струму. Максимальним (амплітудним) значенням напруги, струму, е.р.с, потужності називають ту найбільшу величину, якої вона досягає за один період, і позначають літерами I_m, E_m, U_m, P_m .

Діюче (ефективне) значення величини змінного струму дорівнює такому значенню постійного струму, який за однаковий час на одному і тому самому електричному опорі виділяє таку саму кількість тепла, що і змінний струм (мал. 7).



Мал. 7. Амплітудне і діюче значення

Для величин синусоїдального змінного струму відношення максимального значення до діючого дорівнює: $\sqrt{2} = 1,41$, наприклад: діюче значення побутової напруги $U_{\text{діюча}} = 220$ В, тоді максимальне значення:

$$U_{\text{макс}} = 1,41 \cdot U_{\text{діюча}} = 1,41 \cdot 220 = 310,2 \text{ В.}$$

Опори в однофазному електричному колі. В однофазному змінному колі розрізняють активний опір R , реактивний x , які є складовими частинами повного опору Z .

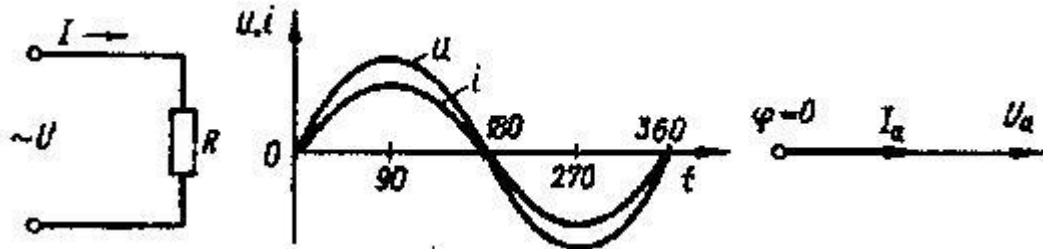
Активний опір необоротно перетворює електричну енергію в інші види енергії (механічну, теплову, хімічну). Його мають резистори, лампи, нагрівальні прилади,

електродвигуни тощо. Активний опір має поверхневий ефект (скін-ефект), який полягає у тому, що змінне магнітне поле перетинає провід та індукує у ньому е.р.с. індукції, що витісняє струм у провіднику від середини до поверхні. Отже, опір у провіднику зростає від середини до поверхні тим більше, чим більша частота струму. При частоті струму 50 Гц на дію поверхневого ефекту зважають тільки тоді, коли діаметр мідного проводу досягає 1 см та більше. В інших випадках скін-ефект не беруть до уваги.

Зважаючи на те, що $\psi_u = \psi_i$, тобто початкові фази напруги та струму однакові:

$$\varphi = \psi_u - \psi_i = 0$$

На активному опорі струм і напруга збігаються за фазою (мал. 8).



Мал. 8. Вектори сили струму та напруги у схемі з активним опором

Реактивний опір не перетворює необернено електричну енергію в інші види енергії, а тільки перекачує енергію від джерела струму до себе, а потім повертає її назад, завантажуючи провід реактивним струмом. Реактивний опір мають накопичувачі енергії обмотки з осердям та без осердя і конденсатори.

Реактивний опір обмотки у першу і третю чверті кожного періоду споживають електричну енергію змінного струму, перетворюючи її у магнітну, а у другу й четверту чверті кожного періоду перетворюють магнітну енергію в електричну і внаслідок дії е.р.с. самоіндукції повертають ці енергії до джерела струму.

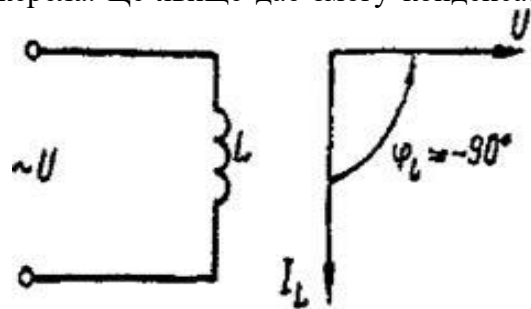
Реактивний опір конденсатора у першу й третю чверті періоду розряджається на джерело, а в другу й четверту чверті періоду заряджається від джерела струму.

Розряд конденсатора відбувається внаслідок того, що напруга на виводах конденсатора стає більшою, ніж на виводах джерела. Це явище дає змогу конденсатору пропускати змінний струм. Реактивний опір котушки позначається літерою x_L (Ом) і визначається за формулою

$$x_L = 2\pi fL,$$

тобто залежить від частоти струму та індуктивності котушки.

Електрорушійна сила самоіндукції завжди діє у протифазі з напругою на виводах котушки U_L , тому реактивний струм котушки I_L відстає від напруги на кут 90° (мал. 9).



Мал. 9. Вектори сили струму та напруги у схемі з реактивним індуктивним опором

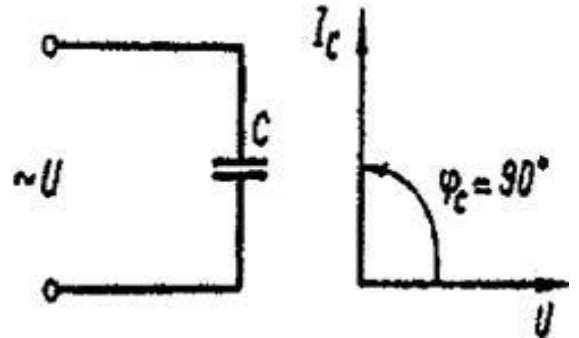
Реактивний опір конденсатора позначається літерою x_c (Ом) і визначається за формулою:

$$x_c = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega \cdot C},$$

тобто залежить від частоти струму та ємності. Якщо $f = 50$ Гц, $C = 1\text{мкФ} = 1 \cdot 10^{-6}\text{Ф}$, то:

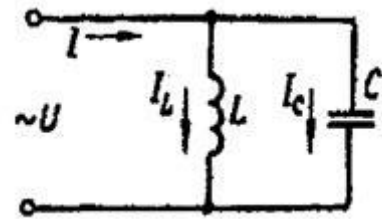
$$x_c = \frac{10^{-5}}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1} = 3184,7 \approx 3200 \text{ Ом}$$

Для приблизних розрахунків можна записати: $x_c = \frac{3200}{C}$, або $C = \frac{3200}{x_c}$ мкФ. Це дає змогу приблизно визначити, що конденсатор $C = 10$ мкФ має реактивний опір: $x_c = \frac{3200}{10} = 320$ Ом. Внаслідок того, що максимальне значення напруги виникає на обкладинках конденсатора тільки через чверть періоду після початку заряду, то напруга відстає від струму на кут 90° . Тобто реактивний ємнісний струм випереджає напругу на 90° (мал. 10).



Мал. 10. Вектори сили струму та напруга у схемі з ємнісним опором

Порівнюючи напрям індуктивного та ємнісного реактивних струмів, можна помітити, що вони перебувають у протифазі, тобто мають протилежні напрями. Це використовують для того, щоб розвантажити електричні проводи від реактивного індуктивного струму, який споживають інші пристрої. Для цього паралельно до котушки приєднують конденсатори. Повний струм схеми (мал. 11) визначають за формулою: $I = I_L - I_C$, оскільки струми мають протилежні напрями. Наприклад, якщо $I_L = 5$ А, $I_C = 4$ А, тоді $I = 5 - 4 = 1$ А.



Мал. 11. Схема паралельного з'єднання реактивних: індуктивного та ємнісного опорів

Закон Ома для кола змінного струму. Котушка, або обмотка, має активний опір, оскільки вона нагрівається, та реактивний, оскільки перемагнічується. Схема котушки складається з послідовно з'єднаних опорів R та x_L .

Напруга U , що подається на котушку, витрачається на подолання активного опору R ($U_a = IR$ збігається за фазою зі струмом) та витрачається на подолання реактивного опору x_L , ($U_L = I \cdot x_L$, випереджаючи струм на фазний кут 90°).

Векторна діаграма кола утворює прямокутний трикутник, у якому струм I і напруга U утворюють фазний кут φ , який буде тим більший, чим більша величина U_L :

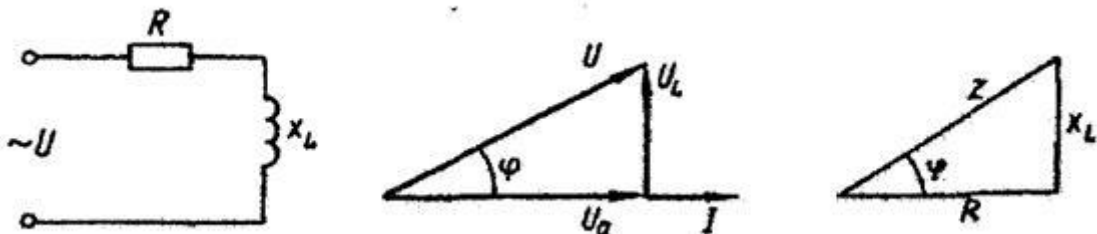
$$U = \sqrt{U_a^2 + U_L^2}, U = \sqrt{I^2 R^2 + I^2 X_L^2} = I \sqrt{R^2 + X_L^2},$$

звідки:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{U}{z}$$

де $z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ - повний опір кола.

Тобто має місце прямокутний трикутник опорів, де кут φ утворює повний опір z та активний опір R . Цей кут буде тим більший, чим більший реактивний опір x_L .



Мал. 12. Трикутник напруг та опорів до схеми з R та x_L

Якщо у колі послідовно з'єднані активний, індуктивний та ємнісний опори, тоді закон Ома має таку формулу:

$$I = \frac{U}{z},$$

де $z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2}$, тому що реактивні струми I_L та I_C мають протилежні напрями (мал. 12).

Потужності змінного струму. Коефіцієнт потужності. У колі змінного струму, де споживачі мають активний та реактивний опір, є активна та реактивна потужності, які складають повну потужність споживача. Прикладом є асинхронний двигун. Ці потужності створюють прямокутний трикутник потужностей внаслідок того, що фазний кут між активною та реактивною частинами повної потужності дорівнює 90° .

Активну потужність (наприклад, потужність електричної лампи) позначають літерою P , вимірюють у ватах і визначають за формулою:

$$P = U \cdot I \cos \varphi$$

Реактивну потужність (наприклад, потужність конденсатора) позначають літерою Q , вимірюють у варах, тобто вольт-амперах реактивних, і визначають за формулою:

$$Q = U \cdot I \sin \varphi$$

Повну потужність (наприклад, потужність асинхронного двигуна) позначають літерою S , вимірюють у В·А і визначають за формулами:

$$S = UI,$$

або

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

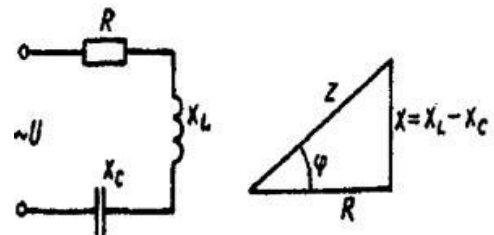
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$ — це відношення $\frac{P}{S} = \cos \varphi$. Він показує, яку частину від повної потужності складає активна потужність, тобто якою є використання електричної енергії (мал. 13).

Чим менший кут φ утворений величинами S і P , тим більше значення $\cos \varphi$ і ефективніше використання електричної енергії (мал. 14). Щоб збільшити величину $\cos \varphi$, треба штучно зменшити споживання реактивної енергії за допомогою паралельного ввімкнення конденсаторів. Коли кут $\varphi = 0^\circ$, то $S = P$, тоді $\cos \varphi = 1$ — максимальне значення.

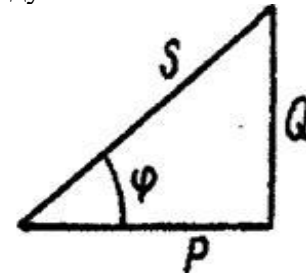
Збільшення величини $\cos \varphi$ дає економію споживання реактивної електричної енергії. Коефіцієнт потужності на промислових підприємствах і в електричних пристроях збільшують за допомогою конденсаторів, які вмикають паралельно до споживача. Ємність конденсаторів добирають таку, щоб реактивний струм конденсатора I_C приблизно дорівнював реактивному струму споживача I_L . Ці струми мають протилежні напрями, і тому загальний реактивний струм стає значно меншим $I_{\text{реакт}} = I_L - I_C$. Внаслідок цього зменшується і загальний струм споживача (мал. 15).

Наприклад, загальний струм споживача $I = 100$ А і складається з активного струму $I_a = 80$ А та реактивного струму $I_L = 60$ А.

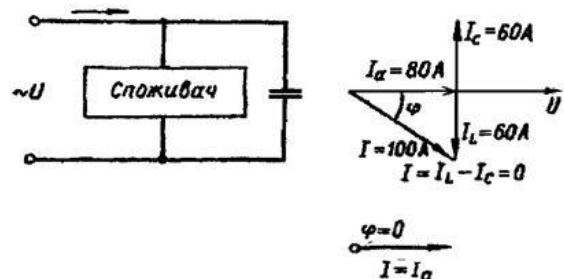
$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2} = 100 \text{ А.}$$



Мал. 13. Коло з послідовно з'єднаними активним, індуктивним та ємнісним опорами



Мал. 14. Трикутник потужностей



Мал. 15. Схема вмикання конденсаторів до споживача та векторна діаграма струмів

Якщо паралельно до споживача ввімкнути батарею конденсаторів, яка має струм $I_C = 60$ А, тоді загальний струм схеми буде:

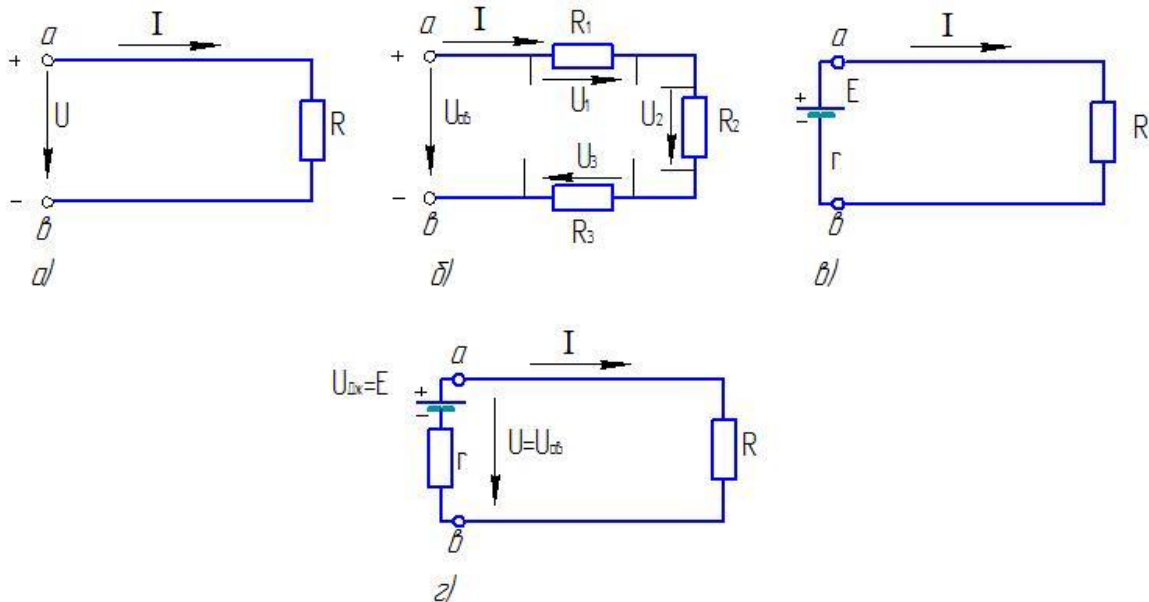
$$I = \sqrt{I_a^2 + (I_L - I_C)^2} = \sqrt{80^2 + (60 - 60)^2} = 80 \text{ А}$$

Підвищення $\cos\phi$ економічно вигідне, бо дає економію споживання реактивної енергії реактивного струму. Щоб збільшити $\cos\phi$, на підприємствах максимально скорочують режим холостого ходу двигунів і трансформаторів. Коефіцієнт потужності промислових підприємств за допомогою паралельно ввімкнених конденсаторів підтримують у межах 0,9-0,95. Коефіцієнт потужності асинхронного двигуна у номінальному режимі 0,6—0,85, а на холостому ходу — 0,1-0,3. Для збільшення $\cos\phi$ люмінесцентних ламп паралельно до дроселів вмикають конденсатори. Коефіцієнт потужності можна визначити з трикутників опорів та струмів.

3. Нерозгалужені електричні кола змінного струму.

Нерозгалуженими називають такі кола, що не мають жодної точки, в якій з'єднувалось би більше ніж два провідники. Нерозгалужене коло не має жодних відгалужень, а тому у всіх його точках значення струму одне і те ж. У загальному випадку до складу нерозгалуженого кола може входити декілька джерел E і декілька опорів R .

З'єднання, де через кожний елемент схеми протікає один і той же струм, називається послідовним. В такому колі утворюється тільки один провідний замкнений контур для струму. Приклади послідовних схем приведені на мал. 16.



Мал. 16. Послідовне з'єднання опорів:

- а) найпростіше послідовне коло; б) послідовне з'єднання трьох опорів; в) послідовне коло із заданими ЕРС e і внутрішнім опором r ; г) коло еквівалентне схемі б

Знання, корисні для практики!

Чому використовується стандарт частоти струму 50 Герц.

У галузі електроенергетики, щоб передати і розподілити електричний струм, використовуються однакові стандарти частоти, які становлять 50 або 60 Гц. Це справді аж ніяк не випадково. Так, наприклад, у нашій країні, СНД та країнах Європи використовуються єдині правила: струм у 220-240 Вольт частотою 50 Гц. На американському континенті прийнято стандарт 110-120 Вольт частотою 60 Гц. Звідки беруться ці величини. Давай розберемося.

Для початку згадаємо, як все було. Ще в другій половині ХХ століття багато вчених із різних країн активно вивчали принцип роботи електрики, отримували практичний досвід, яким чином його можна буде використовувати у побуті та виробничій діяльності людини. Так, усім відомий вчений-винахідник Томас Едісон зробив першу електричну лампочку і відкрив нове століття – століття електрифікації. Це призвело до

будівництва електростанцій (зокрема спочатку в США), де використовувався постійний струм.

Зазначимо, що перші лампочки світилися електричним розрядом, що горів на повітрі. Запалювання відбувалося між двома вугільними електродами, саме тому лампи називалися дуговими. Початок було покладено і саме завдяки цим крокам, вчені-експериментатори зрозуміли, що якщо використовувати струм 45 вольт, то дуга стає стійкішою, але при цьому не такою безпечною. Щоб отримати безпечний варіант, використовувався резистивний баласт, на якому в процесі експлуатації лампочки падало приблизно 20 Вольт.

Досить тривалий час у побуті застосовувалася напруга постійного типу, величиною 65 Вольт. Трохи пізніше його підвищили до 110, щоб була можливість включити в мережу кілька (дві) послідовно з'єднаних ламп.

Вчений Томас Едісон впевнено вважав, що саме постійний струм кращий за змінний. Його пристрої – генератори – якийсь час подавали до мережі саме такий струм. Як з'ясувалося, такий спосіб використання був дуже витратним та невигідним через необхідність застосування великої кількості провідникової продукції, а також їх трудомісткої прокладки. При цьому втрата електроенергії в процесі передачі була колосальною.

Пізніше стали використовувати систему постійного струму – 3-х провідну 220 Вольт, де були дві паралельні лінії по 110 В. Як з'ясувалося, економічно даний варіант електрифікації не покращив загального стану справ.

Нікола Тесла вже через кілька років представив світові свої унікальні роботи, зокрема, генератор змінного струму, що спрацювало у правильному напрямку і дозволило, завдяки його ж ідеям, значно знизити витратну частину при передачі електроенергії. При цьому, у багато разів зросла ефективність її передачі, коли велике напруження могло проходити без значних втрат великі відстані. Як показала практика, змінний струм Тесли значно перевершував за всіма параметрами постійний Едісон.

Трансформатори, що складаються із заліза, на кожній із трьох фаз знижують високу напругу до значення 127 В. На території наших країн до середини 60-х років ХХ століття напруга в мережах була на рівні 127 Вольт. І вже пізніше, коли виробничі потужності значно зросли, цей показник був піднятий до звичного нам сьогодні значення 220 Вольт.

Вчений Долів-Добровольський, який досліджував змінне джерело, запропонував використовувати для передачі електроенергії синусоїдальний струм. Також він запропонував застосовувати частоту в 30-40 Гц. Оптимальними для роботи обладнання та приладів виявились 50 Гц на території наших країн та Європи, а в США застосовують частоту 60 Гц.

Двополюсні генератори змінного струму характеризуються частотою обертання в 3000-3600 об/хв. Саме така робота дає внаслідок частоти 50-60 Гц. Такі показники потрібні для нормальної роботи генератора.

Звісно, на сьогоднішній день можна значно збільшити частоту передачі електроенергії. Це призвело б до дуже великої економії використання кабельно-провідникової продукції. Однак, на всій планеті інфраструктура побудована і пристосована саме до цих давно знайомих нам величин, що стосується будь-яких генераторів струму на атомних електростанціях. Отже, питання глобальної зміни системи передачі та подальшої комутації електроенергії відноситься більше до ще далекого майбутнього і сьогодні струм 220 Вольт та 50 Гц є загальноприйнятим стандартом.