

*Лекція 4.  
Електричні кола  
однофазного синусоїдного  
струму*

А.Мрачковський, кафедра  
електротехніки, електромеханіки та  
електротехнологій НУБіП України

# *План лекції*

- 1. Поняття про змінний струм.*
- 2. Основні параметри, які характеризують змінний струм.*
- 3. Активний опір у колі синусоїдного струму.*
- 4. Індуктивність у колі змінного струму.*
- 5. Ємність у колі синусоїдного струму.*
- 6. Резонанс напруги.*
- 7. Резонанс струмів.*

# *1. Поняття про змінний струм.*

*Промислові електростанції в усьому світі виробляють електроенергію змінного струму.*

*Вирішальною перевагою змінного перед постійним струмом є можливість найбільш економічно здійснювати виробництво, передавання, розподілення і використання електроенергії.*

*Змінна напруга досить легко перетворюється за допомогою трансформаторів: вона підвищується біля місця виробництва (з метою передавання електроенергії з малими втратами на необхідні відстані), а потім знижується в місцях споживання.*

**Змінним** називається струм, напрям протікання якого змінюється в часі за величиною і напрямком.

Струм в замкненому електричному колі створюється ЕРС генератора.

Тільки при струмі, що змінюється за законом гармонічних коливань (за законом синуса), на всіх ділянках електричного кола з лінійними опорами струм і напруга також змінюються за законом синуса ( $\sin$ ).

# Генератор змінного струму

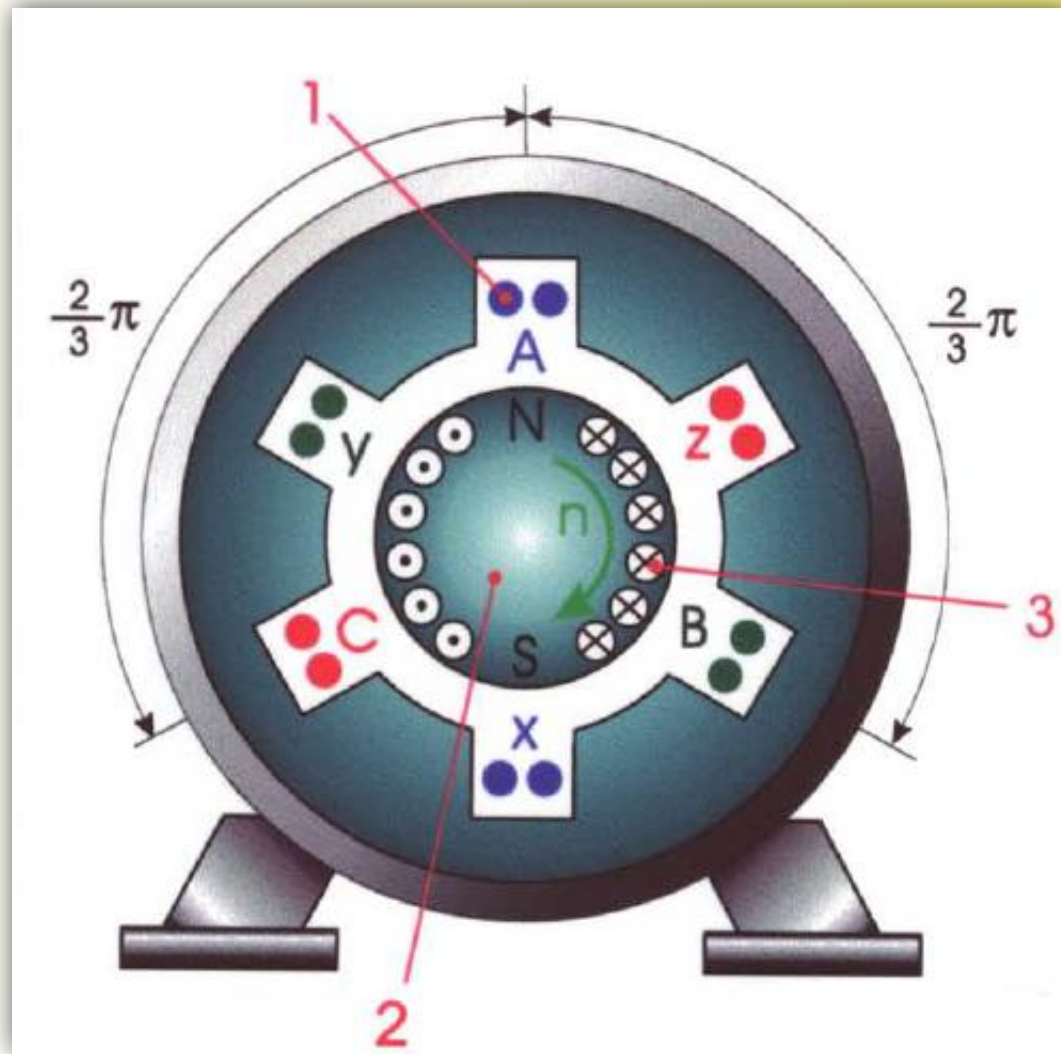
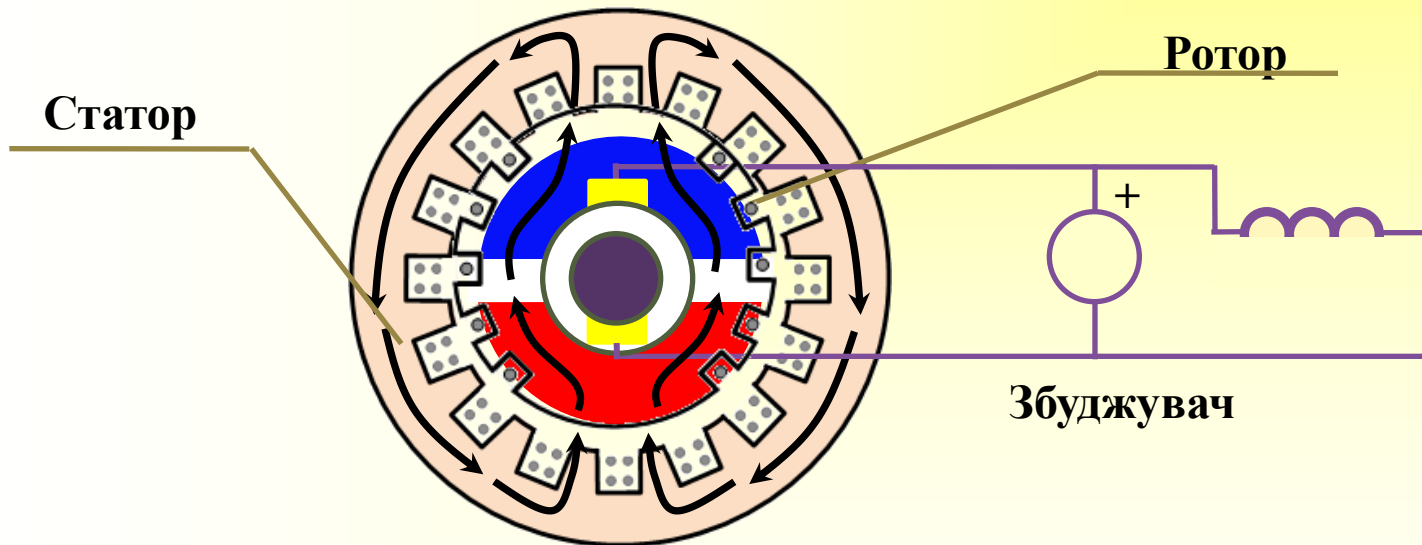


Рисунок 1 – Генератор змінного струму



## Принцип дії генератора змінного струму

Принцип дії генератора побудований на використанні явища електромагнітної індукції, яке було виявлено в 1831 р. англійським фізиком М. Фарадеєм.



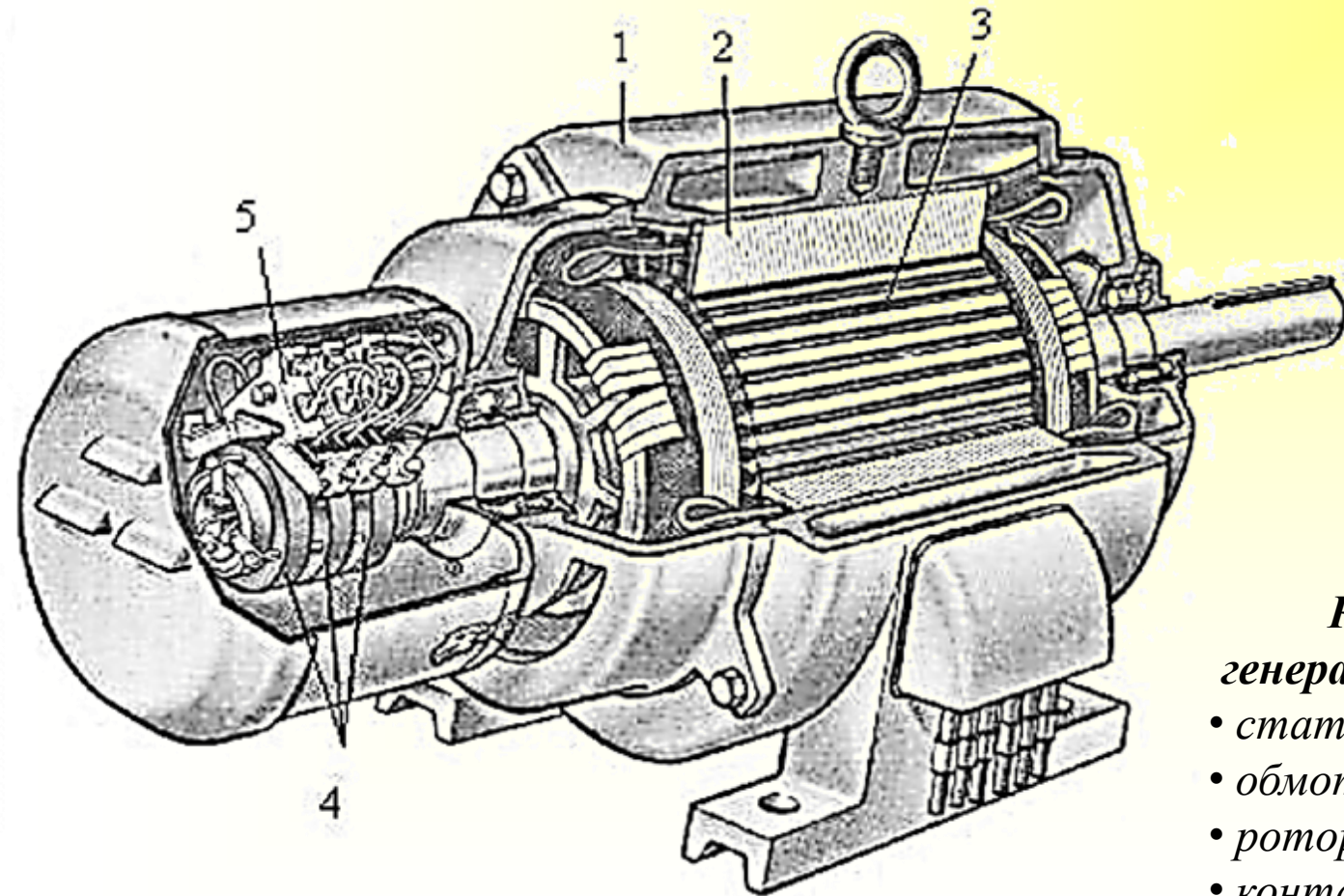
Суть явища полягає в тому, що *при всякій зміні магнітного потоку, який пронизує деякий контур, незалежно від того, чим викликана ця зміна потоку, у даному контурі наводиться електрорушійна сила.*

Фарадей, Майкл (англ. Michael Faraday; 1791 - 1867) - англійський фізик-експериментатор і хімік.

## ***Будова генератора***

*Генератор складається із:*

- нерухомої частини – статора*
- рухомої частини – ротора*



***Рисунок 2 – Будова генератора змінного струму:***

- *статор (1),*
- *обмотка статора (2),*
- *ротор (3),*
- *контактні кільця (4),*
- *щітки (5).*



**Статор** має форму циліндра, сердечник якого зібраний із тонких (0.35..0,5мм) листів електротехнічної сталі ізольованих між собою лаком . В каналах, які зроблені вздовж циліндра статора, укладена обмотка статора з'єднана між собою певним чином.

**Ротор** синхронної машини являє собою електромагніт, обмотка якого живиться постійним струмом. Два кінця цієї обмотки виводяться на контактні кільця, що нерухомо укріплені на валу машини й обертаються разом з ротором.

Постійний струм підводиться до ротора машини зовні через нерухомі щітки, що ковзають по вказаним контактним кільцям.

## *Принцип дії генератора змінного струму*

*На роторі генератора розміщені електромагніти, їх обмотка називається обмоткою збудження генератора, яка з'єднується через контактні кільця і щітки з джерелом постійного струму (збудник).*

*Постійний магнітний потік, збуджений струмом ротора проходить через тіло ротора, повітряний зазор між статором і ротором і сердечником статора.*

*При обертанні ротора, магнітний потік пересікає обмотку статора і наводить в ній е.р.с.*

$$e = B l v$$

*де  $B$  – магнітна індукція в зазорі*

*$l$  - активна довжина провода*

*$v$  – швидкість переміщення магнітного поля*

Змінний струм представляє собою періодично змінний рух зарядів, (а з математичної точки зору проста періодична залежність будь-якої величини від часу є синусоїдальною залежністю).

Миттєве значення синусоїдального змінного струму виражається формулою

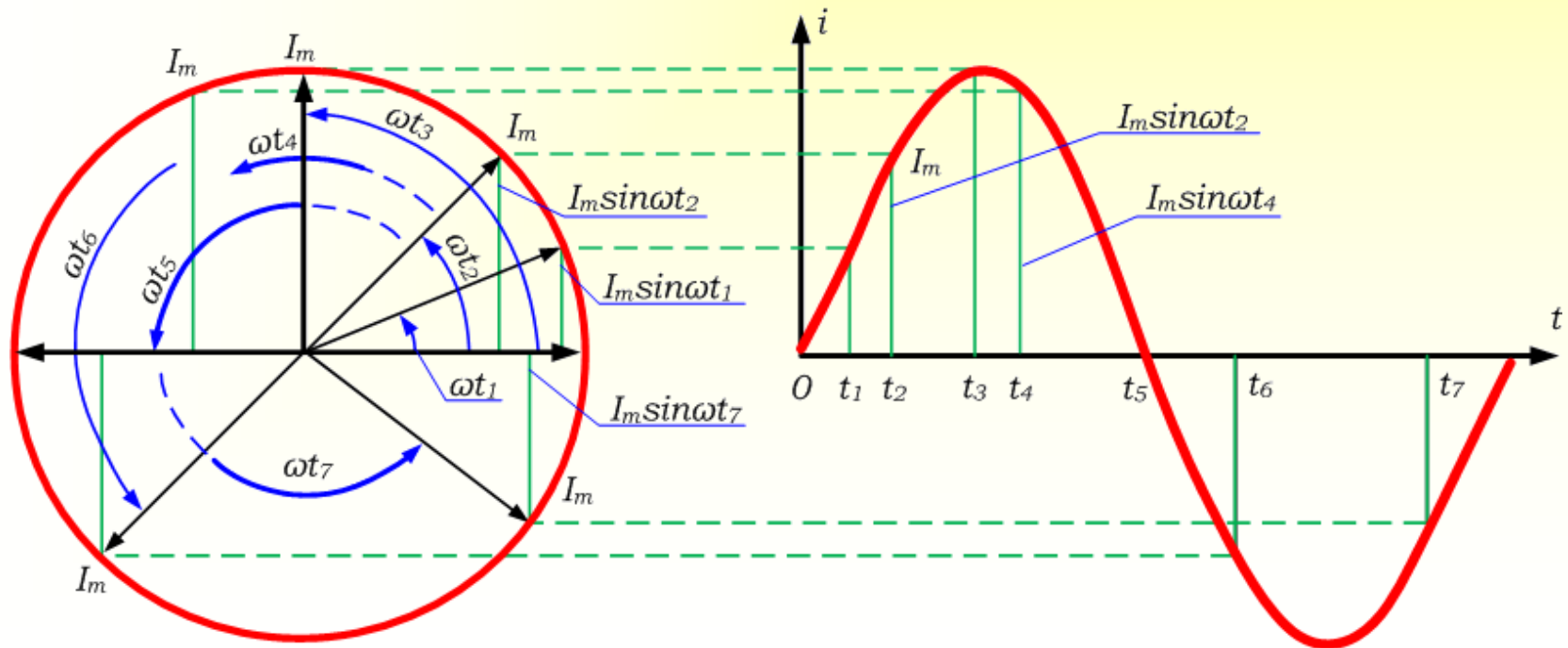
$$i = I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$$

де  $I_m$  - максимальне значення (амплітуда) струму

$\omega$  - кутова частота

$\varphi_0$  - початкова фаза

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



*2. Основні параметри, які  
характеризують  
змінний струм.*

*Основні параметри синусоїдного струму - період, частота і довжина хвилі .*

- **Періодом** - називається час, за який змінна величина (ЕРС, напруга, струм) здійснює повне коливання.

*Період позначається літерою **T** і вимірюється секундах (с).*

- **Частотою** змінного струму називається кількість періодів за одиницю часу (за секунду). Частота (**f**) вимірюється в герцах (**Гц**).

$$f = 1 / T$$



*Частота змінного струму стандартизується в електричній мережі всіма державами, оскільки електричні машини і трансформатори, апарати, реле, вимірювальні прилади, джерела світла, тощо **можуть працювати нормально тільки при частоті, на яку вони розраховані і яка обов'язково вказується в їх паспорті як одна з номінальних величин.***

*В Україні і більшості країн світу як стандартна є частота 50 Гц, в США і Канаді - 60 Гц. Змінні струми низької частоти (< 50Гц) викликають небажані для ока мигтіння ламп розжарювання.*

*Діапазон частот змінного струму, що застосовується в сучасній техніці, надзвичайно широкий - від десятків до мільярдів Гц:*

*- електрифікований транспорт в деяких країнах частково працює на змінному струмі зниженої частоти  $16 \frac{2}{3}$  Гц (Німеччина) і 25 Гц (США);*

*- підвищені частоти від 100 до 2000 Гц використовуються для живлення високошвидкісних електродвигунів (наприклад, в різних шліфувальних станках, музичному інструменті, інструменті деревообробки, тощо);*

*- індукційні термічні печі працюють з частотами від 500 до 106 Гц;*

*- високочастотні печі для приготування їжі (мікрохвильові печі) - з частотами до декількох мега герц ( $2 \div 3$  МГц),*

*- звукові і низькі частоти (від 300 до 5000 Гц) використовуються в телефонному зв'язку.*

*Частота змінного струму прямо пропорційна кількості пар полюсів і частоті обертання ротора генератора.*

$$f_{p=1} = p n / 60$$

*Зі зменшенням кількості полюсів, розміри і маса машини заданої потужності збільшуються.*

*Електромагнітні хвилі у вільному просторі поширюються зі швидкістю світла*

$$c = 300 \text{ тис.км/с}$$

***Довжина електромагнітної хвилі*** - це її шлях за один період:

$$\lambda = cT,$$

$$\lambda = c/f$$

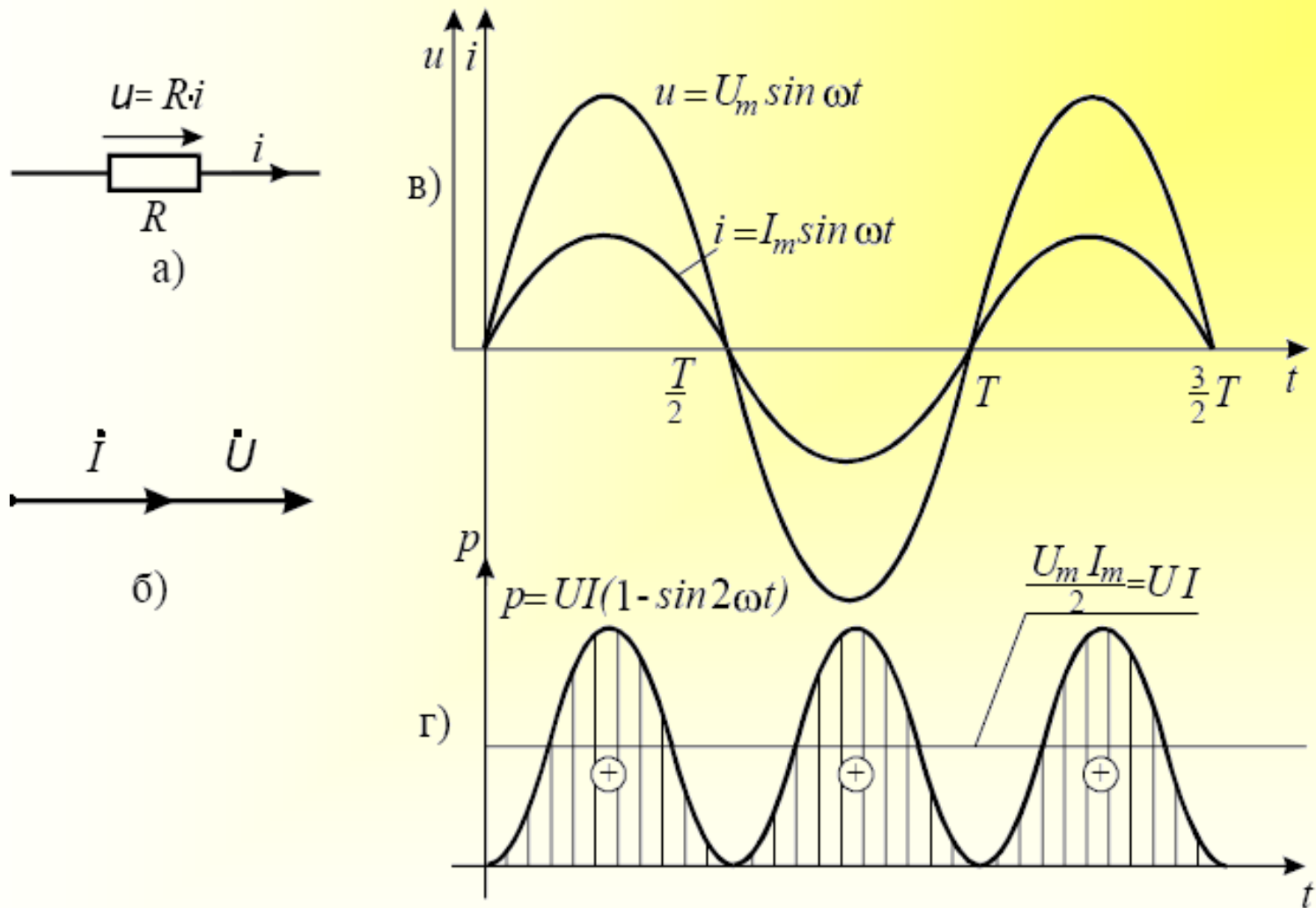
### *3. Активний опір у колі синусоїдного струму*

**Активним** (резисторним) опором володіють елементи кола, в яких **проходить процес перетворення електричної енергії в теплову.**

Умовно активний опір позначається  $R(r)$  на схемах у вигляді прямокутника.

До споживачів, які мають практично тільки активний опір відносяться лампи накаливання, резистори, реостати, нагрівальні прилади та інші.





**Рисунок 3 – Резистивний елемент**

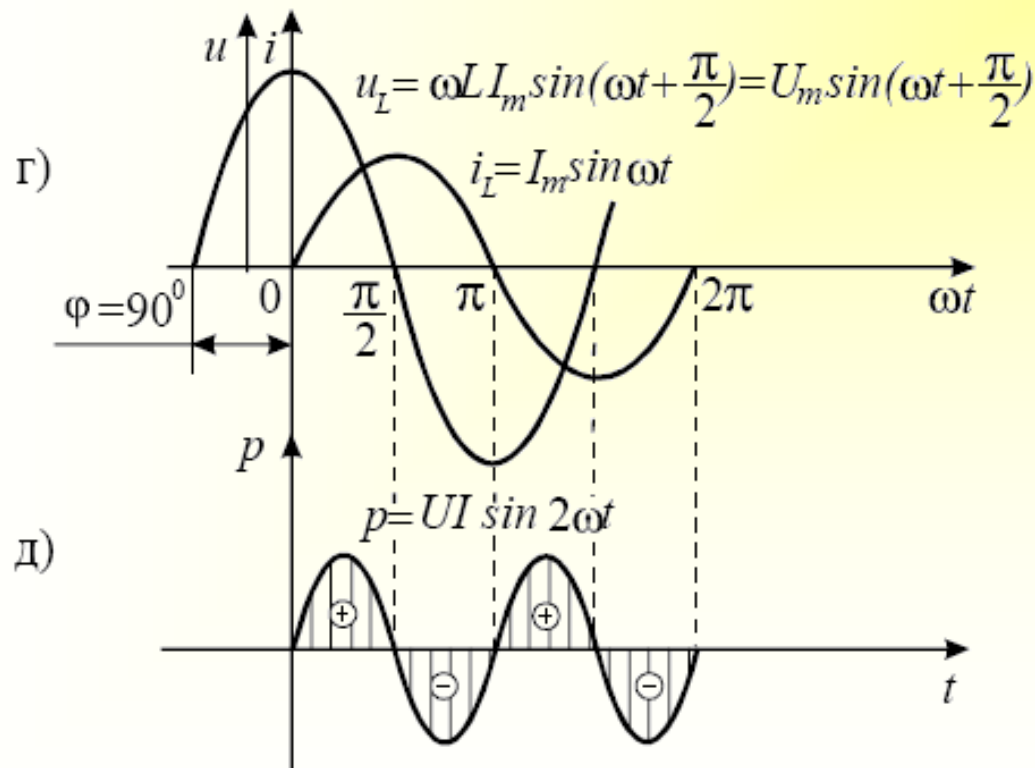
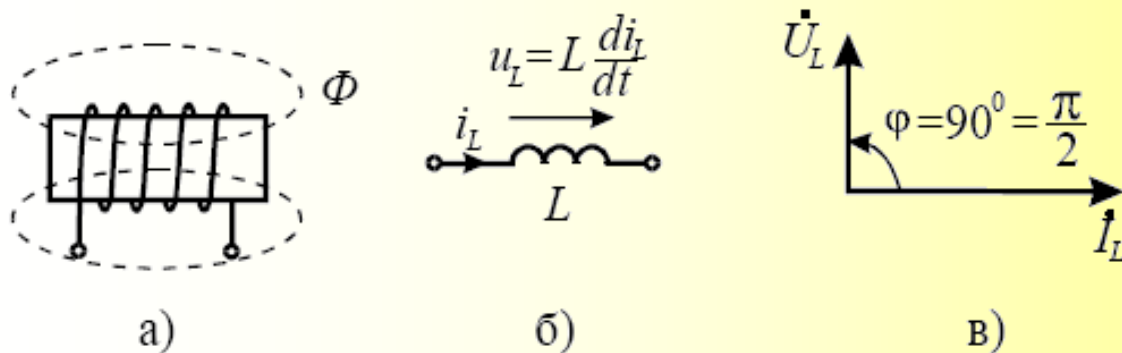
- а) зображення на схемі;  
 б) вектори струму й напруги;  
 в) графіки струму й напруги;  
 г) графік миттєвої потужності.

*Аналіз графіка потужності дозволяють зробити  
висновки:*

*1. При вмиканні резистора на синусоїдну напругу **струм і напруга співпадають за фазою.***

*2. Потужність у будь-який момент часу позитивна. Це значить, що в резисторі відбувається незворотнє перетворення електричної енергії в теплову та інші види енергії.*

*4. Індуктивність  
у колі змінного струму.*



**Рисунок 4 - Індуктивний елемент**

а) схема конструкції котушки індуктивності;  
 б) зображення індуктивного елемента на схемі;  
 в) вектори струму й напруги;  
 г) графіки струму й напруги;  
 д) графік миттєвої потужності.

*Аналіз графіка дозволяють зробити висновки:*

- 1. При вмиканні індуктивності на синусоїдну напругу струм у колі залишається синусоїдним і відстає від напруги на чверть періоду.*
- 2. Потужність періодично міняється за знаком: то позитивна, то від'ємна. Це значить, що протягом одних чверть періодів, коли  $P > 0$ , енергія накопичується в індуктивному елементі (у вигляді енергії магнітного поля), а протягом інших чверть періодів, коли  $P < 0$ , енергія вертається в електричне коло.*



**Індуктивність** – це елемент електричного кола з двома виводами, в якому відбувається запасання (накопичення) магнітної енергії (енергії магнітного поля), пов'язане з протіканням у колі електричного струму.

При цьому вважається, що в такому елементі відсутні втрати електричної енергії та запасання електричної енергії (енергії електричного поля).

При проходженні струму крізь індуктивний елемент (індуктивність) навколо останнього утворюється магнітне поле.

Кількісною мірою індуктивного елемента є індуктивність  $L$  і вимірюється у **Генрі**.

Графічно індуктивний елемент позначається як на рис. 1.13.

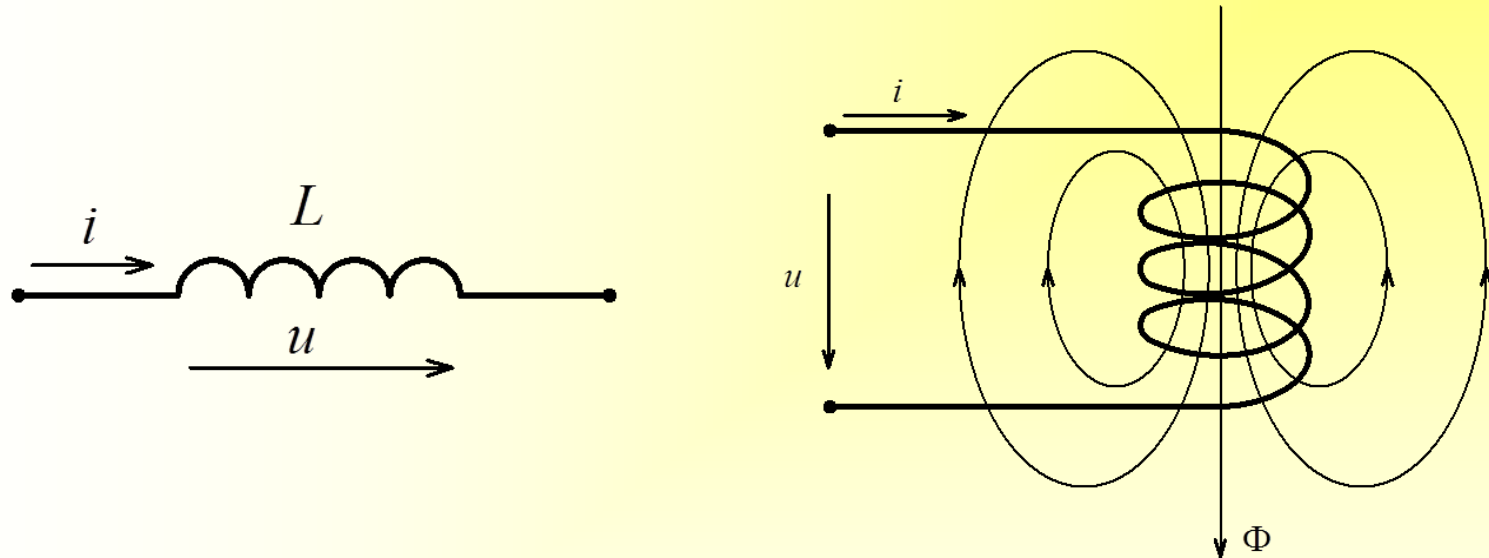


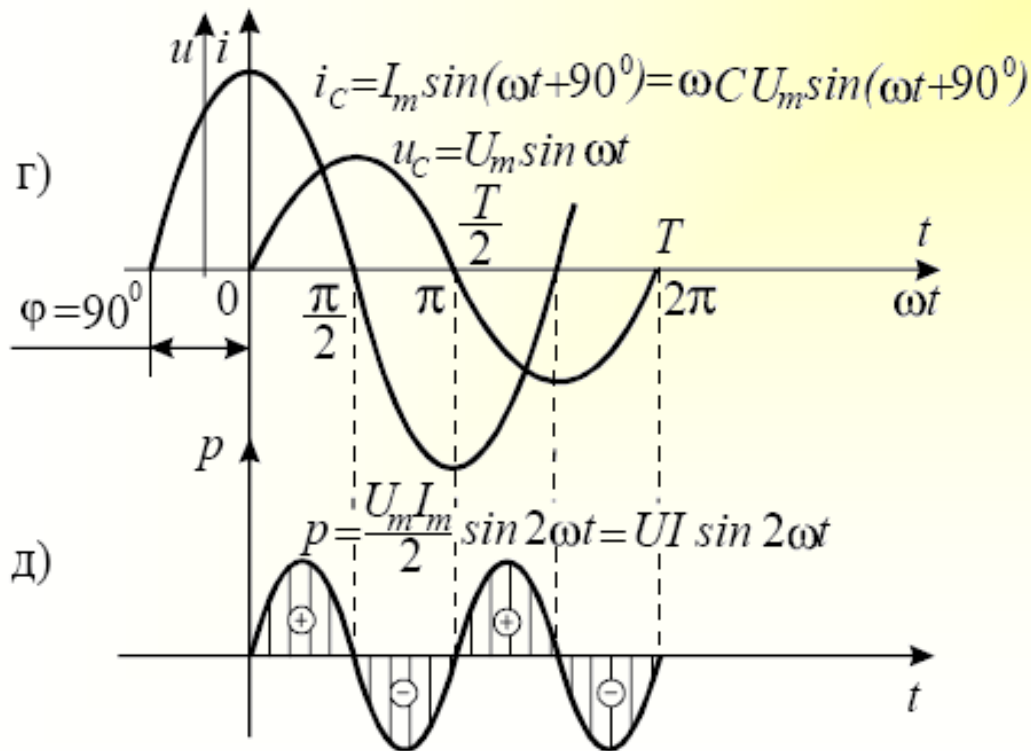
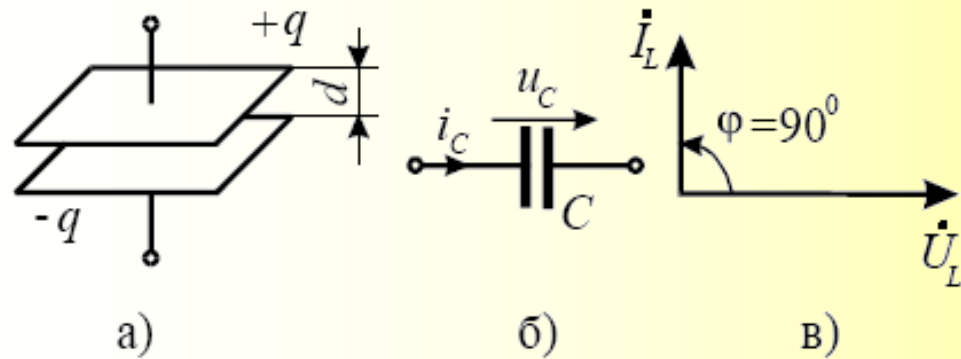
Рис. 5 - Графічне позначення індуктивного елемента і магнітного поля навколо нього

Одиниця названа на честь видатного американського фізика Джозефа Генрі (англ. *Joseph Henry*; 1797 - 1878), який відкрив явище самоіндукції в електромагнетизмі.

А.Мрачковський, кафедра  
електротехніки, електромеханіки та  
електротехнологій НУБіП України

*5. Ємність  
у колі синусоїдного струму*

$$W_m = U^2 \cdot C = \frac{C \cdot U_m^2}{2}.$$



**Рисунок 6 - Ємнісний елемент**

- а) схема конструкції плоского конденсатора;
- б) зображення емнісного елемента на схемі;
- в) вектори струму й напруги на емнісному елементі;
- г) графіки миттєвих значень струму й напруги;
- д) графік миттєвої потужності.

*Аналіз графіка дозволяє зробити висновки:*

*1. При вмиканні ємності на синусоїдну напругу у колі встановлюється синусоїдний **струм, що випереджає напругу на чверть періоду.***

*2. Потужність періодично міняється за знаком: то позитивна, то від'ємна. Це значить, що протягом одних **чверть періодів, коли  $P > 0$ , енергія накопичується у вигляді енергії електричного поля, а протягом інших чверть періодів, коли  $P < 0$ , енергія вертається в електричне коло.***

**Ємнісність** – це елемент електричного кола з двома виводами, в якому відбувається запасання (накопичення) електричної енергії (енергії електричного поля), пов'язане з протіканням в електричному колі електричного струму.

При цьому вважається, що в такому елементі відсутні втрати електричної енергії та не відбувається запасання магнітної енергії (енергії магнітного поля).



Кількісною мірою ємнісного елемента є ємність  $C$ , яка вимірюється у **Фарадах**.

Графічно ємнісний елемент позначається як на рис. 1.15.

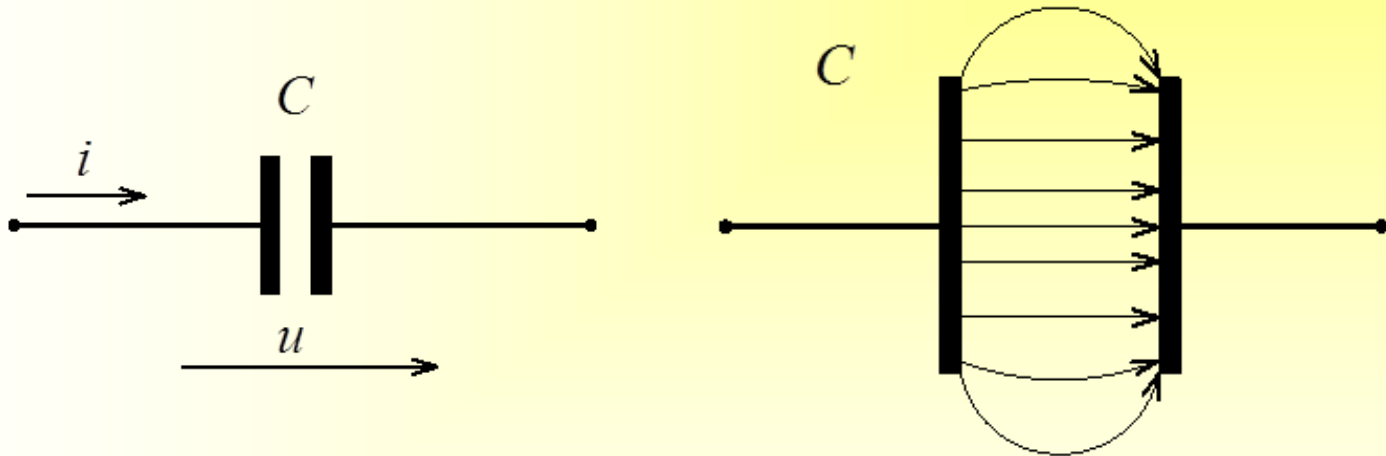


Рис. 7 - Графічне позначення ємнісного елемента і електричного поля між обкладинками ємнісного елемента

Одиниця названа на честь видатного англійського фізика Майкла Фарадея (англ. *Michael Faraday* 1791 - 1867).

*Що там  
попереду?*



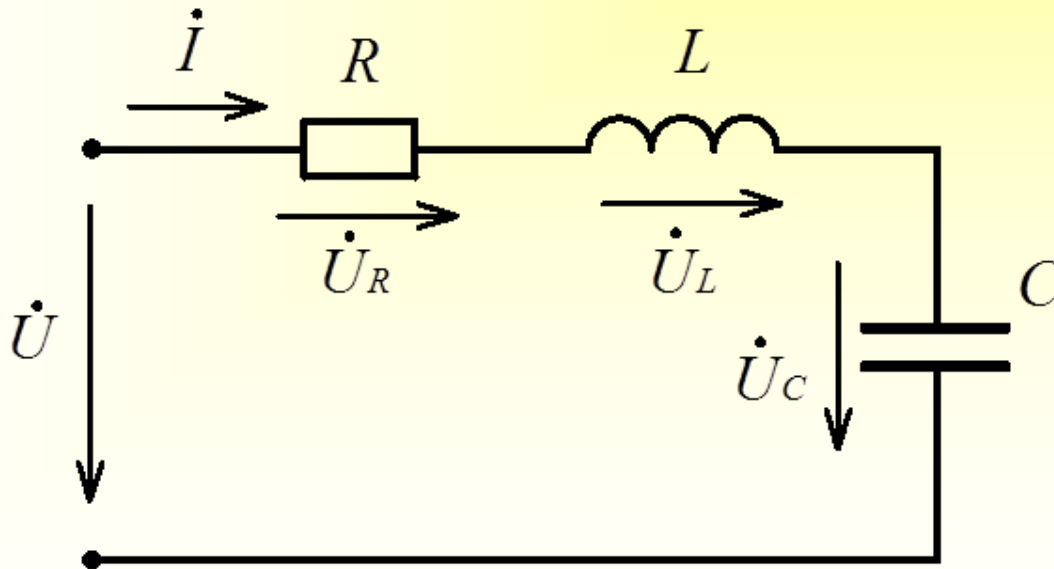
# *6. Резонанс напруги*

*Резонанс напруги спостерігається у вітці електричного кола, де послідовно з'єднанні індуктивність та ємність. Послідовно з вказаними елементами може бути включений і резистивний елемент (рис.7), який визначає втрати на відповідній ділянці електричного кола.*

*Резонанс напруги часто називають послідовним резонансом, відповідно до виду з'єднання (виду ділянки електричного кола), в якому такий резонанс проявляється.*

*Умовою резонансу напруги у вітці електричного кола з послідовним з'єднанням **R, L, C** елементів є однаковість напруги на індуктивному й ємнісному елементах, тобто умова:*

$$U_{Lm} = U_{Cm}$$



*Рис. 7 - Електричне коло до ілюстрації резонансу напруг*

В колі при послідовному з'єднанні активного  $R$ , індуктивного  $X_L$  і ємнісного  $X_C$  опорів можливі три режими:

1)  $X_L > X_C$  у цьому випадку індуктивна напруга  $U_L$  більша ємнісної  $U_C$ .

Струм  $I$  в колі відстає від підведеної напруги  $U$  на деякий кут, який менше  $90^\circ$ .

2)  $X_L = X_C$ . У цьому випадку індуктивна та ємнісна напруга рівні. Струм має максимальне значення, оскільки обмежується тільки активним опором кола. Напруга на батареї конденсаторів  $U_C$  та на котушці  $U_L$  може досягати значень, що значно перевищують підведену до кола напругу  $U$ . Дане явище називається **резонансом напруги**.

Умовами виникнення резонансу напруги є рівність індуктивного і ємнісного опорів:  $X_L = X_C$  при наявності джерела змінної напруги постійної частоти та послідовному з'єднанні котушки та конденсатора.

3)  $X_L < X_C$  У цьому випадку індуктивна напруга  $U_L$  менша ємнісної  $U_C$ . Струм в колі випереджає за фазою прикладену напругу на деякий кут більший  $90^\circ$ .



## *6. Резонанс струмів*

Явище *резонансу струмів* проявляється в електричних колах де *індуктивність та ємність включені паралельно*. Такий резонанс іноді називають *паралельним резонансом*.

Резонанс струмів відбувається в електричних колах з паралельним з'єднанням індуктивності та ємності за умови, що провідність цих елементів однакова.

Умовою резонансу струму у вітці електричного кола з паралельним з'єднанням  $R, L, C$  елементів є *однаковість струмів на індуктивному 'ємнісному елементах*, тобто умова:  $I_L = I_C$ .

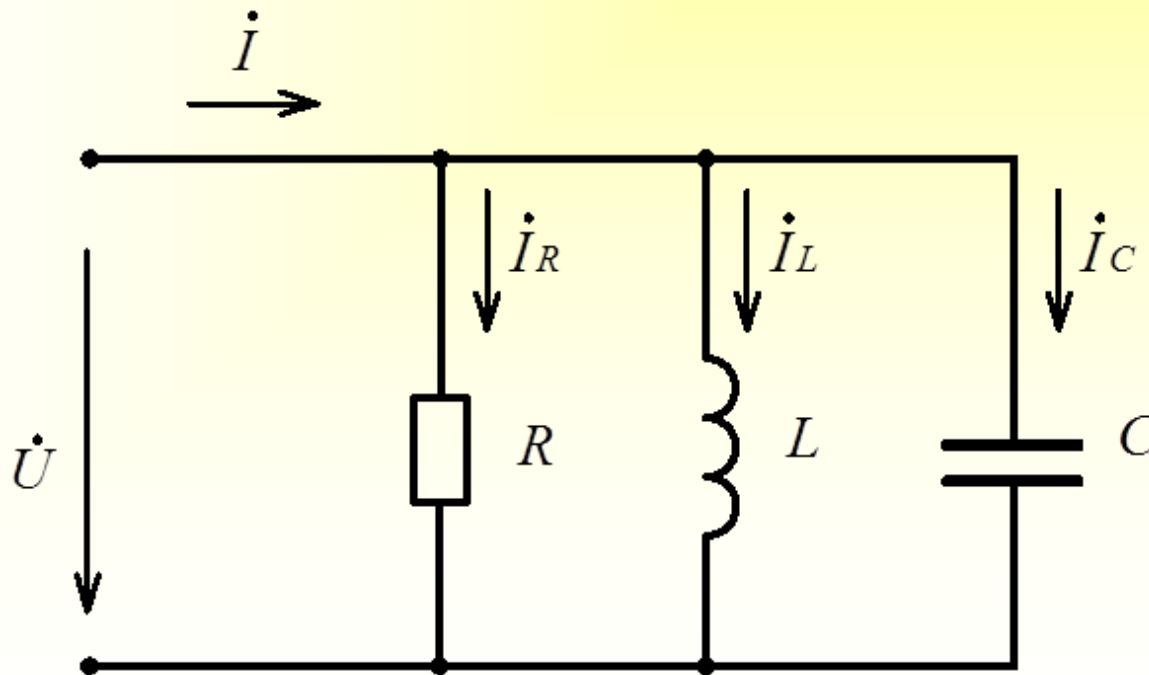


Рис. 9 – Схема електричного кола до ілюстрації резонансу струмів.

У колі при паралельному з'єднанні активного  $R$ , індуктивного  $XL$  і ємнісного  $XC$  опорів можливі три режими:

- 1) Режим, при якому загальний струм відстає за фазою від напруги при  $I_L > I_C$  називають **недокомпенсацією**.
- 2) Режим, при якому загальний струм випереджає напругу при  $I_L < I_C$  називають **перекомпенсацією**.
- 3) Режим повної компенсації спостерігається при  $I_L = I_C$ , при цьому струм та напруга співпадають за фазою.

В останньому випадку в колі спостерігається **явище резонансу струмів**, при якому загальний струм має найменше значення – він дорівнює активній складовій струму кола, тобто  $I = I_R$ . Струми в окремих вітках при цьому, як правило, в декілька разів перевищують загальний струм.



**Час  
підкріпитись  
😊**