

## **Змінний струм**

**Змінним** називається струм, зміна якого за величиною і напрямком повторюється періодично через рівні проміжки часу.

В перших електротехнічних установках використовували тільки постійний електричний струм. Втім виянилось, що набагато вигідніше використовувати змінний струм, струм який періодично змінює свій напрям та значення.

Змінний струм простіше виробляти на електростанціях. Генератори змінного струму простіші та дешевші аніж генератори постійного струму.

Передавати струм по проводам вигідніше при високій напрузі.

Змінювати напругу змінного струму дуже просто, для цього потрібен трансформатор. З постійним струмом зробити це набагато складніше.

Широкого застосування набули електродвигуни змінного струму які широко використовують в промисловості. Дуже багато технологічних процесів базуються на змінному струмі.

На електростанціях для споживачів виробляється змінний струм, а не постійний.

Освітлювальна електрична мережа, силова електрична мережа живиться змінним струмом.

## **Спосіб отримання змінного струму**

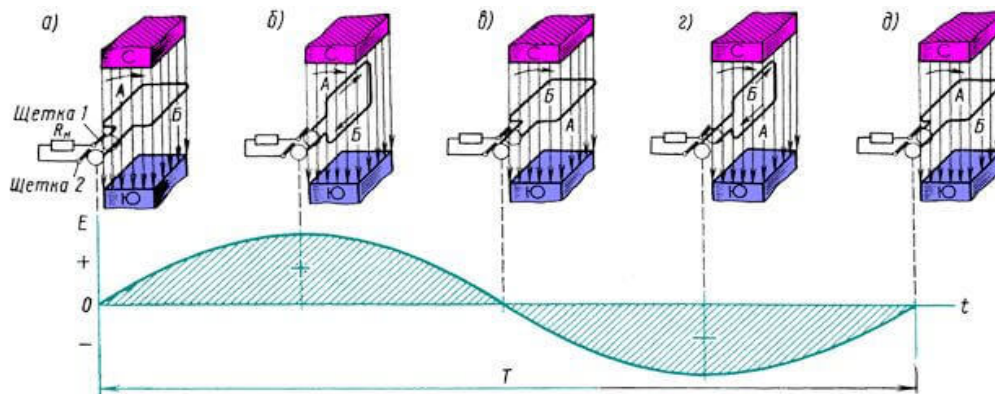
Для перетворення механічної енергії в електричну, необхідно енергію руху перетворити в електричний струм.

Електричний струм збуджується шляхом електромагнітної індукції.

Явище виникнення електричного струму в провіднику, який пересікає магнітні лінії називається електромагнітною індукцією, а струм що виник, індукційним струмом. Індукційний струм представляє собою теж саме що і упорядкований рух електронів. Назва індукційний струм вказує тільки на причину його виникнення.

Припустимо у нас є рамка з провідного матеріалу. Помістимо її в магнітне поле. Якщо рамку почати обертати, то через неї потече електричний струм. При рівномірному обертанні на кінцях цієї рамки вийде змінний синусоїдальний струм.

Рис. 1.



Це пов'язано з тим, що в залежності від положення по осі обертання рамки пронизує різне число силових ліній. Відповідно і величина ЕРС наводиться не рівномірно, а згідно з положенням рамки, як і знак цієї величини. Це можна побачити графіку вище. При обертанні рамки в магнітному полі від швидкості обертання залежить як частота змінного струму, так і величина ЕРС на виводах рамки. Щоб досягти певної величини ЕРС при фіксованій частоті - роблять більше витків. Таким чином виходить не рамка, а котушка.

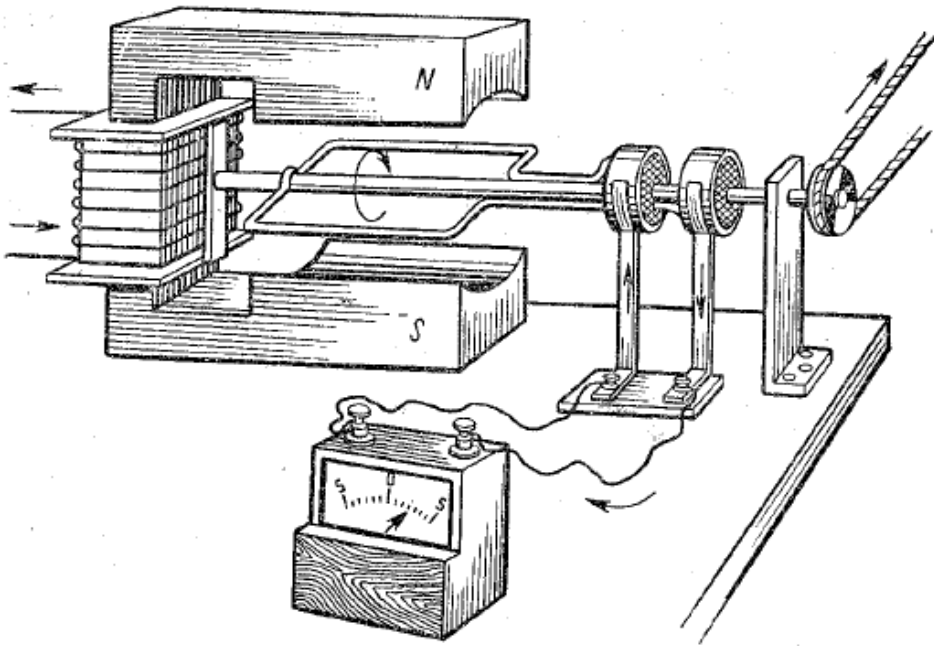
Нижче на Рис. 2 показано найпростіший прилад для отримання змінного струму.

По котушці проходить постійний струм, а отже і магнітне поле також буде постійним. Стальний сердечник надає магнітним лініям бажану форму між полюсами отримуємо приблизно однорідне поле. В цьому полі рівномірно обертається прямокутна рамка. Кінці рамки з'єднані за допомогою контакту що ковзає з вольтметром.

Магнітний потік який створюється котушкою є постійним, но та його частина яка з'єднана з рамкою буде неоднакова в різні моменти часу.

Зміна величини магнітного потоку, що пересікає виток, відбувається безперервно, хоча потік, який створюється електромагнітом, залишається незмінним. Відповідно в рамці буде наводитись ЕРС.

Рис. 2.



Тепер детальніше розглянемо, як буде виникати в рамці індукційна ЕРС. Будемо вважати що рамка обертається в однорідному магнітному полі. Магнітний потік через рамку  $\Phi$  це магнітна індукція поля на площу рамки та на синус кута  $\varphi$  між площиною рамки і напрямом поля:

$$\Phi = BS \sin \varphi.$$

$B$  - магнітна індукція

$S$  - площа рамки

$\varphi$  - синус кута між площиною рамки і напрямом поля:

Якщо рамка обертається рівномірно і здійснює повний оберт за час  $T$ , то за одиницю часу обертається на кут  $2\pi/T$ . Якщо час відраховувати від моменту коли рамка стояла паралельно лініям поля, то значення кута  $\varphi$  в деякий момент часу  $t$  буде дорівнювати

$\varphi = (2\pi/T)t$ . Позначивши частоту обертання рамки, буквою  $f$ , тобто число обертів за одиницю часу, а кутову швидкість буквою  $\omega$ , то можна записати:

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

Отже

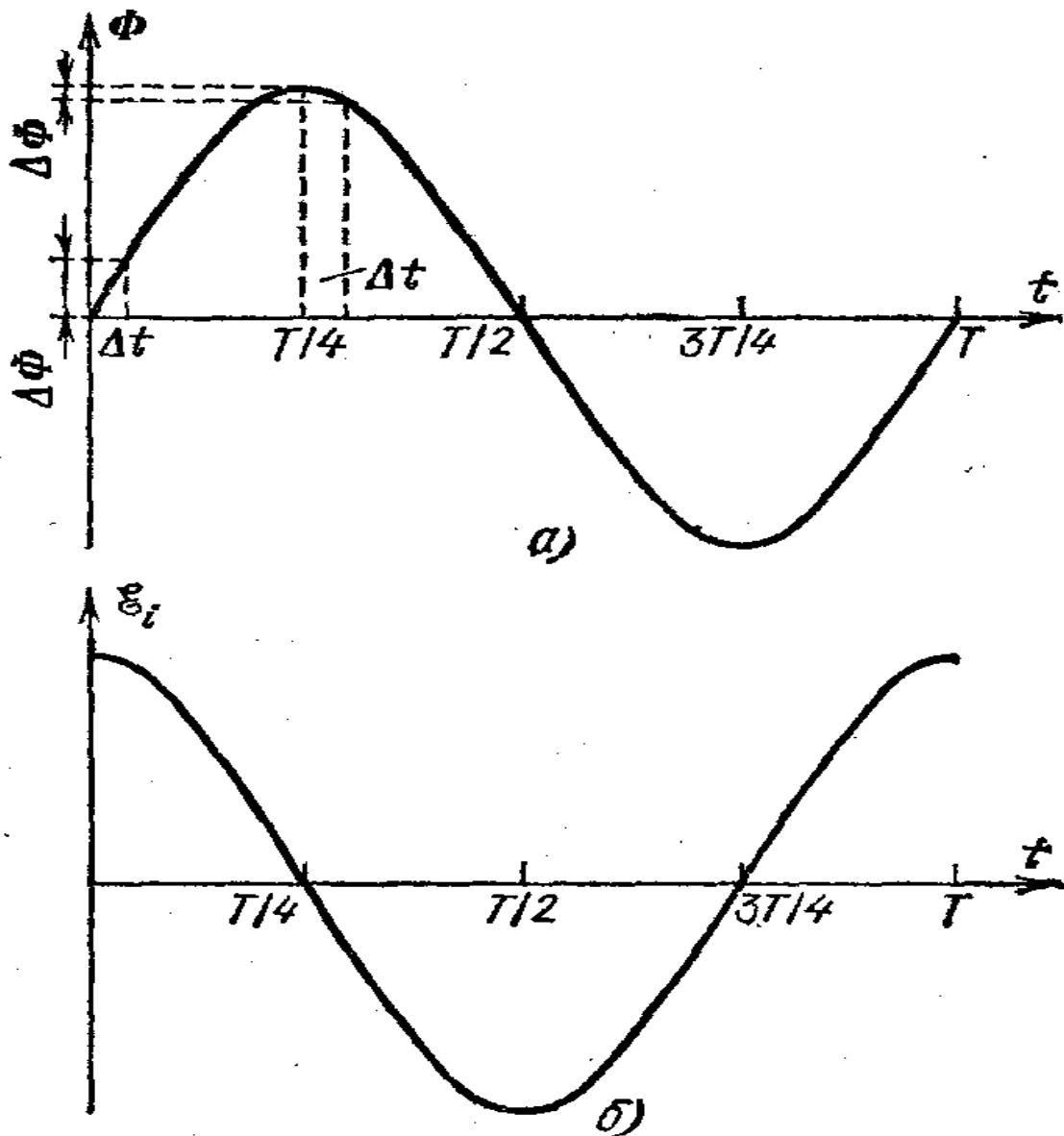
$$\varphi = \omega t;$$

Підставимо цей вираз у формулу магнітного потоку, то побачимо, що закон його зміни з часом має вид:

$$\Phi = BS \sin \omega t.$$

Графік, який зображує залежність магнітного потоку через рамку від часу являє собою синусоїду.

Рис. 3.



Графік зміни з плином часу моментальних значень:  
 а) магнітного потоку  $\Phi$ ;  
 б) індукційної ЕРС  $\varepsilon_i$

Рис. 3. а.

Магнітний потік змінює свій знак два рази за кожний оберт, обертаючись в нуль тоді коли рамка паралельна полю і набуває максимальних значень в моменти коли вона перпендикулярна полю. ЕРС в рамці визначається не значенням самого магнітного потоку, а швидкістю його зміни тобто величиною  $\Delta \Phi / \Delta t$ . Величина не залишається постійною, а змінюється при обертанні рамки.

На Рис. 3. а. показано зміну магнітного потоку  $\Delta \Phi$  за однакові пороміжки часу  $\Delta t$  для моменту  $t=0$ , коли  $\Phi=0$ , і для моменту  $t=T/4$ , коли  $\Phi$  має максимальне значення. Перше значення  $\Delta \Phi$  набагато більше другого, отже моментальне значення індукованої ЕРС в момент  $\Delta t=0$  має максимальне значення, а по мірі обертання зменшується

та досягає нульового значення до моменту  $T/4$ .

При подальшому повороті рамки ЕРС змінює свій знак. Індукована ЕРС завжди направлена так щоб магнітне поле що створюється її струмом гальмувало процес, що викликається індукцією. Тому в першій чверті періоду, коли магнітний потік через рамку виростає, поле індукційного струму повинно послаблювати зовнішнє поле, а в наступній чверті підсилювати це поле. Звідси виходить, що в моменти проходження ЕРС через нуль повинно виникати зміна знака.

Рис. 3. б.

Графічно показана залежність моментальних значень індукованої ЕРС від часу. Можна показати що ця крива як і графік магнітного потоку, становить собою синусоїду, тільки зміщену на півперіод стосовно синусоїди, що зображує зміну магнітного потоку.

Для моменту  $\Delta t$  потік  $\Phi = BS \sin \omega t$ , для моменту  $t + \Delta t$  потік  $\Phi' = BS \sin \omega(t + \Delta t)$ . За  $\Delta t$  зміною потоку

$$\Delta \Phi = \Phi' - \Phi = BS[\sin \omega(t + \Delta t) - \sin \omega t]$$

З теоремою тригонометрії цей вираз можна представити в вигляді

$$\Delta \Phi = 2BS \cos \left[ \omega \left( t + \frac{\Delta t}{2} \right) \right] \sin \frac{\omega \Delta t}{2}.$$

Якщо  $\Delta t$  дуже мале, то  $\sin(\omega \Delta t/2) = \omega \Delta t/2$ , а  $\cos [\omega(t + \Delta t/2)] = \cos \omega t$ .

Зміна потоку за малий час  $\Delta t$

$$\Delta \Phi = BS \omega \cos \omega t \cdot \Delta t$$

Отже ЕРС рівна -  $\Delta \Phi / \Delta t$ ,

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - BS \omega \cos \omega t = BS \omega \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

Тобто виражається синусоїдою такої ж частоти но зсунутої на  $\pi/2$ .

По такому ж закону змінюється значення напруги  $u$  на затискачах машині або між двома будь-якими точками мережі.

Графіки зміни цієї величини мають такий же вид як і наведені графіки індукованої ЕРС. Такого роду криві відтворюють форму змінної напруги. Струм що виник під впливом змінної напруги, також буде змінним і форма його буде подібна формі напруги. Закон зміни моментальних цих величин з часом виражається формулами

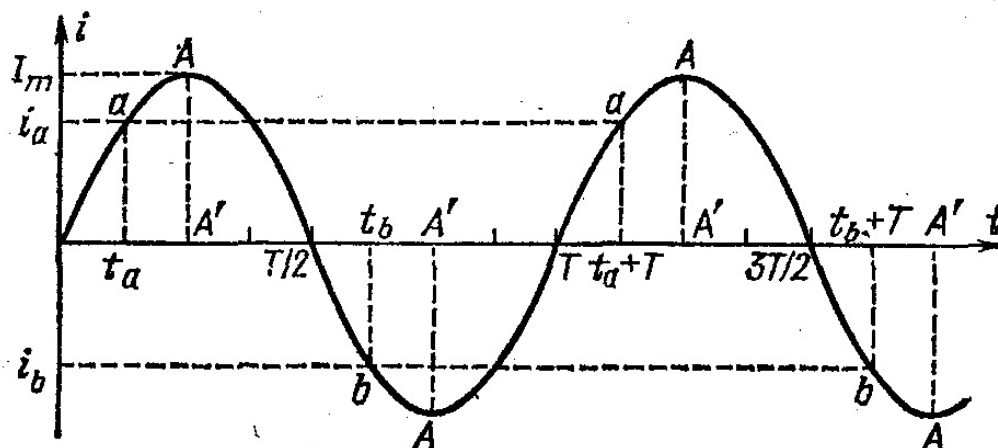
$$u = U_m \sin \omega t, \quad i = I_m \sin \omega t$$

$U_m$  та  $I_m$  позначають максимальні значення напруги та струму.

### Амплітуда, частота і фаза синусоїдального змінного струму і напруги.

Розглянемо криву, що зображує залежність моментальних значень технічного змінного струму (або напруги) від часу.

Рис. 4.



Залежність сили змінного струму від часу

Струм (або напруга) змінюється періодично, тобто кожен моментальне значення цих величин повторюється через один і той же проміжок часу, наприклад значення точки  $a$  (або  $b$ ). Сила струму (напруга) пробігає за цей проміжок часу всі можливі значення і повертається до початкового тобто здійснює повне коливання. Проміжок часу при якому сила струму (або напруга) здійснює повне коливання і приймає початкове значення називається **періодом змінного струму**. Для європейських країн та більшості інших  $T=1/50$  с, а так як напрямлення струму змінюється два рази впродовж кожного періоду, то технічний струм змінює своє напрямлення 100 разів в секунду.

Максимальне значення яке може мати змінний струм в тому чи іншому напрямку називається **амплітудою** цієї величини.

На Рис.4 амплітуда зображена AA', амплітуду струмів і напруг позначають  $U_m$  та  $I_m$ , а їх моментальні значення  $i$  та  $u$ . Число повних коливань синусоїдального струму чи напруги за одиницю часу називають **частотою (f)**, відповідної величини.

$$f = \frac{1}{T}; \quad T = \frac{1}{f};$$

За одиницю частоти приймають частоту, яка рівна одному коливанню за секунду. Цю одиницю називають **герц (Гц)**. В честь німецького фізика Генріха Герца.

Таким чином, технічний змінний струм має частоту 50 Гц.

Замість частоти  $f$  також вводять величину  $\omega = 2\pi = \frac{2\pi}{T}$ , яку називають циклічною або круговою частотою струму (або напруги). Вона представляє собою число повних коливань данної величини за  $2\pi$  секунд.

Поки що ми маємо справу з одним синусоїдальним змінним струмом (напругою), частота і амплітуда є повними характеристиками цих величин, тому що ми можемо вибирати випадково початковий момент відліку часу.

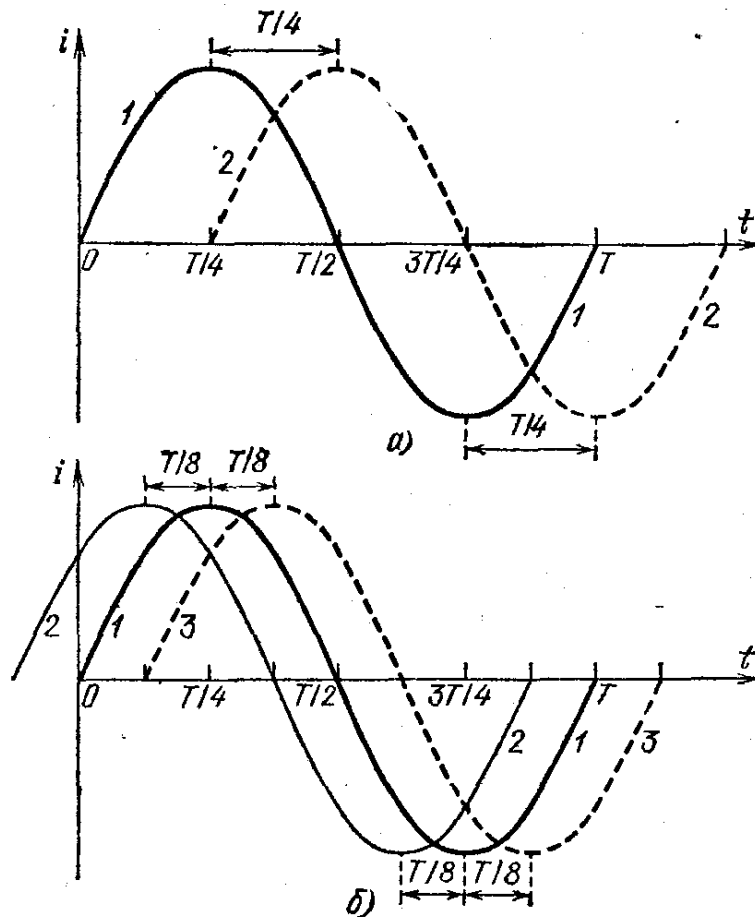
Втім коли необхідно зіставляти величини такого роду одна з одною або декілька, необхідно враховувати той факт, що вони можуть досягати максимального значення не в один і той же момент часу.

Дві криві на Рис.5 а зображують форму двох синусоїдальних струмів з однієї й тієї ж частоти й амплітуди, втім криві зміщені по осі абсцис (ось часу) на відрізок, який рівний четверті періоду.

Початкова точка відліку часу обрана так, що для першої кривої нульові значення досягаються в моменти 0,  $T/2$ ,  $T$ ,  $3T/2$ , а амплітудні в моменти  $T/4$ ,  $3T/4$ ,  $5T/4$ .... Друга крива проходить через нульові значення в моменти  $T/4$ ,  $3T/4$ ,  $5T/4$ ..., а через амплітудні в моменти  $T/2$ ,  $T$ ,  $3T/2$ ,...

В подібних випадках кажуть що ці два струми зсунуті один відносно другого по фазі, або між ними існує деякий зсув фаз (або різниця фаз), що рівна в даний момент періоду. Оскільки, крива 1 проходить через амплітудне значення так же як і через будь яке інше існуюче значення, раніше ніж крива 2, то кажуть що вона випереджає криву 2 по фазі, або крива 2 відстає по фазі від кривої 1.





Графічне зображення змінних струмів однакової частоти і амплітуди, з зсувом по фазі:  
 а) два синусоїдальних струми, зсувом по фазі на чверть періода;  
 б) струми, що зображені кривими 2 і 3 зсувом по фазі відносно кривої 1 на одну восьму частину періода.

## Сила змінного струму

Моментальні значення змінного струму весь час змінюються то коливаються між нулем і максимальним значенням. Втім ми характеризуємо силу змінного струму як і постійного - **ампером**. Що значить вираз сила змінного струму? Можна було б характеризувати силу змінного струму його амплітудою, але це не зручно, адже буде важко зробити прилад який буде вимірювати амплітуду струму. Простіше використовувати щось, що не буде залежати від напрямку струму. Такою властивістю струму є нагрівати провідник по якому він проходить.

Змінний струм який проходить по деякому провіднику з опором  $R$ . Впродовж секунди змінний струм виділяє в провіднику деяку кількість теплоти  $Q$ . Допустимо що через той же провідник пропустимо постійний струм і підберемо його силу так щоб він

виділяв таку ж кількість тепла  $Q$ . По своїй дії обидва струми рівні тому що сила постійного струму характеризує дію змінного струму, яке позначають через  $I$ .

Сила струму що виділяє в провіднику таку ж кількість тепла, як і даний змінний струм називається діючим значенням змінного струму.

Замінивши значення сили постійного струму діючим значенням змінного струму то можна вирахувати кількість теплоти, яка виділяється змінним струмом в провіднику

$$Q = I^2 R t.$$

В формулі  $I$  позначають діюче значення змінного струму. Якщо змінний струм дорівнює наприклад  $2A$ , то теплова дія цього струму така ж як і теплова дія постійного струму сили  $2A$ .

У випадку синусоїдного струму діюче значення струму дуже просто зв'язано з амплітудою цього струму.

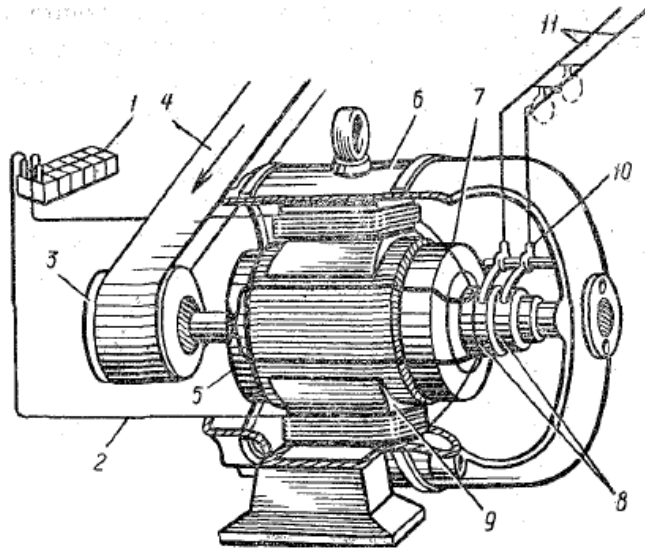
$$I = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot I_m \approx 0,707 \cdot I_m$$

Таким чином вимірявши діюче значення змінного синусоїдного струму можна вчислити його амплітуду.

### **Генератор змінного струму**

Принцип будови генераторів змінного струму нічим не змінився від приладу що був розглянутий вище.

Будова генератора змінного струму:



Будова генератора змінного струму

1 - акумуляторна батарея; 2 - постійний струм для живлення електромагнітів 3 - шків; 4 - пасова передача; 5 - обмотка; 6 - статор; 7 - ротор; 8 - контактні кільця; 9 - електромагніт; 10 - щітки 11 - до споживача.

На круглий сталевий циліндр, що називається **ротором**, намотується обмотка, що складається з декількох послідовно з'єднаних витків. Ротор з'єднаний за допомогою якого-небудь привода, наприклад пасової передачі з двигуном. Двигун обертає ротор між полюсами електромагніту. Обмотки електромагніту живляться від незалежного джерела живлення, наприклад акумуляторів. Кінці роторної обмотки приєднані до обертових кілець, що закріплені на валу ротора. На нерухомій частині яка зветься **статором**, закріплені контактні щітки, які ковзають уздовж обертових кілець та підключені до лінії передачі, що з'єднує генератор зі споживачем електроенергії.

В сучасних генераторах обмотка зазвичай розміщується на статорі, магніт на валу ротора. Бо в сучасних генераторах обмотка не обертається то і немає необхідності в ковзаючих контактах для під'єднання навантаження. Це значно спрощує їх експлуатацію. Якщо ж електромагнітне поле створюється не постійним магнітом, а електромагнітом ковзаючі контакти все одно залишаються. Но по ньому протікає струм електромагніту, який зазвичай значно менший ніж струм в обмотці й робота контактів полегшується.

Джерело: <https://corelamps.com/zahalne/zminnyi-strum/>