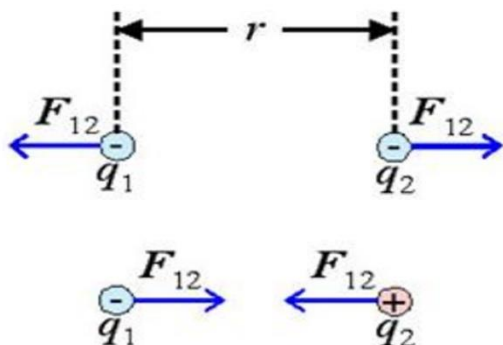


Електричне поле існує навколо нерухомого електричного заряду

## Закон Кулона



$$F_e = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_a r^2}, \text{ Н}$$

$$\epsilon_a = \epsilon_0 \epsilon_r, \text{ Ф/м}$$

$\epsilon_a$  — абсолютна діелектрична проникність;

$\epsilon_0$  — діелектрична проникність вакууму  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ ;

$\epsilon_r$  — відносна діелектрична проникність (повітря —  $\epsilon_r = 1$ , парафіну —  $\epsilon_r = 2$ , гуми —  $\epsilon_r = 3,5$ ).

## Напруженість електричного поля $E$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}, \text{ В/м}$$

**Напруженість** - це сила, яка діє на одиничний позитивний заряд у даній точці поля.

**Електричний потенціал  $\Phi$**  - це робота по перенесенню одиничного позитивного електричного заряду з даної точки поля на нескінченно велику відстань

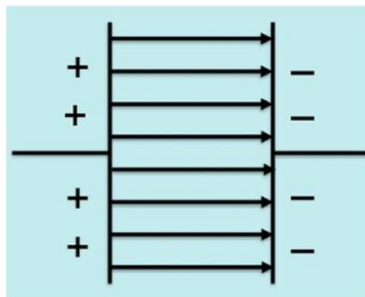
$$\Phi = \frac{A}{Q}, \text{ В}$$

Потенціал Землі = 0

$(+ Q) > 0 > (- Q)$

**Електрична напруга** - це різниця потенціалів двох точок електричного поля

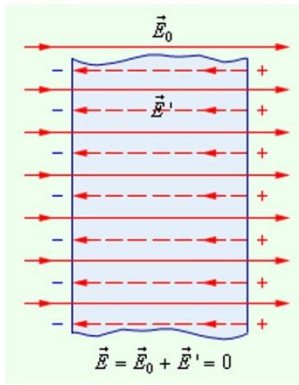
$$U = \Phi_A - \Phi_B, \text{ В}$$



Однорідне поле - в усіх точках  $E$  однакова за величиною і напрямом.

Електричне поле застосовують в: електрофільтрах, електросепараторах, електронно-променевих трубках.

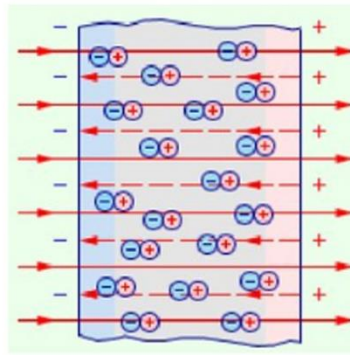
# Провідники і діелектрики в електр. полі (2)



**Метал**

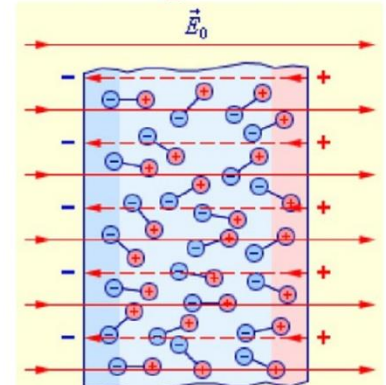
Електризація через вплив.

У металі  $E=0$  ( $E_1=E_2$ )  
(екранування провідників)



**Неполярний діелектрик**  
(ебоніт, гума)

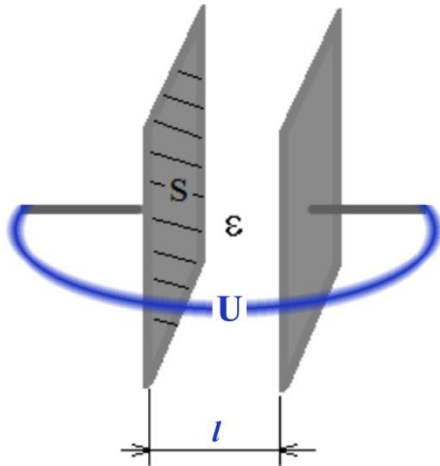
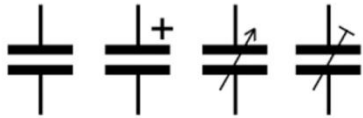
Пробій діелектрика - при великій  $E$   
(втрата ізоляційних властивостей)



**Полярний діелектрик**  
(вода, ацетон, аміак)

## Конденсатор

Конденсатор - це система двох провідників, розділених діелектриком



$$C = \frac{Q}{U}, \quad \Phi = QU$$

Для плоского конденсатора:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{l}, \quad \Phi,$$

$S$  — площа пластин,  $m^2$ ;  
 $l$  — товщина діелектрика,  $m$ .

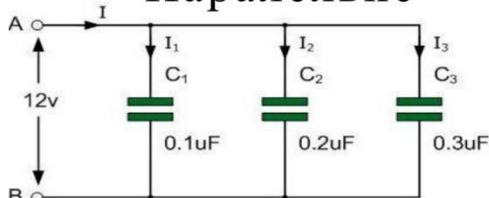
$$\Phi = Кл/В \quad 1 \Phi = 10^{-6} \text{ мк}\Phi; \quad 1 \Phi = 10^{-12} \text{ п}\Phi$$

$$1 \Phi = 10^{-9} \text{ н}\Phi;$$

Конденсатори бувають: паперові, слюдяні, керамічні, повітряні, електролітичні.

## З'єднання конденсаторів

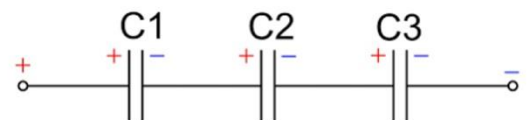
**Паралельне**



$$C = C_1 + C_2 + C_3;$$

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

**Послідовне**

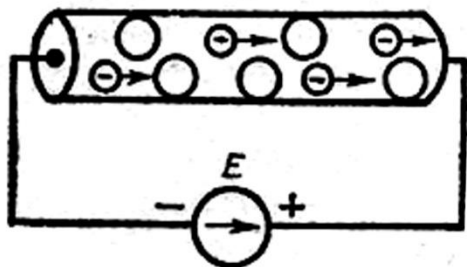


$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3};$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

Енергія електричного поля конденсатора

$$W = \frac{UQ}{2} = \frac{CU^2}{2}$$



Сила струму  $I$ , А

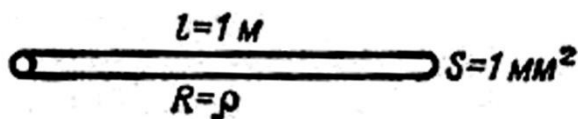
$$I = \frac{Q}{t} \quad t - \text{час, с}$$

$E$  - електрорушійна сила (е.р.с.), В

Напруга  $U$ , В

$$U = \frac{A}{Q}$$

Опір  $R$ , Ом



$$R = \frac{\rho l}{S},$$

$$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

Cu —  $\rho = 0,017$ ;

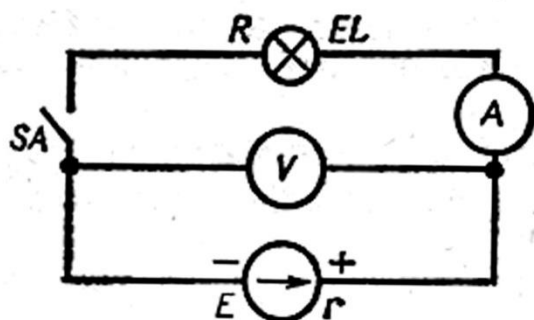
Al —  $\rho = 0,03$ ;

Fe —  $\rho = 0,13$

$$q = \frac{1}{R}$$

$q$  — провідність, См

**ЕЛЕКТРИЧНЕ КОЛО**



Джерело струму.  
Споживач енергії.  
З'єднувальні провідники.  
Допоміжні елементи (вимикачі, вимірні прилади тощо)

**Закон Ома**

Для ділянки кола

$$I = \frac{U}{R}$$

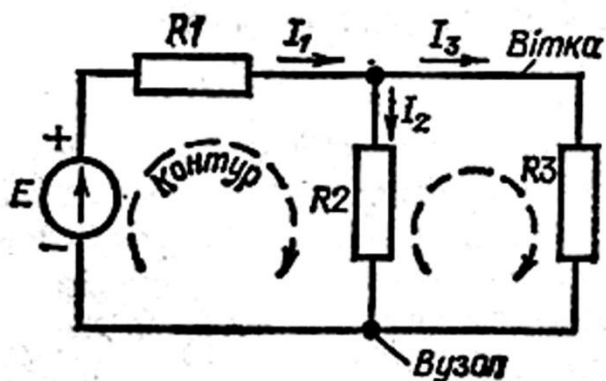
Для повного кола

$$I = \frac{E}{R+r}$$



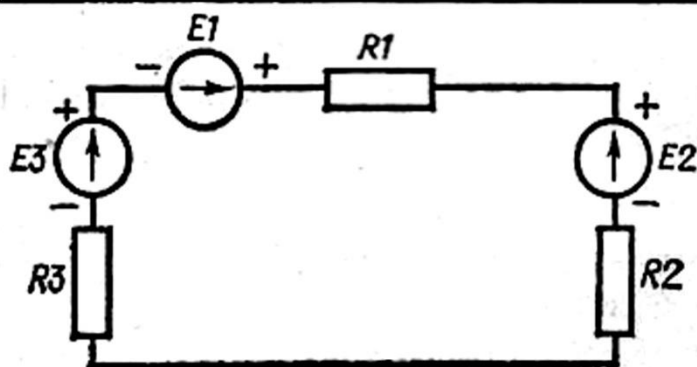
Потужність  $P = IU$ , Вт

Робота  $A = IUt$ , Дж



**I Закон Кірхгофа**

$$\sum I = 0 \quad I_1 - I_2 - I_3 = 0$$



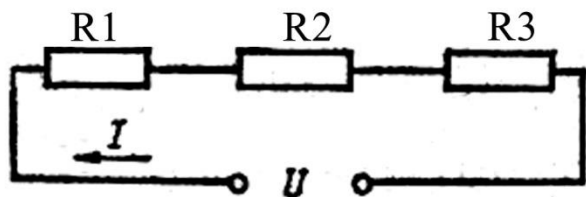
**II Закон Кірхгофа**

$$E_1 - E_2 + E_3 = IR_1 + IR_2 + IR_3$$



## З'ЄДНАННЯ ОПОРІВ І ДЖЕРЕЛ СТРУМУ

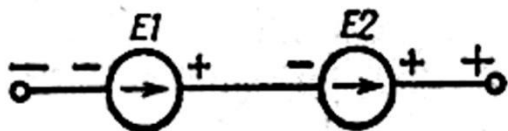
### Послідовне



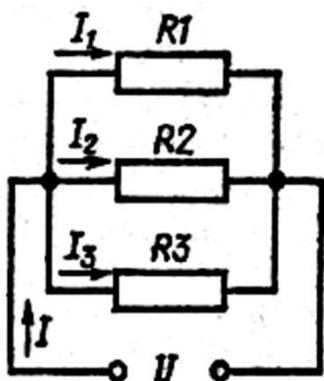
$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$



$$E = E_1 + E_2$$

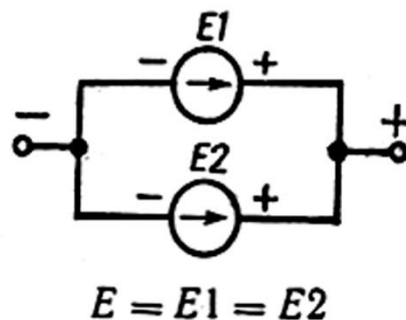


### Паралельне

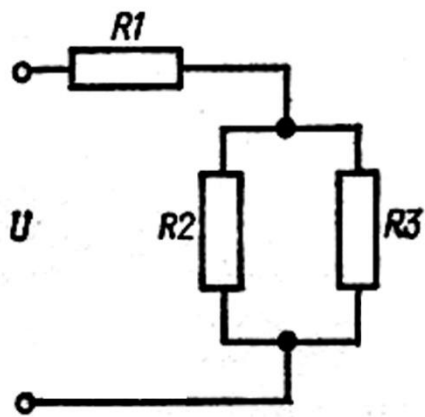
$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$



$$E = E_1 = E_2$$



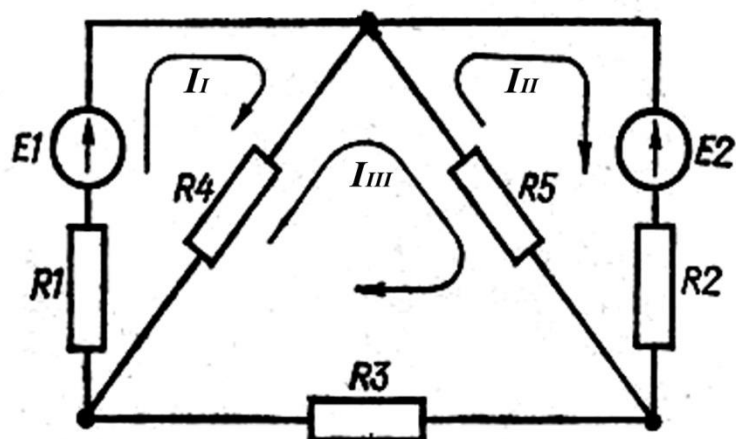
### Змішане

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}; \quad R = R_1 + R_{23};$$

$$I = \frac{U}{R}; \quad I_1 = I \quad U_1 = I_1 R_1;$$

$$U_2 = U_3 = U - U_1; \quad I_2 = \frac{U_2}{R_2}; \quad I_3 = \frac{U_3}{R_3}$$

## МЕТОД КОНТУРНИХ СТРУМІВ

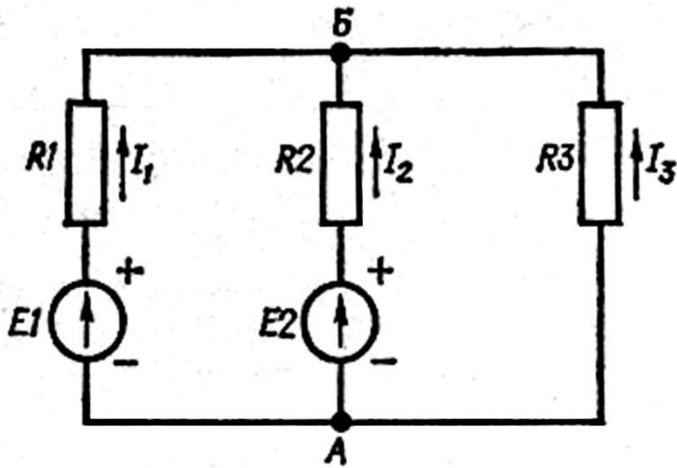


Дано:  $E_1; E_2; R_1; R_2; R_3; R_4; R_5$

Знайти:  $I_1; I_2; I_3; I_4; I_5$

$$\begin{cases} E_1 = I_I(R_1 + R_4) - I_{III}R_4; \\ -E_2 = I_{II}(R_2 + R_5) - I_{III}R_5; \\ 0 = I_{III}(R_3 + R_4 + R_5) - I_I R_4 - I_{II} R_5 \end{cases}$$

$$I_1 = I_I; \quad I_2 = I_{II}; \quad I_3 = I_{III}; \quad I_4 = I_I - I_{III}; \quad I_5 = I_{III} - I_{II}$$



Дано:  $E_1; E_2; R_1; R_2; R_3$

Знайти:  $I_1; I_2; I_3$ .

$$U = \varphi_B - \varphi_A$$

$$I_1 = \frac{E_1 - U}{R_1} = (E_1 - U) q_1; \quad (1)$$

$$I_2 = \frac{E_2 - U}{R_2} = (E_2 - U) q_2; \quad (2)$$

$$I_3 = \frac{0 - U}{R_3} = -U q_3. \quad (3)$$

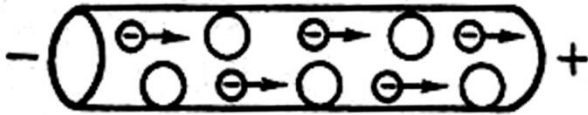
$$I_1 + I_2 + I_3 = 0; \quad (E_1 - U) q_1 + (E_2 - U) q_2 + (-U q_3) = 0$$

$$E_1 q_1 - U q_1 + E_2 q_2 - U q_2 - U q_3 = 0$$

$$U = \frac{E_1 q_1 + E_2 q_2}{q_1 + q_2 + q_3} \quad U = \frac{\sum E q}{\sum q}$$

Струми  $I_1; I_2; I_3$  визначаємо за формулами (1), (2), (3).

ТЕПЛОВА ДІЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ



Корисно у:  
нагрівальних приладах;  
освітлювальних приладах

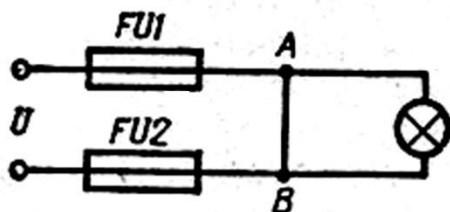
Закон Джоуля-Ленца

$$Q = I^2 R t, \text{ Дж}$$

Шкідливо у:  
електромашинах;  
трансформаторах;  
електричні мережі

Допустимі струмові навантаження для мідних ізольованих проводів

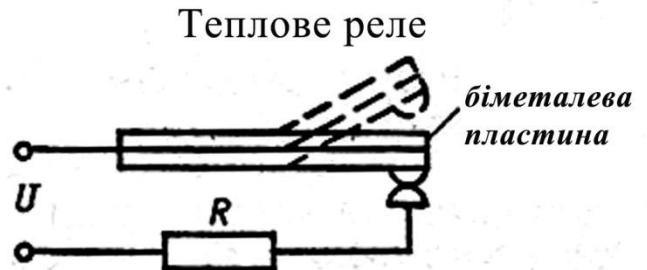
$S, \text{ мм}^2$	0,5	0,75	1	1,5	2,5	4	6	10	16
$I, \text{ А}$	11	15	17	23	30	41	50	80	100

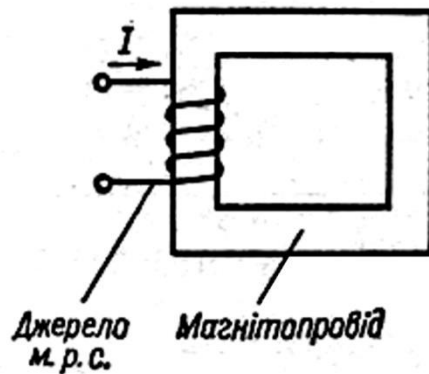
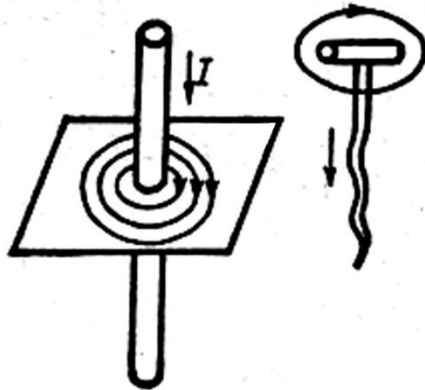
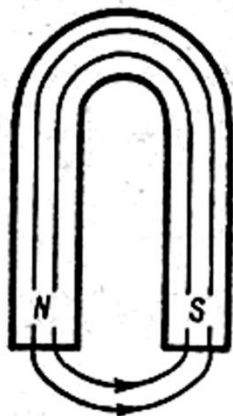


$$I = \frac{U}{R};$$

$$R \rightarrow 0;$$

$$I \rightarrow \infty.$$

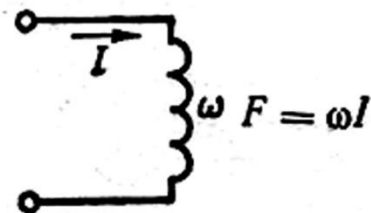




Магнітні кола: однорідні і неоднорідні; розгалуджені і нерозгалуджені

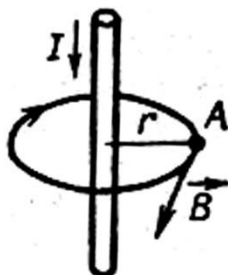
МАГНІТНІ ВЕЛИЧИНИ І ЗАКОНИ

$F$  - магніторушійна сила, А (м.р.с.)



$B$  - магнітна індукція, Тл

$$\text{Тл} = \frac{Bc}{\text{м}^2}$$



$$B = \frac{\mu_a \cdot I}{2\pi r}$$

$$\mu_a = \mu \cdot \mu_0$$

$\mu_a$  — абсолютна магнітна проникність, Гн/м;  
 $\mu_0$  — магнітна проникність вакууму  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м;  
 $\mu$  — відносна магнітна проникність.

$H$  — напруженість магнітного поля, А/м:

$$H = \frac{F}{l}$$

$l$  - довжина магнітопроводу, м

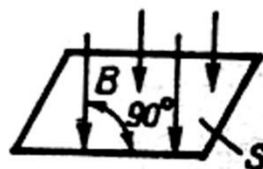
$R_M$  - магнітний опір, Гн<sup>-1</sup>

$$R_M = \frac{l}{\mu_a S}$$

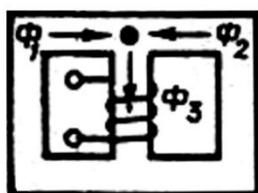
$S$  - площа поперечного перерізу магнітопроводу, м<sup>2</sup>

$\Phi$  - магнітний потік, Вб  
 Вб = В·с

$$\Phi = \frac{F}{R_M}$$



$$\Phi = B \cdot S$$



I Закон Кірхгофа

$$\Sigma \Phi = 0$$

$$\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = 0$$

II Закон Кірхгофа

$$F = \Sigma Hl$$

$$I\omega = H_1 l_1 + H_2 l_2 + \dots + H_n l_n$$

Електричні

- 1)  $E$ ; 2)  $I$ ; 3)  $R$ ; 4)  $U$

Магнітні

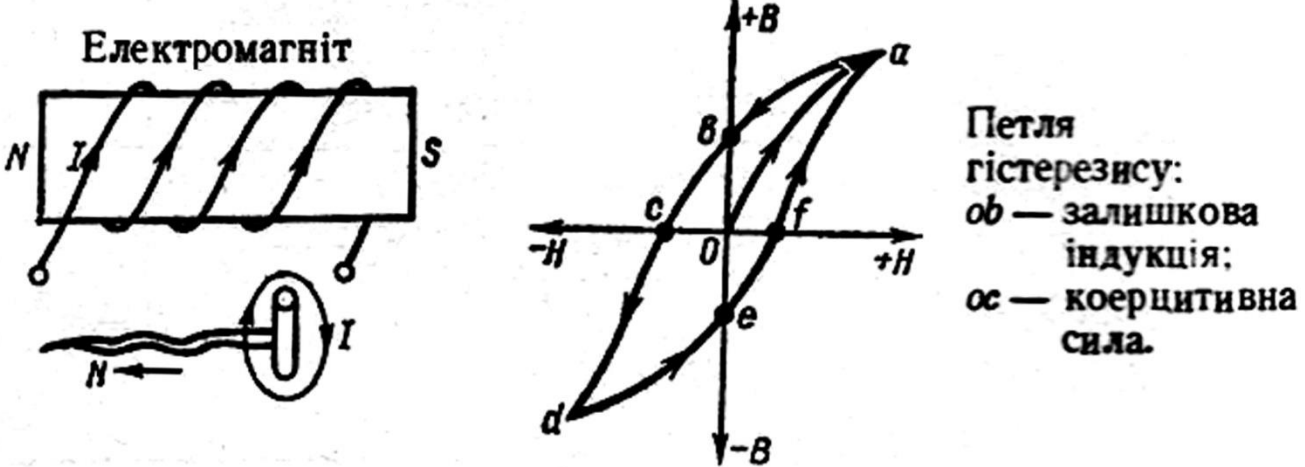
- 1)  $F$ ; 2)  $\Phi$ ; 3)  $R_M$ ; 4)  $Hl$



- 1) Феромагнітні  $\mu \gg 1$  (Fe, Ni, Co, їх сплави)
- 2) Парамагнітні  $\mu > 1$  (Mn, Al, W, Sn, повітря)
- 3) Діамагнітні  $\mu < 1$  (Cu, Ag, Zn, H<sub>2</sub>O)

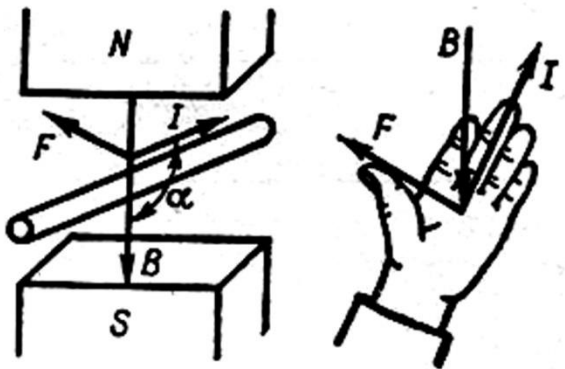
$$\mu = \frac{\mu_a}{\mu_0}$$

НАМАГНІЧУВАННЯ І ПЕРЕМАГНІЧУВАННЯ ФЕРОМАГНІТНИХ ТІЛ



Відставання B від зменшення H називається гістерезисом. Магнітом'які матеріали (Fe, сплав - Fe і Si) мала залишкова індукція. Магнітожорсткі матеріали (сталі кобальтові, хромисті, вольфрамові)- велика залишкова індукція.

Провід зі струмом у магнітному полі

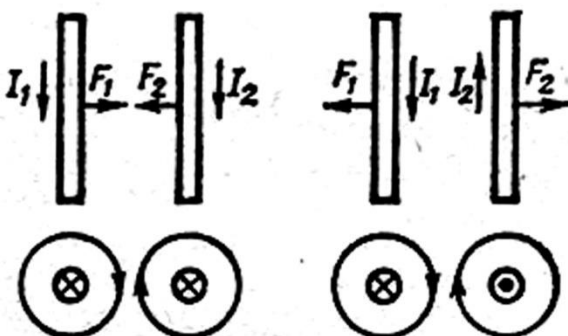


$$F = BIl \sin \alpha, \text{ Н}$$

Застосовують в електродвигунах

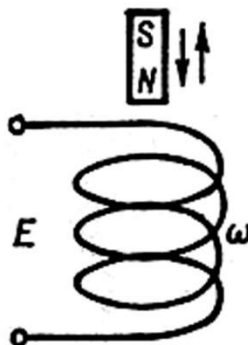
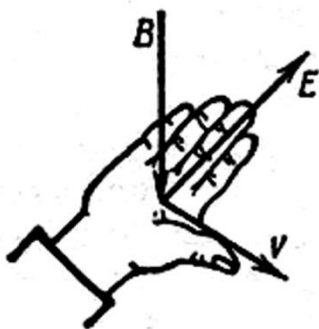
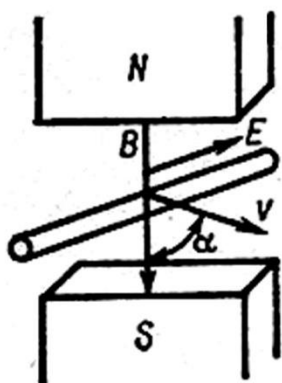
Правило лівої руки

Взаємодія між проводами зі струмом



Якщо  $F_1 = I_1 B_2; F_2 = I_2 B_1$   
 $I_1 = I_2$ , то  $F_1 = F_2$

Застосовується в електровимірювальних приладах. Шкідлива при коротких замиканнях.



$$E = Blv \sin \alpha, \text{ В}$$

$v$  — швидкість, м/с;

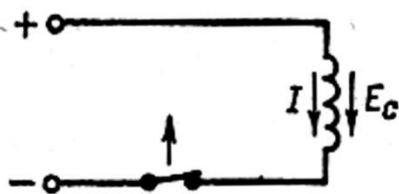
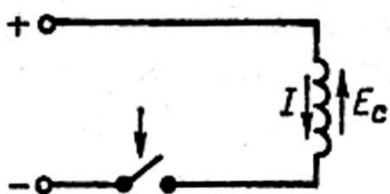
$l$  — довжина, м

$$E = - \omega \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Правило правої руки

В генераторах

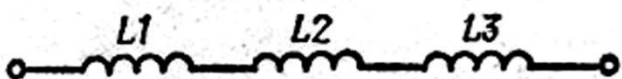
**Закон Ленца:** індукована е. р. с. (E) намагається протидіяти причині, що її викликала.



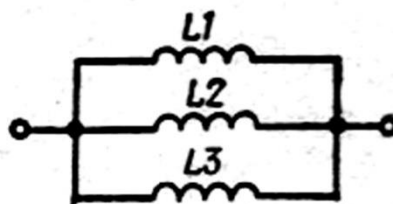
$$e = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}, \text{ В}$$

**Самоіндукцією** називається індукування е. р. с. у котушці при перетинанні її витків власним магнітним потоком, що змінюється від зміни струму в тій самій котушці.

**Індуктивність** (L - це коефіцієнт пропорційності між швидкістю зміни струму в часі та індукованою е. р. с., Гн. Гн = Ом·с



$$L = L1 + L2 + L3$$



$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

**Вихрові струми** індукуються в масивних металічних тілах при перетинанні їх магнітними лініями

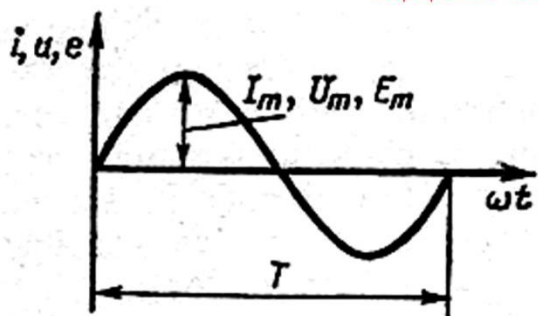


$$R = \frac{\rho l}{S}$$

**Корисні в:** 1) індукційних печах;  
2) електролічильниках

**Шкідливі в:** 1) трансформаторах;  
2) електромашинах змінного струму





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

$T$  — період (час) одного повного коливання, с;

$f$  — частота, Гц;

$\omega$  — кутова частота, рад/с  
 $\omega = 2\pi f$ .

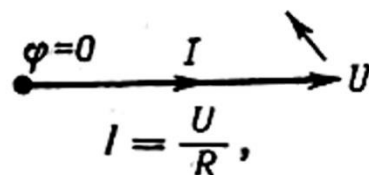
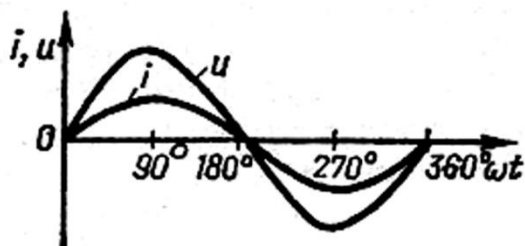
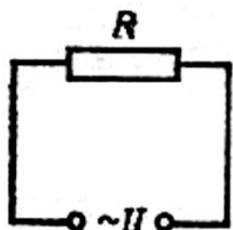
$i, u, e$  — миттєві;  
 $I_m, U_m, E_m$  — амплітудні;  
 $I, U, E$  — діючі

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$$

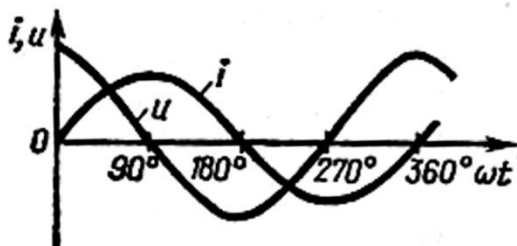
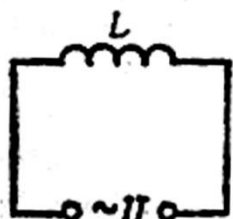
### Коло з активним опором



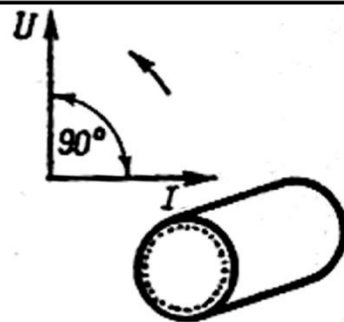
$R$  - активний опір, Ом.

- 1) Нагрівні прилади.
- 2) Лампи розжарювання.

### Коло з індуктивним опором



$$I = \frac{U}{X_L}$$

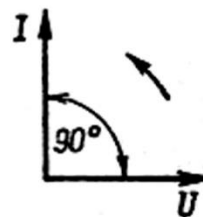
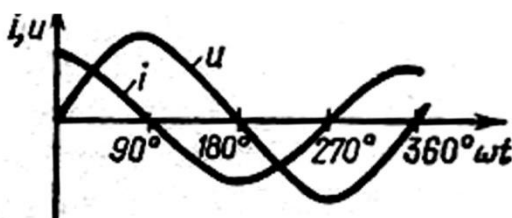
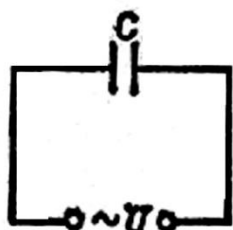


$X_L$  - індуктивний опір (котушки), Ом

$$X_L = 2\pi fL$$

Поверхневий ефект

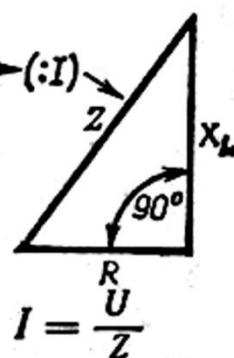
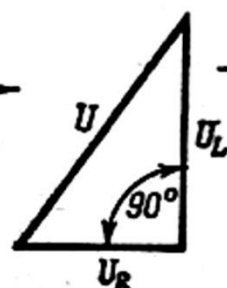
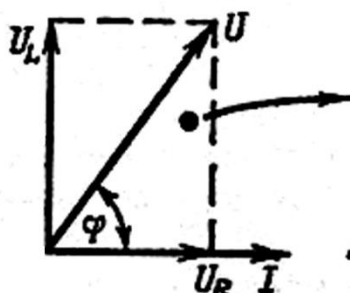
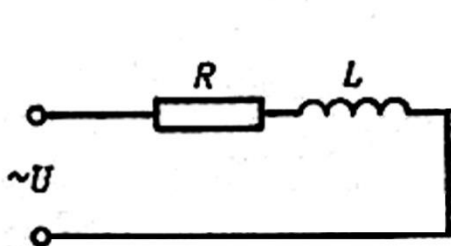
### Коло з ємнісним опором



$X_C$  — ємнісний опір, Ом

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad I = \frac{U}{X_C}$$

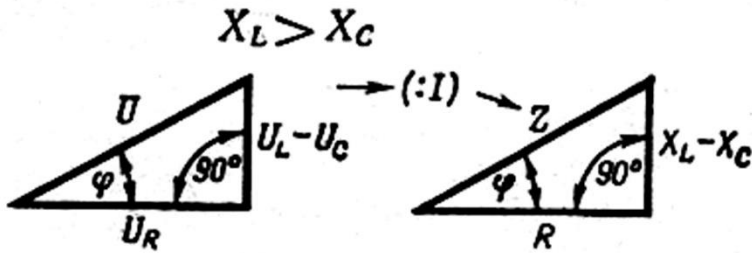
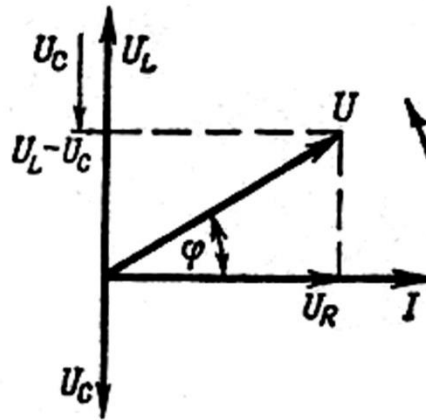
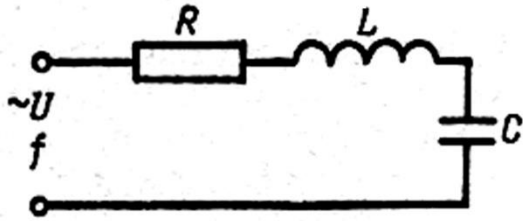
$X_C$  — конденсатори, кабельні лінії



$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$I = \frac{U}{Z}$$



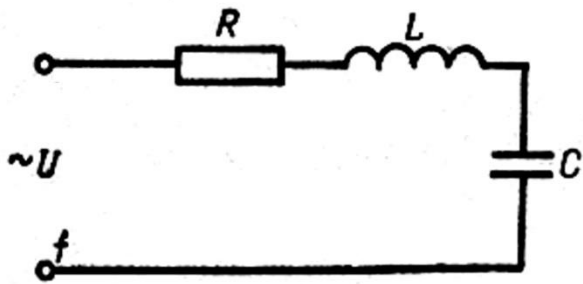
$$U_R = IR$$

$$U_L = IX_L$$

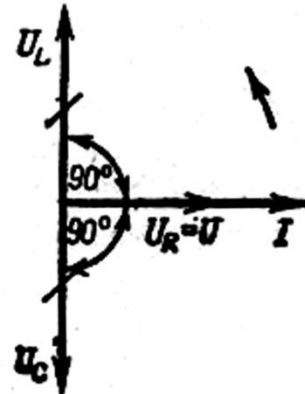
$$U_C = IX_C$$

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} \quad Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad I = \frac{U}{Z}$$

**РЕЗОНАНС НАПРУГ**



$X_L = X_C$   
 $Z = R$  — малий  
 $I$  — великий



$U_L = U_C \gg U \quad \varphi = 0$

Змінюють  $L, C, f$  ( $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ )  $\rightarrow X_L = X_C$

Застосовують у радіоприймачах, небезпечний в електротехніці.

**ПОТУЖНОСТІ ЗМІННОГО СТРУМУ**

$P$  — активна, Вт  $\rightarrow P = IU \cos \varphi \rightarrow P = I^2 R$

$Q$  — реактивна, Вар  $\rightarrow Q = IU \sin \varphi \rightarrow Q = I^2 (X_L - X_C)$

$S$  — повна, В·А  $\rightarrow S = IU \rightarrow S = I^2 Z \rightarrow S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

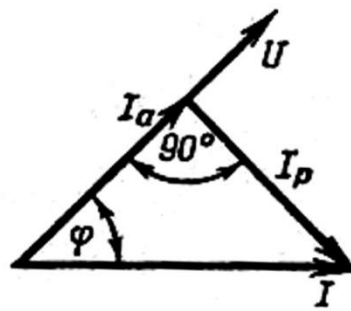
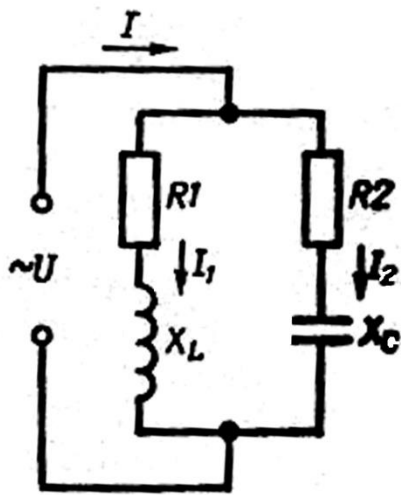
Коефіцієнт потужності  $\cos \varphi$ .



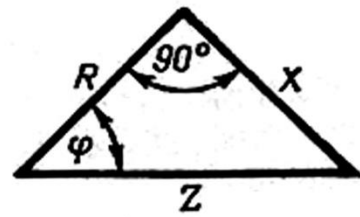
$\cos \varphi > 0,9$  — малі теплові втрати в проводах

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

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$



$$I_a = I \cos \varphi$$



$$I_p = I \sin \varphi$$

Дано:  $U, R1, R2, X_L, X_C$

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{U}{\sqrt{R1^2 + X_L^2}}$$

Знайти:  $I_1 - I_2 - I$

$$I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{U}{\sqrt{R2^2 + X_C^2}}$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{R1}{Z1}; \quad \sin \varphi_1 = \frac{X1}{Z1};$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{R2}{Z2}; \quad \sin \varphi_2 = \frac{X2}{Z2}$$

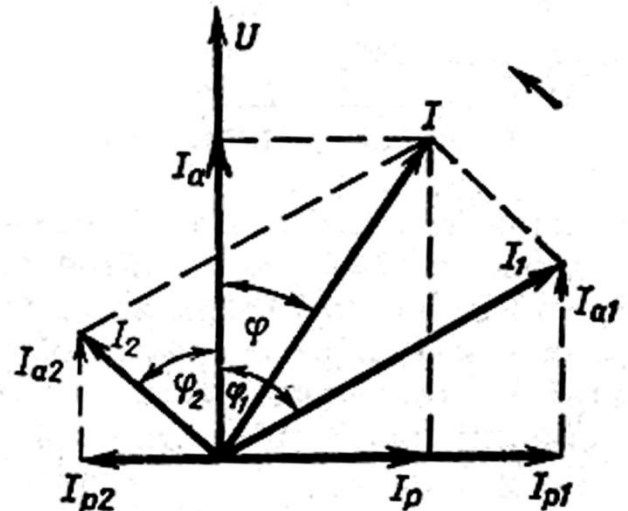
$$I_{a1} = I_1 \cos \varphi_1; \quad I_{a2} = I_2 \cos \varphi_2$$

$$I_a = I_{a1} + I_{a2}$$

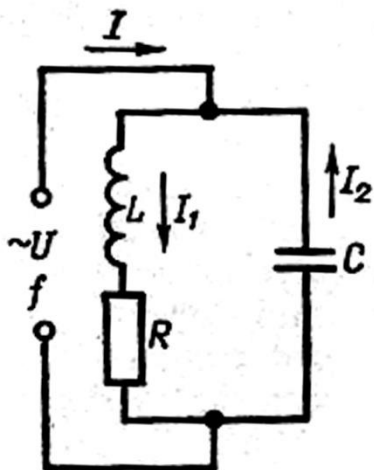
$$I_{p1} = I_1 \sin \varphi_1; \quad I_{p2} = I_2 \sin \varphi_2$$

$$I_p = I_{p1} + I_{p2}$$

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2}$$



РЕЗОНАНС СТРУМІВ

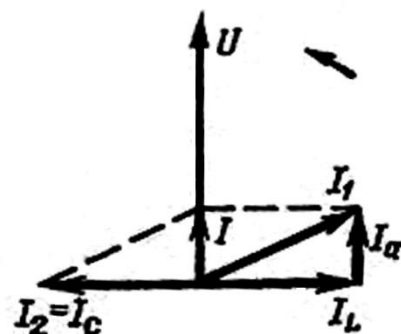


$$X_L = X_C$$

$$Z = R_{\text{екв}} - \text{великий}$$

$$I_1 = I_2 \gg I$$

$$\varphi = 0 \quad \cos \varphi = 1$$

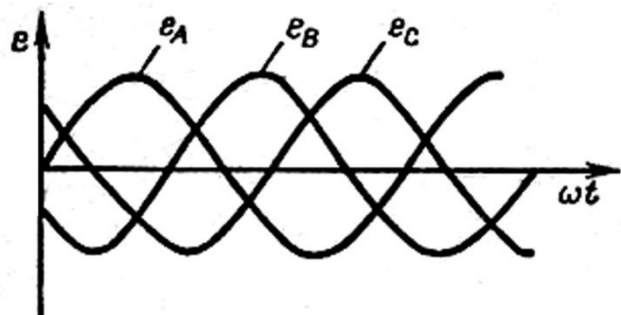
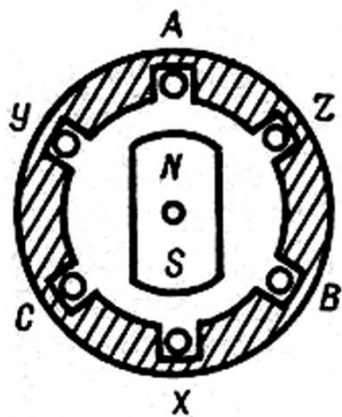


Змінюють  $X, C$  або  $f (f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}) \rightarrow L_L = X_C$

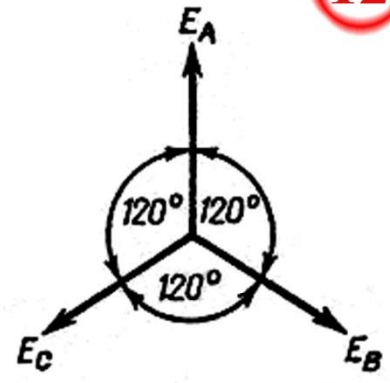
Для підвищення  $\cos \varphi$



## ТРИФАЗНИЙ СТРУМ



Доливо-Добровольський

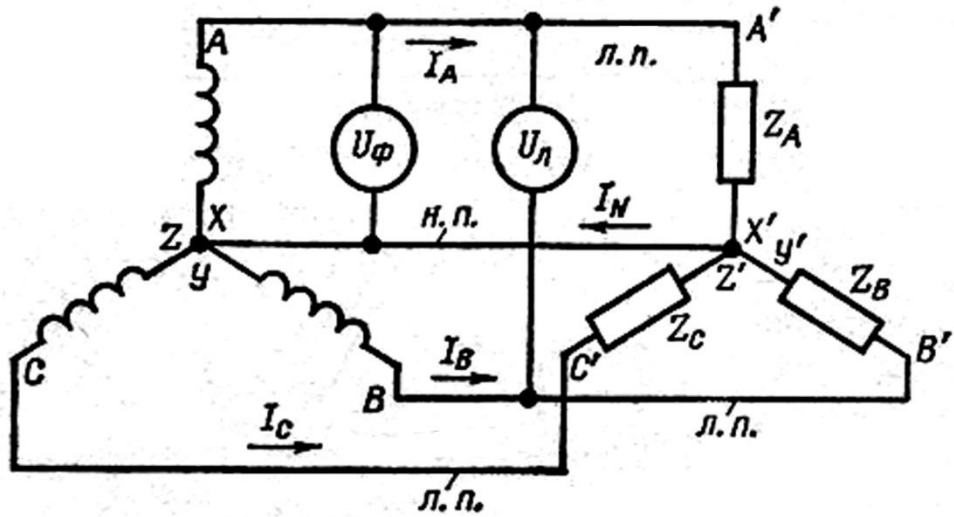


Обертове магнітне поле

$$n = \frac{f \cdot 60}{p}, \text{ об/хв}$$

- 1) Економна передача енергії
- 2) Високі якості трифазних двигунів, генераторів, трансформаторів

## З'ЄДНАННЯ ЗІРКОЮ $\star$



При симетричному навантаженні

$$U_L = \sqrt{3} U_\phi$$

$$I_L = I_\phi$$

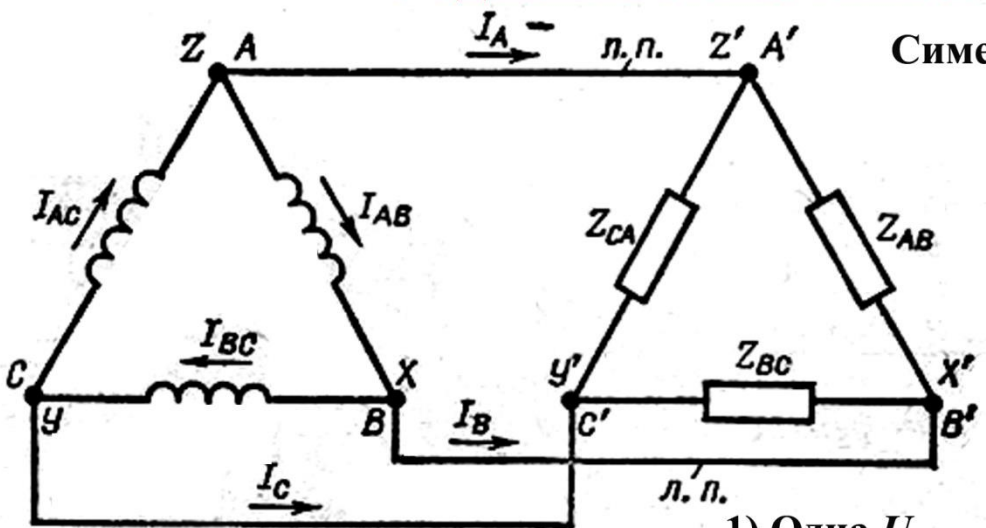
$$I_N = 0$$

$$\vec{I}_N = \vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C$$

л. п. — лінійний провід  
н. п. — нульовий провід

- 1) 2 напруги --  $U_\phi, U_L$
- 2) Несиметричне навантаження  $\rightarrow$   
 $U_\phi$  — різні

## З'ЄДНАННЯ ТРИКУТНИКОМ $\Delta$



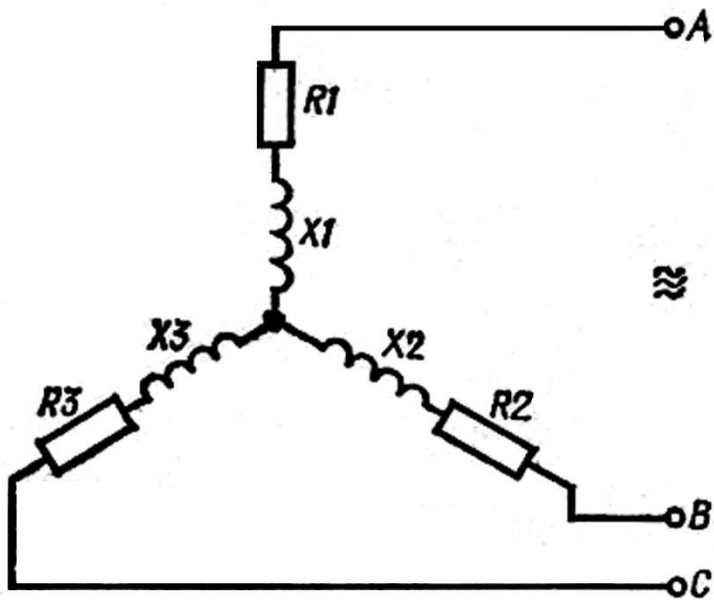
Симетричне навантаження

$$I_L = \sqrt{3} I_\phi$$

$$U_L = U_\phi$$

$I_A; I_B; I_C$  — лінійні струми ( $I_L$ )  
 $I_{AB}; I_{BC}; I_{CA}$  — фазні струми ( $I_\phi$ )

- 1) Одна  $U$
- 2) Несиметричне навантаження  $\rightarrow$   
 $U_\phi$  — однакові



$R_1 = R_2 = R_3$

$X_1 = X_2 = X_3$

Опір фази:  $Z_{\phi} = \sqrt{R_{\phi}^2 + X_{\phi}^2}$

$\cos \varphi = \frac{R_{\phi}}{Z_{\phi}}$

$\sin \varphi = \frac{X_{\phi}}{Z_{\phi}}$

Струм фази:  $I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\phi}}$

Потужності фази:

$P_{\phi} = I_{\phi} U_{\phi} \cos \varphi, \text{ Вт}$

$Q_{\phi} = I_{\phi} U_{\phi} \sin \varphi, \text{ вар}$

$S_{\phi} = I_{\phi} U_{\phi}, \text{ В}\cdot\text{А}$

Потужності трифазного кола:

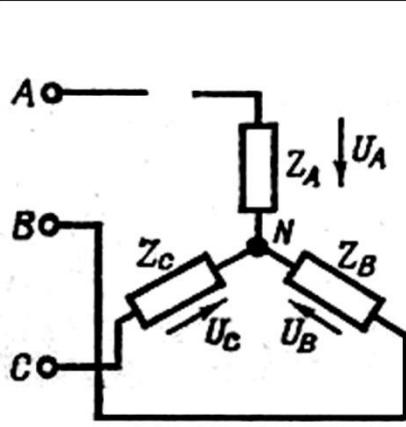
$P = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi = 3 P_{\phi}$

$Q = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \sin \varphi = 3 Q_{\phi}$

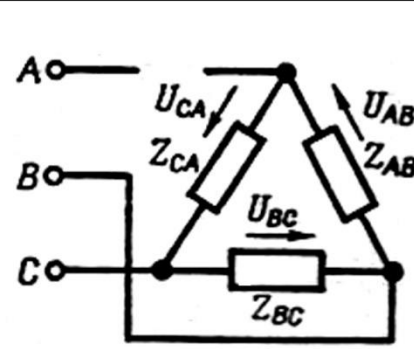
$S = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} = 3 S_{\phi}$

**ТРИФАЗНІ НЕСИМЕТРИЧНІ КОЛА**

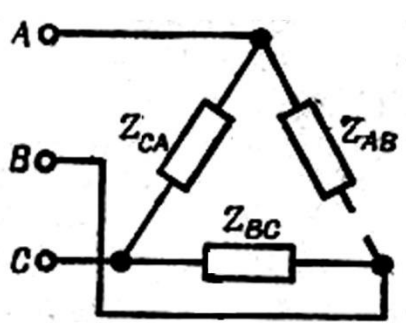
1) різні навантаження у фазах; 2) обрив проводів; 3) коротке замикання в лінії або у фазах



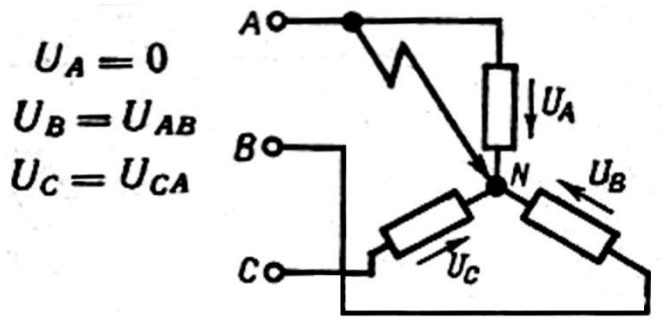
Фази C і B — підключені по-слідовно  
Якщо  $Z_B = Z_C$ , то  
 $U_B = U_C = \frac{U_{BC}}{2}$   
З нульовим проводом у фазах B і C — нормальний режим



$Z_{AB}$  і  $Z_{CA}$  по-слідовно під  $U_{BC}$   
У фазі  $Z_{BC}$  - нормальний режим



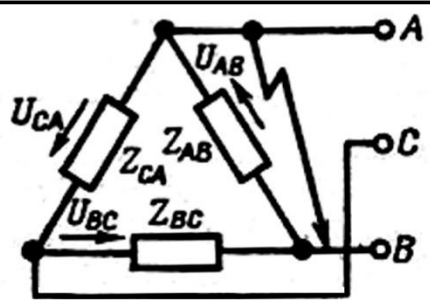
У фазі  $Z_{AB}$  — струм відсутній.  
У фазах  $Z_{CA}, Z_{BC}$  — нормальний режим



$U_A = 0$   
 $U_B = U_{AB}$   
 $U_C = U_{CA}$

$U_{AB} = 0$

У фазах  $Z_{CA}, Z_{BC}$  - нормальний режим



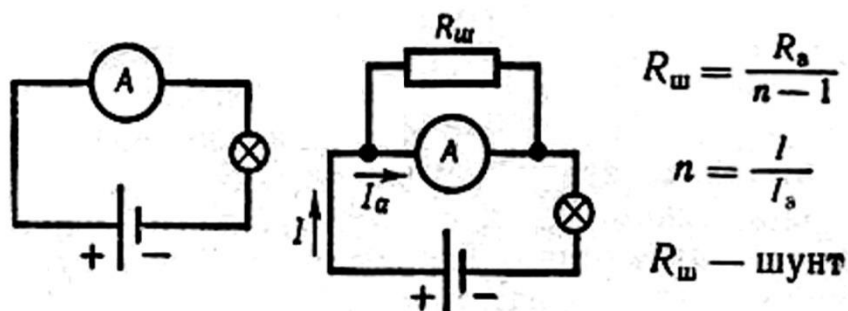


<p><b>I</b></p> <p>1) —</p> <p>2) ~</p> <p>3) ~</p>	<p><b>II</b></p> <p>1)  — амперметр</p> <p>2)  — вольтметр</p> <p>3)  — ватметр</p> <p>4)  — омметр</p> <p>5)  — частотомір</p> <p>6)  — лічильник активної енергії</p>	<p><b>III</b></p>	<p><b>IV</b> <math>\beta = \frac{A_n - A_d}{A_n} 100 \%</math></p> <p>1 кл. <math>\beta = 0,05 \%</math></p> <p>2 кл. <math>\beta = 0,1 \%</math></p> <p>3 кл. <math>\beta = 0,2 \%</math></p> <p>4 кл. <math>\beta = 0,5 \%</math></p> <p>5 кл. <math>\beta = 1 \%</math></p> <p>6 кл. <math>\beta = 1,5 \%</math></p> <p>7 кл. <math>\beta = 2,5 \%</math></p> <p>8 кл. <math>\beta = 4 \%</math></p>
---	---	-------------------	---

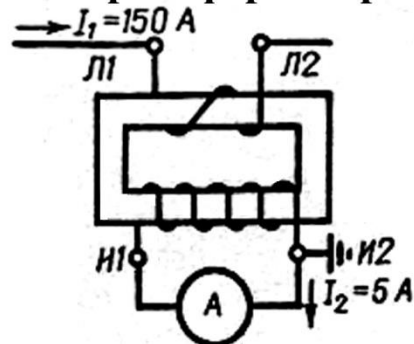
<p><b>Магнітоелектричні</b></p> <p>1) —;</p> <p>2) бояться перенавантажень;</p> <p>3) чутливі;</p> <p>4) точні.</p>	<p><b>Електромагнітні</b></p> <p>1) —, ~;</p> <p>2) не бояться перенавантажень;</p> <p>3) мала точність;</p> <p>4) нерівномірна шкала.</p>	<p><b>Електродинамічні</b></p> <p>1) —, ~;</p> <p>2) точні;</p> <p>3) бояться перенавантажень.</p>
---	--	--

<p><b>Індукційні</b></p> <p>1) ~;</p> <p>2) великий обертовий момент;</p> <p>3) дорогі.</p>	<p><b>Вібраційні</b></p> <p>1) ~;</p> <p>2) 45—55 Гц;</p> <p>3) бояться вібрацій.</p>
---	---

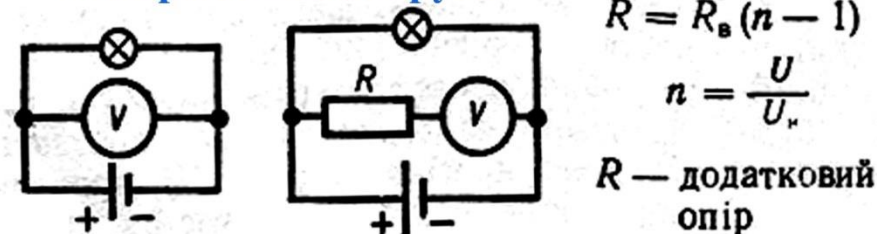
### Вимірювання струму



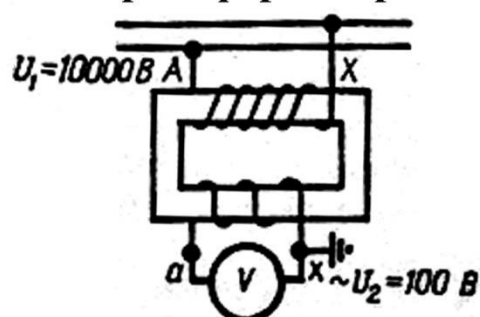
### Трансформатор I



### Вимірювання напруги

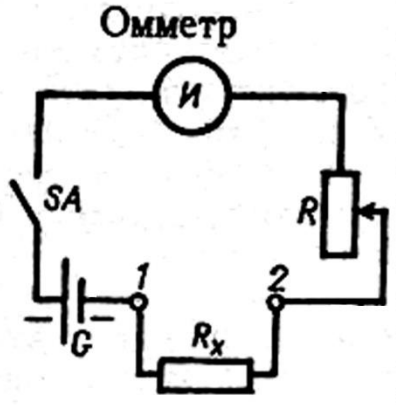


### Трансформатор U



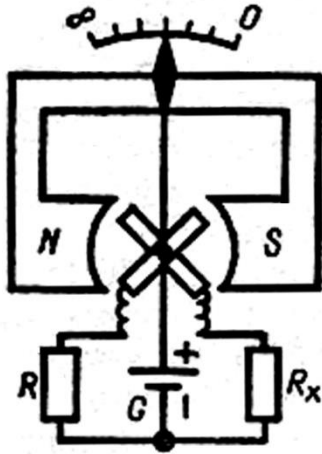


### Вимірювання опору



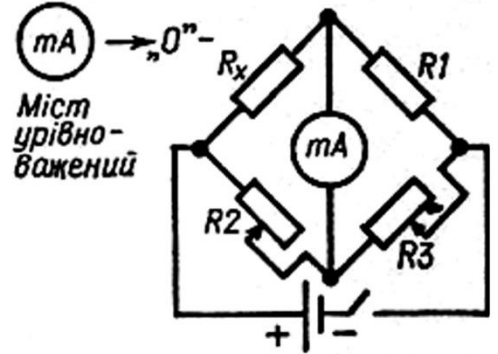
Покази залежать від е. р. с.  $G$

### Логометр (мегомметр)



Покази не залежать від е. р. с.  $G$

### Вимірковальний міст опорів

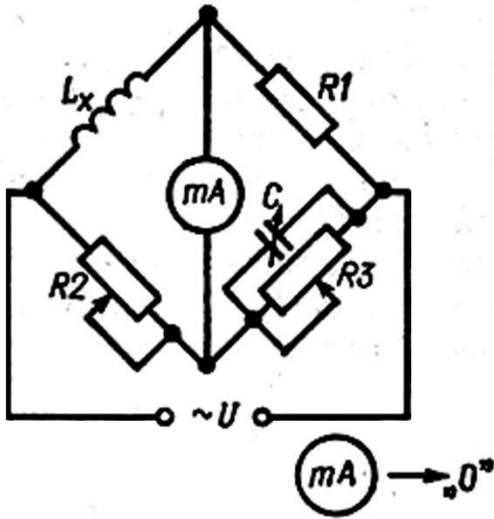


Міст урівноважений

$$R1R2 = R3Rx$$

$$Rx = \frac{R1R2}{R3}$$

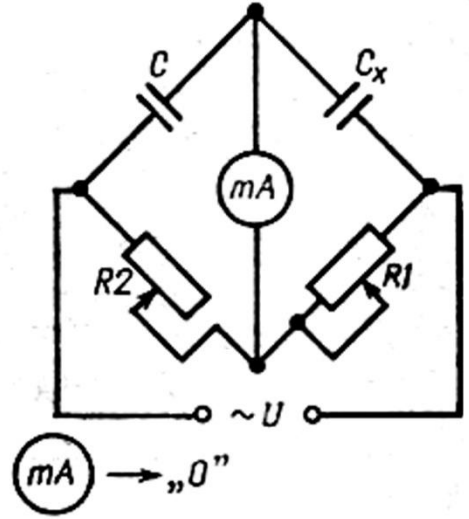
### Вимірювання індуктивності



$$Z1Z2 = Z3Z4$$

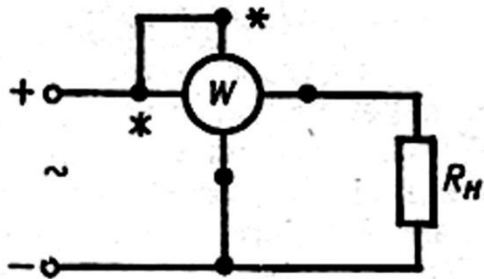
$$\varphi_1 + \varphi_2 = \varphi_3 + \varphi_4 \quad L_x = CR1R2$$

### Вимірювання ємності

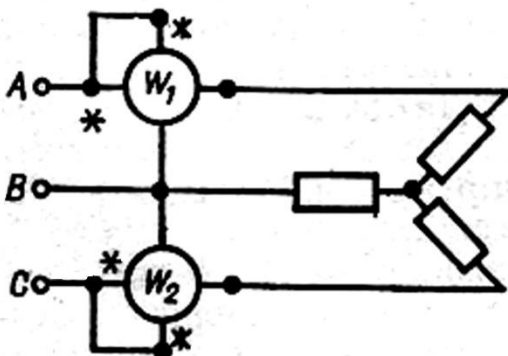


$$C_x = \frac{CR1}{R2}$$

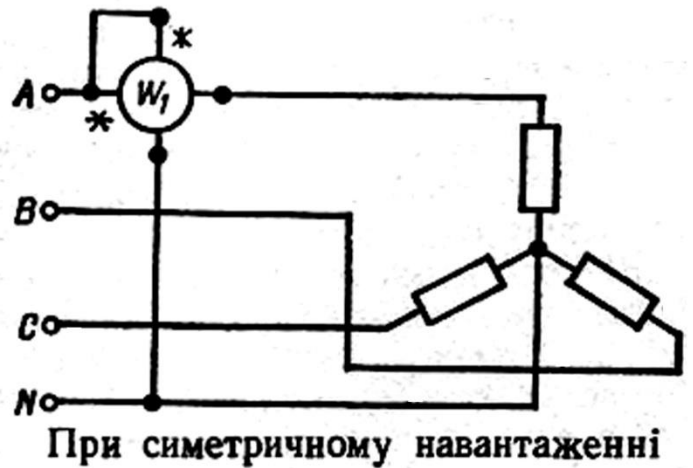
### Вимірювання потужності



$$P = 3W_1$$

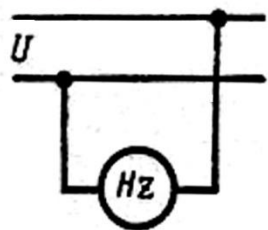


При несиметричному навантаженні  
 $P = W_1 + W_2$



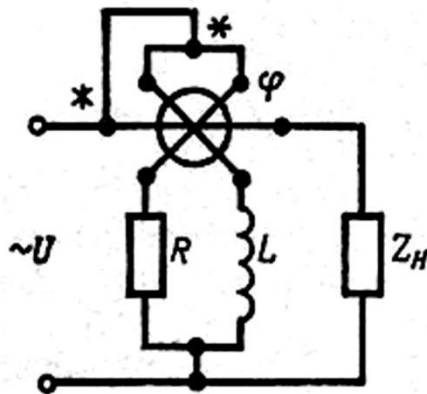
При симетричному навантаженні

Вимірювання частоти

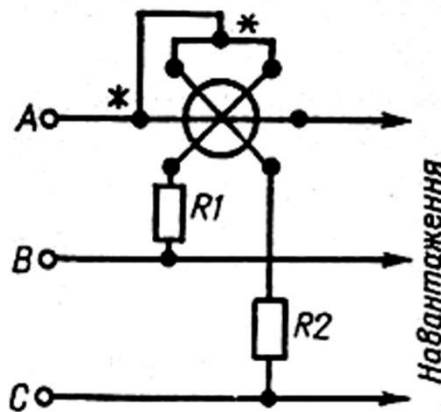


Однофазний фазометр

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

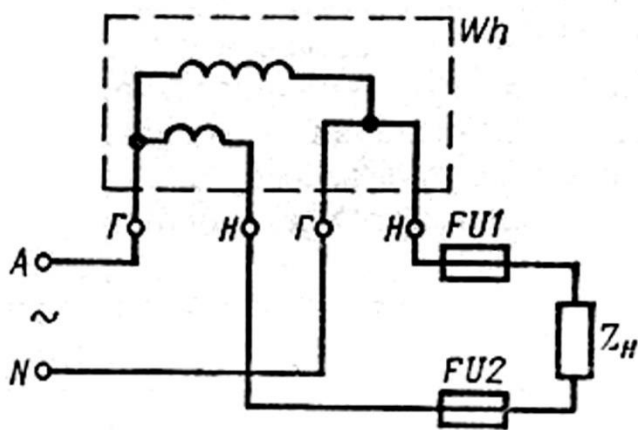


Трифазний фазометр

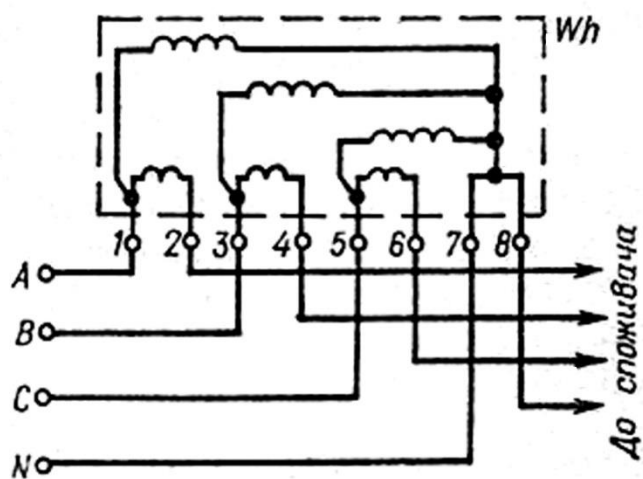


Вимірювання електричної енергії

Однофазний лічильник



Трифазний лічильник

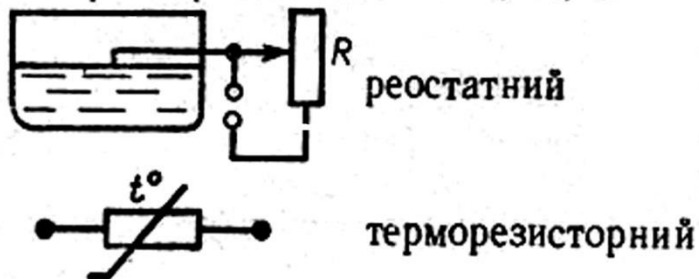


Вимірювання неелектричних величин електричними методами

Датчик неелектричну величину перетворює в  $R, L, C$  або  $E$ .

- 1) Безперервність. 2) Велика точність. 3) Дистанційність.

Параметричні датчики  $L, R, C$



Генераторні датчики  $E$



ЦИФРОВІ ПРИЛАДИ

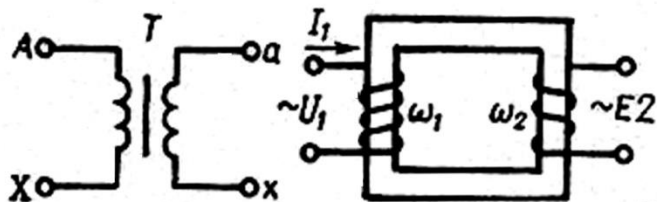
- 1) результат у цифровій формі;
- 2) точність до 8-го знаку;
- 3) відсутність похибок при знятті показів;
- 4) складні, дорогі.



Застосовуються в автоматичці



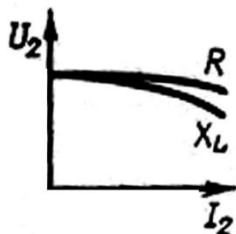
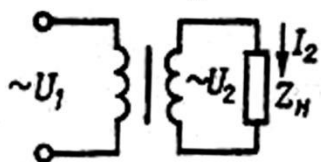
П.М. Яблочков



Для перетворення змінного струму однієї напруги в змінний струм іншої напруги при незмінній частоті.

$$\sim U_1 \rightarrow \sim I_1 \rightarrow \Phi \rightarrow \sim E_2 \quad \frac{U_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad E_2 \approx U_2 \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

**Робочий режим**



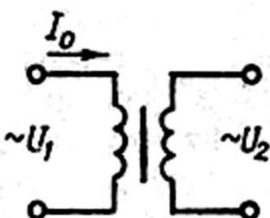
Втрати: 1)  $\Delta P_{ел}$  електричні  
2)  $\Delta P_m$  магнітні

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \text{ — корисна}$$

$$\text{— підведена}$$

$U_2$  регулюють зміною  $\omega_1$

**Режим холостого ходу**



$$I_0 = (3-10\%) I_H$$

$$\cos \varphi = 0,2-0,3$$

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad W_{xx} = \Delta P_m$$

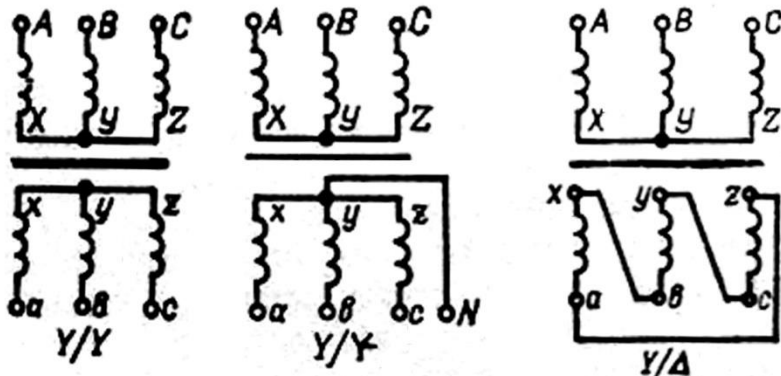
$k$  — коефіцієнт трансформації

**Режим короткого замикання**

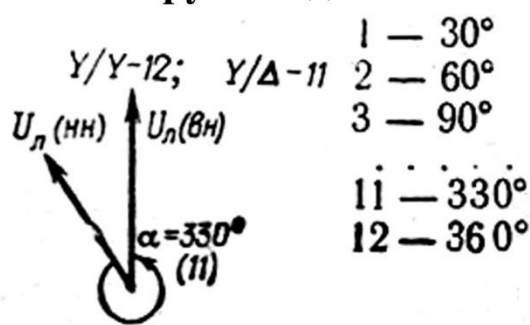


$I_k$  збільшується в 30—45 разів;  
пошкодження ізоляції обмоток

## ТРИФАЗНІ ТРАНСФОРМАТОРИ



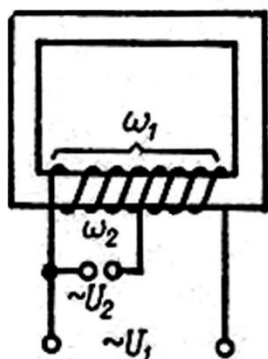
**Група з'єднання**



**Паралельна робота трансформаторів**

- 1)  $U_{1H}$ ;  $U_{2H}$  — однакові;
- 2)  $U_{K3}$  — однакові;
- 3) Групи і схеми з'єднання однакові;
- 4) Правильне чергування фаз

## АВТОТРАНСФОРМАТОРИ

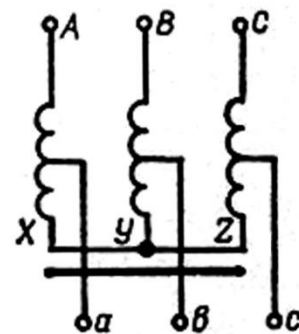


Однофазний

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

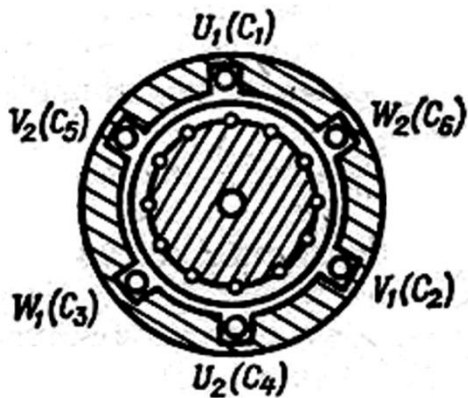
$$k = 1,25-2$$

- 1) Економія міді;
- 2) Економія сталі;
- 3) Плавне регулювання  $U$ ;
- 4) Великий  $I_{K3}$



Трифазний





Двигун з короткозамкненим ротором:  
 Статор (станина, осердя, трифазна обмотка);  
 ротор (вал, осердя, короткозамкнена обмотка, вентилятор);  
 підшипникові щити.

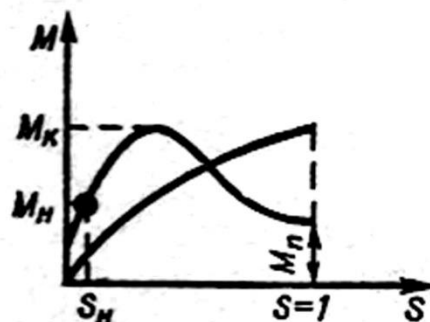
Двигун з фазним ротором:  
 статор;  
 ротор (вал, осердя, трифазна обмотка);  
 підшипникові щити (графітні щітки).



Принцип дії  $\approx I$  в обмотці статора створює обертове магнітне поле, яке перетинає обмотку ротора й індукуює в ній струм  $I_2$ . Взаємодія  $I_2$  з обертовим магнітним полем  $\rightarrow$  обертовий момент  $M$

$$S = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad M = C\Phi I_2 \cos \varphi_2 \quad M \sim U^2$$

S - ковзання;  
 $n_1$  - частота обертання поля статора;  
 n - частота обертання ротора



**Пуск двигуна**

$I_{пуск} = (5-7)I_n$   
 U - падає

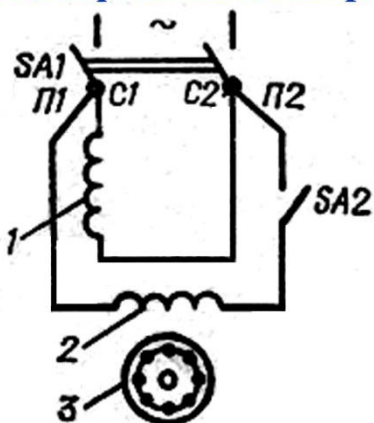
- 1) Зменшують U (автотрансф.)
- 2) Перемикають з Y на  $\Delta$  ( $I_{пуск}$  зменшується у 3 рази)

**Регулювання частоти обертання**

- 1) Змінюють частоту струму f
- 2) Змінюють число пар полюсів p
- 3) Змінюють ковзання S, вводячи R в обмотку ротора.

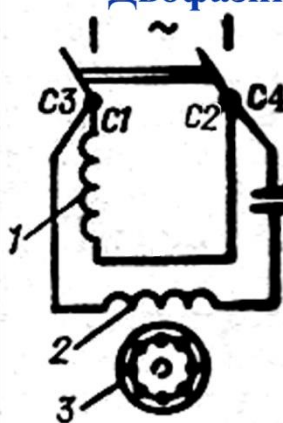
$$n = \frac{f \cdot 60}{p} (1 - S)$$

**Однофазний асинхронний двигун**

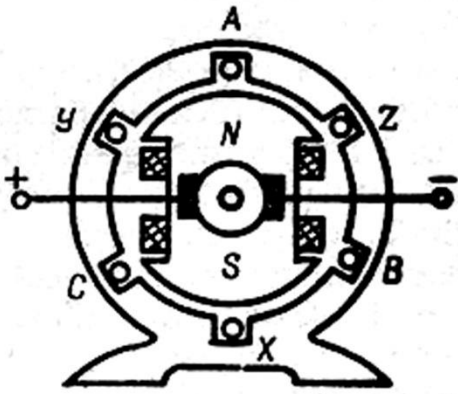


- 1 — робоча обм.  $X_L$ ;
- 2 — пускова обм. R;
- 3 — короткозамкнений ротор

**Двофазний асинхронний двигун**



- 1 — робоча обм.  $X_L$ ;
- 2 — пускова обм.  $X_L$ ;
- 3 — короткозамкнений ротор;
- 4 — конденсатор

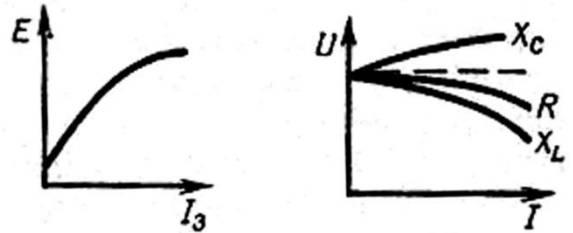


Статор: станина, осердя, трифазна обмотка  
 Ротор: вал, осердя полюсів, обмотка збудження, контактні кільця  
 Підшипникові щити (графітні щітки)

Синхронний генератор. -  $I$  протікає по обмотці збудження і намагнічує ротор. Це поле перетинає трифазну обмотку статора й індукує в ній трифазну е. р. с.

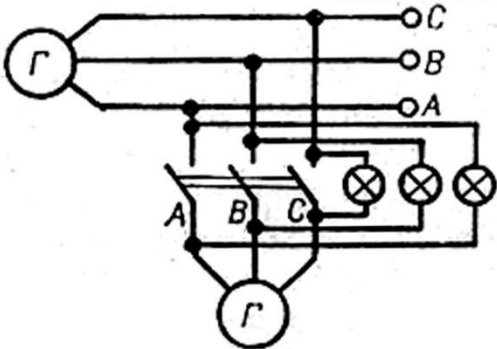
$$I = cn\Phi$$

Генератори бувають:  
 з машинним збудженням;  
 із самостійним збудженням.



Реакція якоря - взаємодія поля статора з полем ротора - поперечна  $R$ ;  
 поздовжньо-розмагнічуюча  $X_L$ , поздовжньо-намагнічуюча  $X_C$

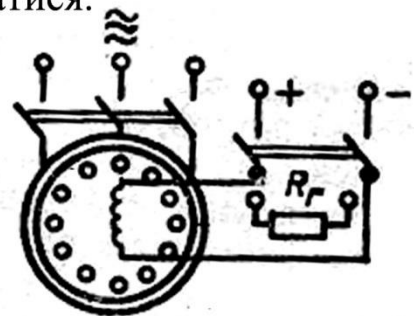
## ПАРАЛЕЛЬНА РОБОТА ГЕНЕРАТОРІВ



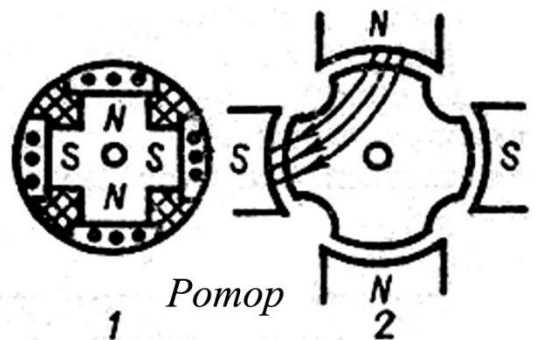
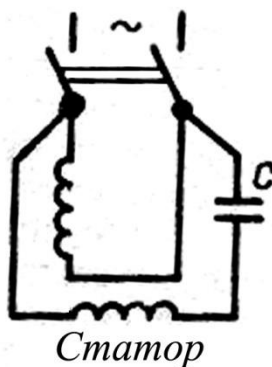
- 1)  $f_1 = f_2$  (змінюючи  $n$ )
- 2)  $U_1 = U_2$  (змінюючи  $I_3$ )
- 3)  $U_1$  і  $U_2$  — у протифазі (синхроскоп);
- 4) правильне чергування фаз (фазопоказчик)

Синхронні двигуни.  $\approx I$  в обмотці статора  $\rightarrow$  обертове магнітне поле, яке взаємодіє з магнітним полем ротора і примушує ротор обертатися.

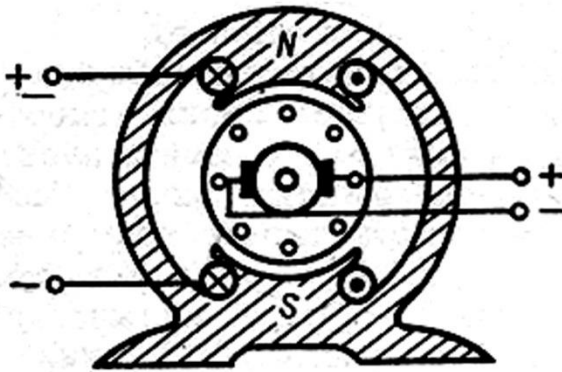
- 1)  $n$  - не залежить від навантаження
- 2) Високий  $\cos \Phi$ , може підвищувати  $\cos \Phi$
- 3) Немає пускового моменту



Синхронні двигуни малої потужності:  
 1 - з постійними магнітами;  
 2 - реактивні.







Статор:  
 станина  
 осердя полюсів  
 обмотка збудження

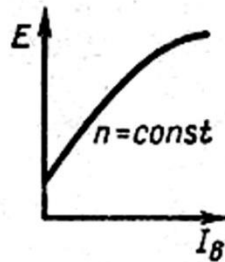
Якір:  
 вал  
 осердя якоря  
 колектор

Підшипникові щити, графітні щітки

## Генератор

Обмотка якоря перетинається магнітним полем статора і в ній індукується е. р. с.  $E$ :

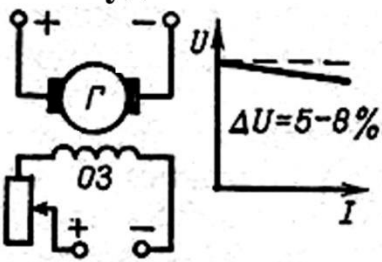
$E = c n \Phi$ ,  
 $n$  — частота обертання якоря;  
 $\Phi$  — магн. потік статора  
 $c$  — коефіцієнт (залежить від конструкції)



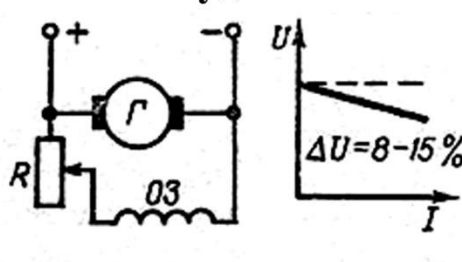
Реакція якоря - взаємодія магнітного поля якоря з магнітним полем статора. Зменшується  $E$ . Згоряють щітки.

## Типи генераторів

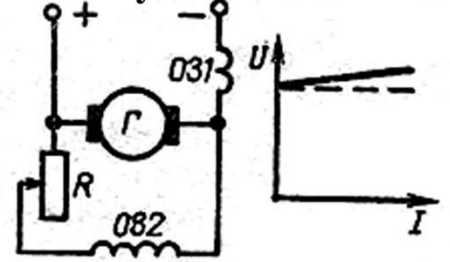
З незалежним збудженням



З паралельним збудженням



Із змішаним збудженням



## Двигун

Взаємодія обмотки якоря, по якій протікає струм, з магнітним полем статора → обертальний момент  $M$

$$M = c \Phi I_a \quad I_a = \frac{U - E_{пр}}{R_a}$$

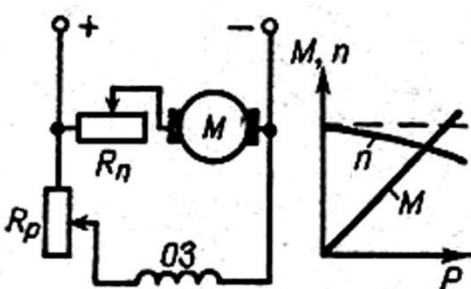
$$n = \frac{U - I_a R_a}{c \Phi} \quad E_{пр} \text{ — протидіюча е. р. с.;} \\ R_a \text{ — опір якоря.}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} \text{ — корисна}$$

$$\Delta P = \Delta P_{ел} + \Delta P_{маг} + \Delta P_{мех} \text{ — втрати}$$

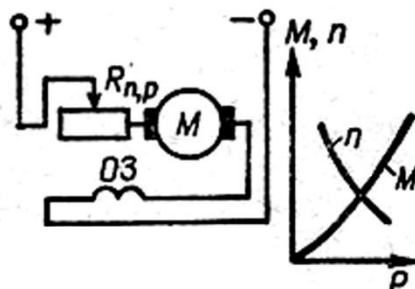
## Типи двигунів

З паралельним збудженням



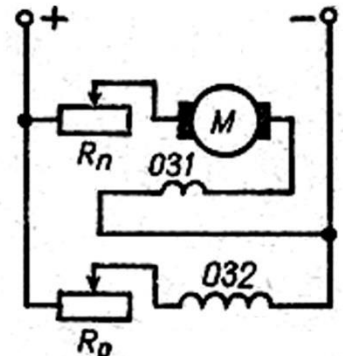
Обрив кола збудження іде в рознос

З послідовним збудженням



Іде в рознос без навантаження

Із змішаним збудженням



Не іде в рознос