



МАГНІТНІ КОЛА

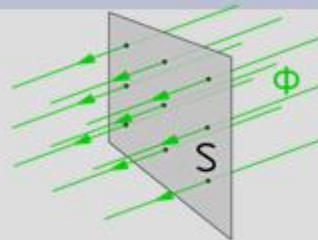
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ І ЗАКОНИ МАГНІТНИХ КІЛ

1. Як проявляє себе магнітне поле
2. Параметри, що характеризують магнітне поле

Магнітний потік Φ

$$\Phi = BS \cos \alpha$$



Індукція магнітного поля $\vec{B}$ $B = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S}$ $B = \frac{\Phi}{S}$

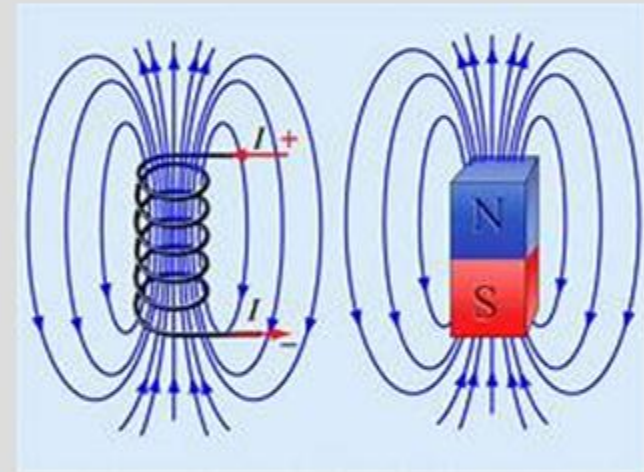
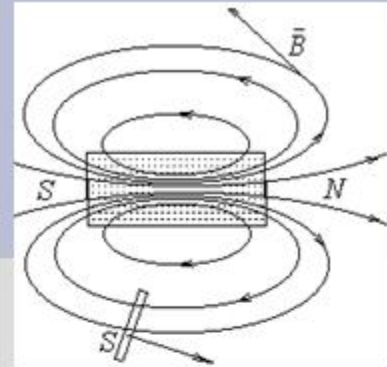
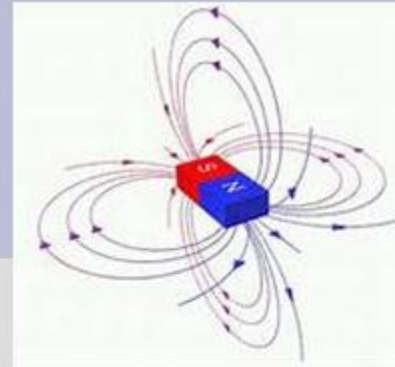
Напруженість магнітного поля $\vec{H}$ $\vec{B} = \mu_a \vec{H}$

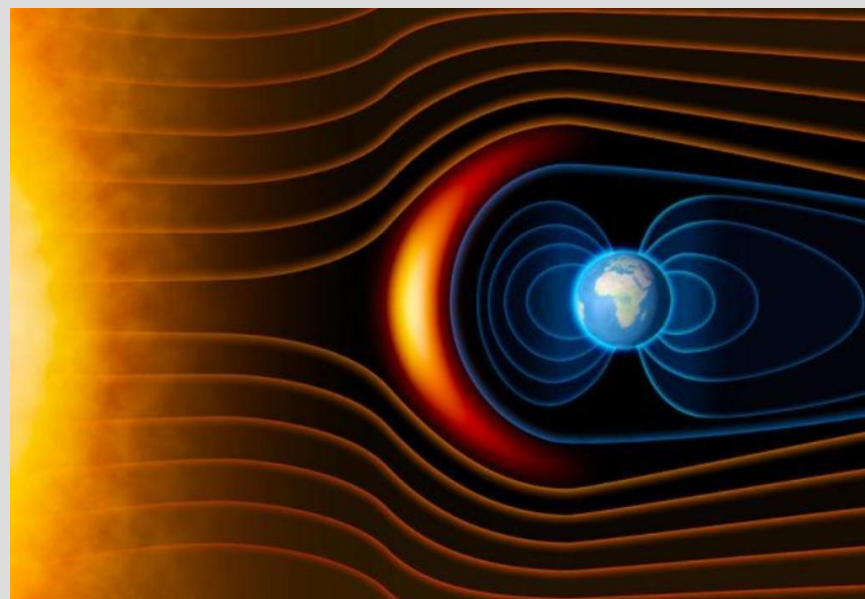
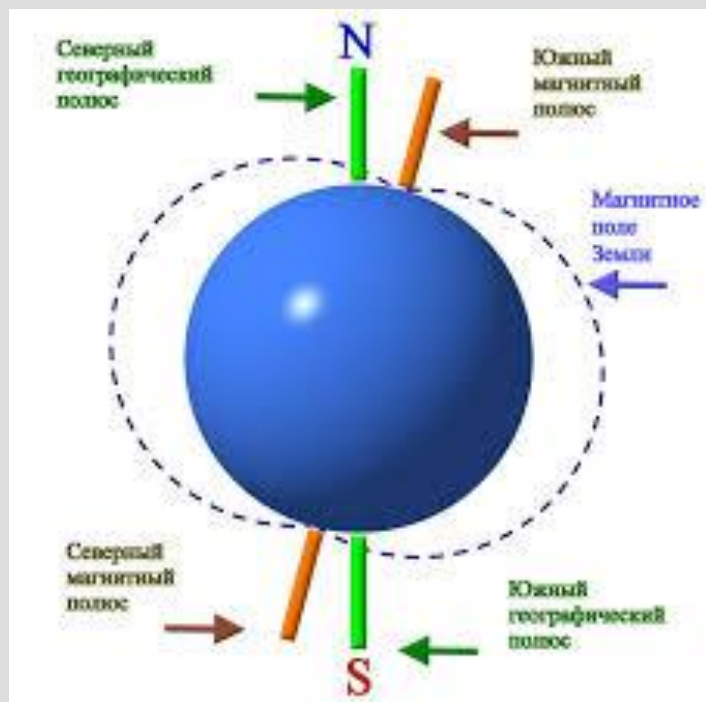
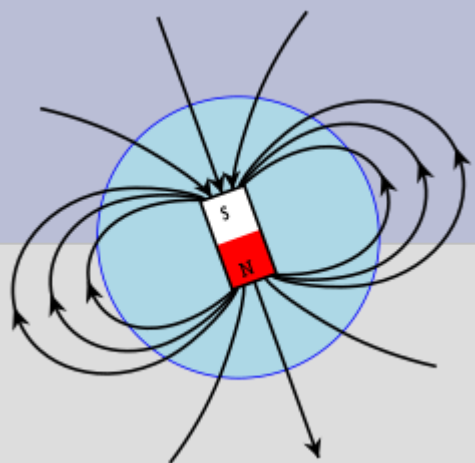
Відносна магнітна проникливість $\mu_r = \mu_a / \mu_0$

В вакуумі $B = \mu_0 H$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$

Потік вектору індукції магнітного поля
через замкнену поверхню

$$\Phi = \oint_S \vec{B} d\vec{s} = 0$$

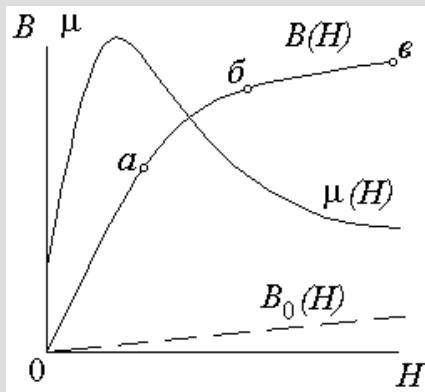




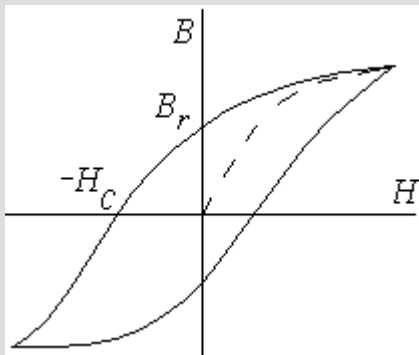
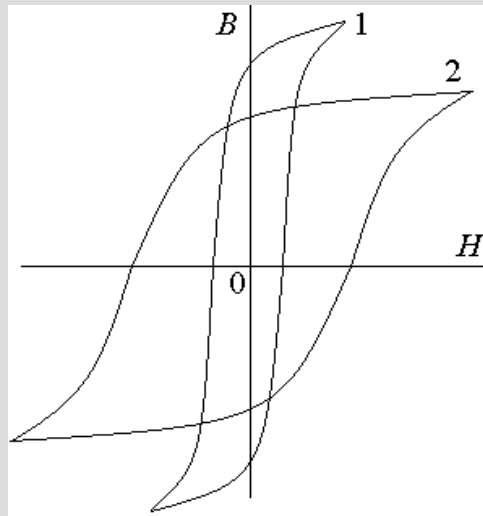
Магнітні властивості матеріалів

Немагнітні матеріали (пара- і діамагнетики):
відносна магнітна проникливість $\mu_r \approx 1$.

Магнітні матеріали (ферромагнетики): відносна магнітна
проникливість $\mu_r \gg 1$.



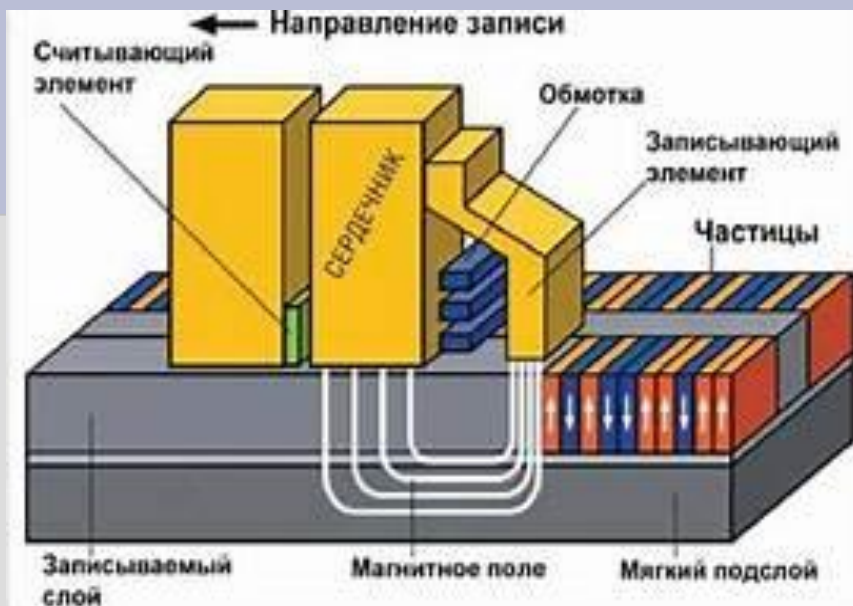
Крива намагнічування $B(H)$ та
залежність $\mu(H)$ для ферромагнетиків



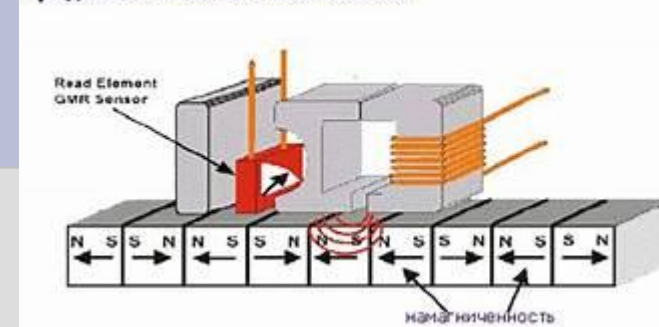
Петля гістерезису



Магнітні накопичувачі інформації



Продольная технология записи



Технология перпендикулярной записи (PMR)

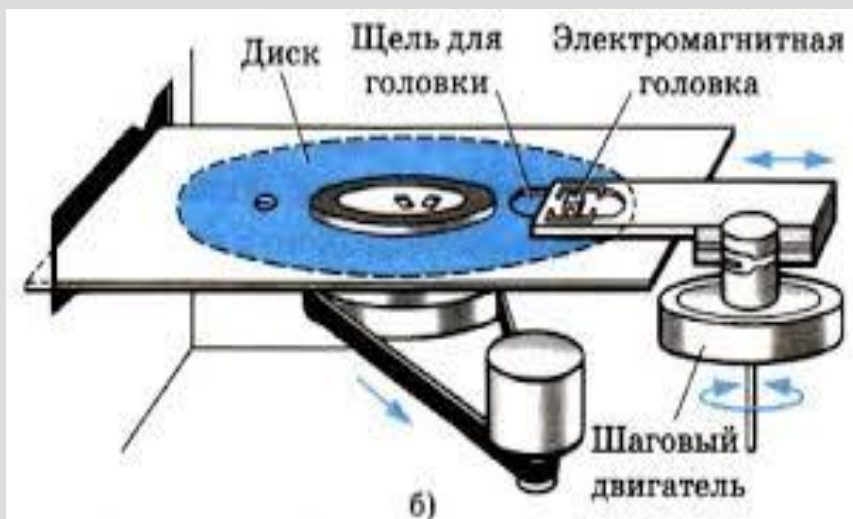
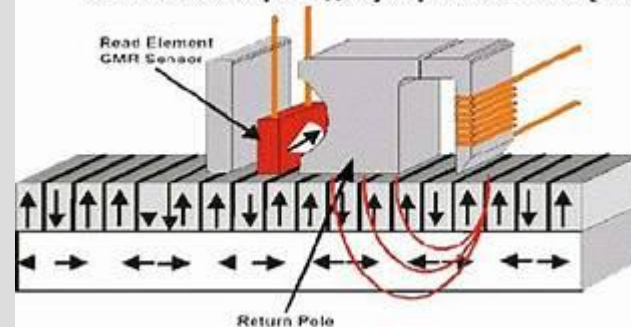


Рис. 1.29



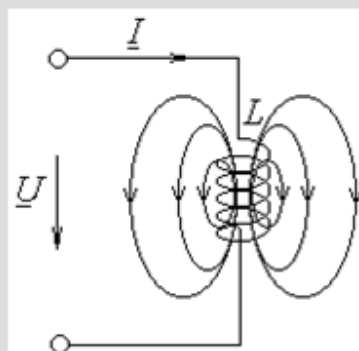
Закон електромагнітної індукції

Електромагнітною індукцією називають явище збудження ЕРС у контурі при зміні магнітного потоку, зчепленого з ним. Індукована ЕРС дорівнює швидкості потоку, зчепленого з контуром

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Правило Ленца

Струм, створюваний у замкнутому контурі індукованої ЕРС, завжди має такий напрям, що магнітний потік струму протидіє зміні магнітного потоку зовнішнього поля, яке його спричинило



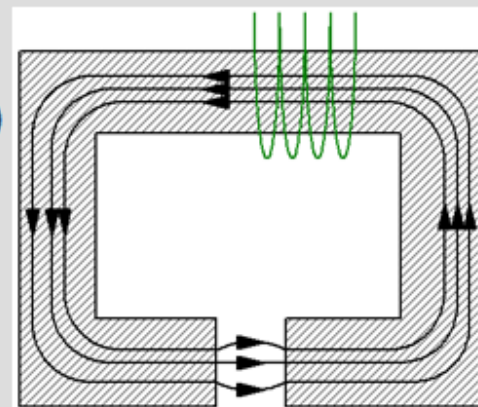
Магнітне поле
багатовиткової обмотки

ЕРС, індукована в обмотці, дорівнює сумі ЕРС кожного витка

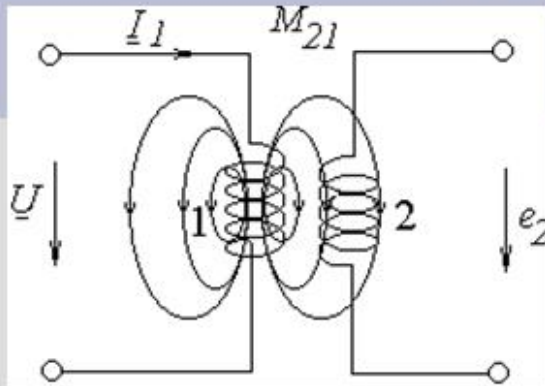
$$e = \sum_{k=1}^w e_k \quad e = \sum_{k=1}^w e_k = - \frac{d}{dt} (\Phi_1 + \Phi_2 + \dots + \Phi_w)$$

Потокозчеплення обмотки $\Psi = (\Phi_1 + \Phi_2 + \dots + \Phi_w)$

$$e = - \frac{d\Psi}{dt} \quad \Psi = w\Phi \quad e = -w \frac{d\Phi}{dt}$$



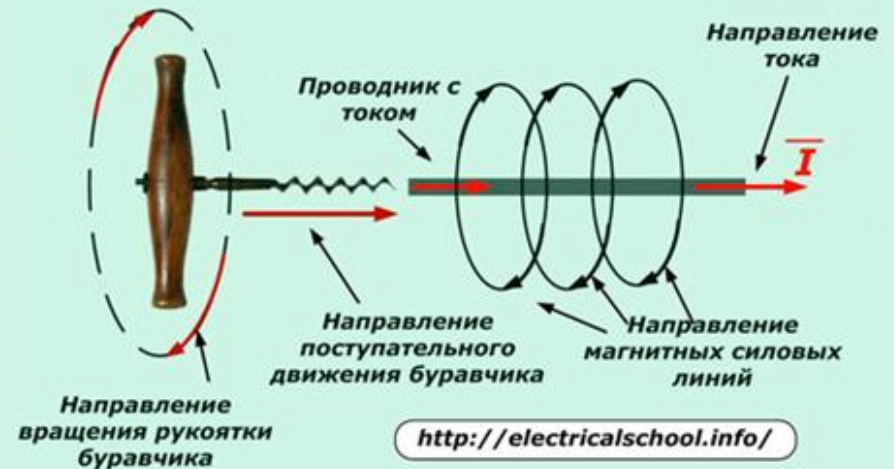
ЕРС само- і взаємоіндукції



$$e_2 = -M_{21} \frac{di_1}{dt}$$

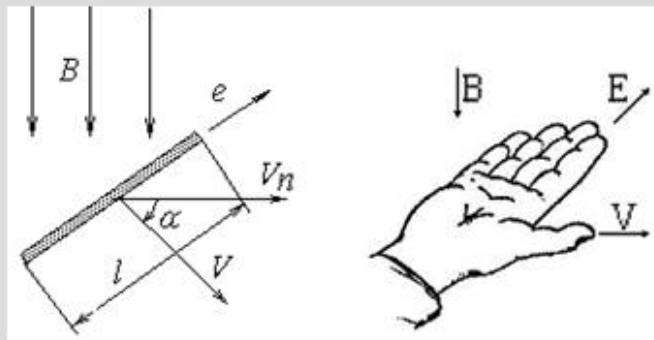
$$M_{21} = \frac{\Psi_2}{i_1}$$

Правило буравчика для прямолинейного проводника



Закон електромагнітної індукції

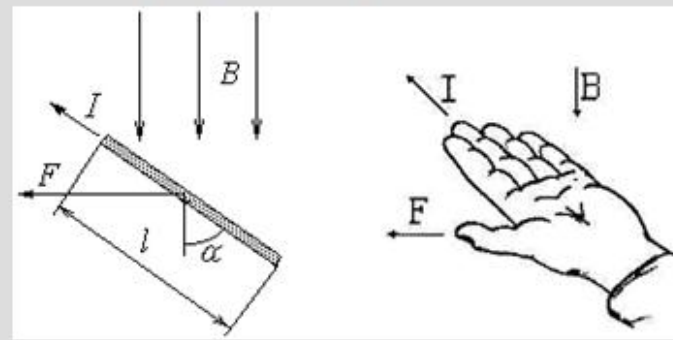
$$E = B \cdot l \cdot V \sin \alpha$$



правило правої руки

Закон Ампера

$$F = B \cdot l \cdot I \sin \alpha$$



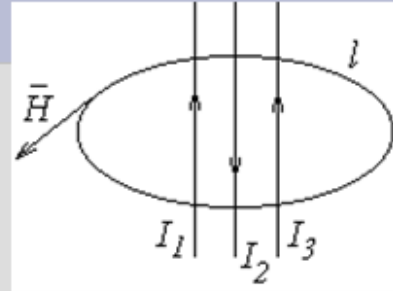
правило лівої руки

Закон повного струму

Лінійний інтеграл від вектору напруженості магнітного поля вздовж будь-якого замкненого контуру, який пронизують провідники зі струмом, дорівнює повному струму, що охоплює даний контур

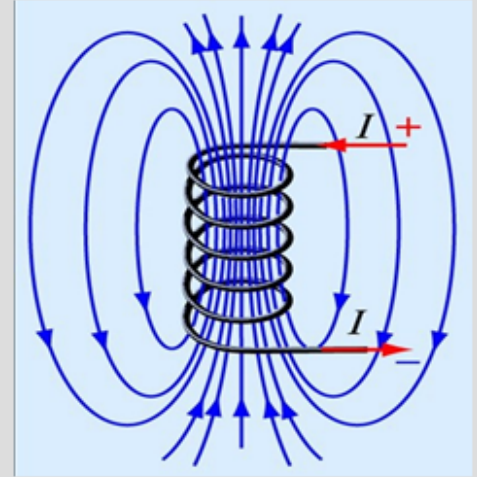
$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \sum I_k$$

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = I_1 - I_2 + I_3$$



Для багатовиткової обмотки з числом витків w :

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = wI$$

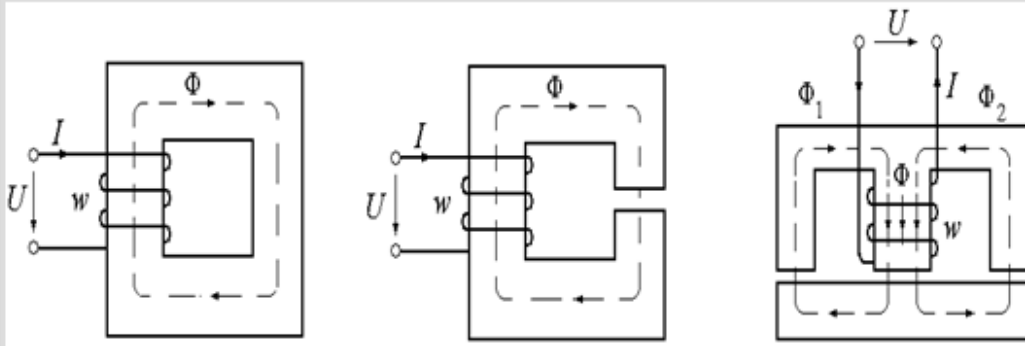


Магніторушійна сила (МРС): $F = wI$

При практичних розрахунках: $\oint \vec{H} d\vec{l} = \sum_{k=1}^n H_k l_k$

$$\sum_{k=1}^n H_k l_k = \sum_{k=1}^m I_k w_k$$

Класифікація магнітних кіл



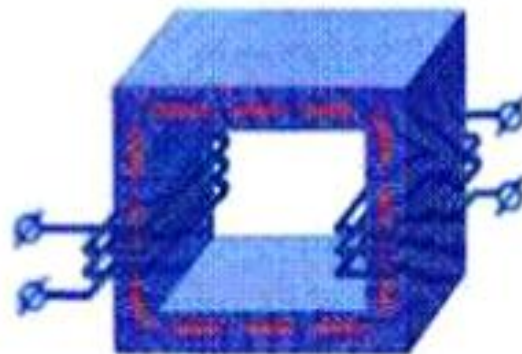
Правило буравчика для кольцевого проводника



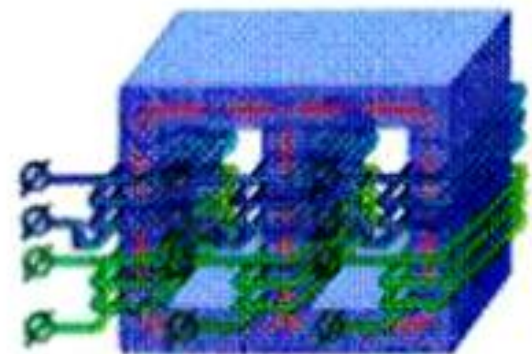
Однородная магнитная цепь



Катушка с тороидальным сердечником



Однофазный трансформатор



Трехфазный трансформатор

Неоднородная магнитная цепь



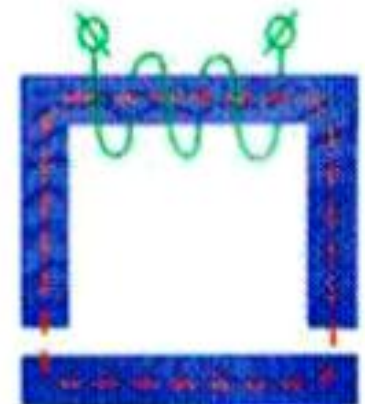
Машина постоянного тока



Магнитоэлектрический измерительный механизм

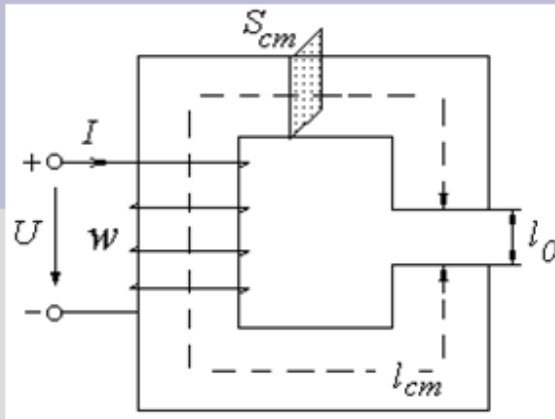


Электромагнитное реле



Подъемный электромагнит

Котушка зі сталевим осердям



$$H_{\text{нб}} \cdot l_{\text{нб}} + H_0 \cdot l_0 = I \cdot w$$

$$H = \frac{B}{\mu_a}$$

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

$$H = \frac{\Phi}{\mu_a S}$$

$$\frac{\Phi \cdot l_{\text{нб}}}{\mu_{\text{нб}} S_{\text{нб}}} + \frac{\Phi \cdot l_0}{\mu_0 S_0} = I \cdot w$$

$$\Phi = \frac{I \cdot w}{\frac{l_{\text{нб}}}{\mu_{\text{нб}} S_{\text{нб}}} + \frac{l_0}{\mu_0 S_0}} = \frac{I \cdot w}{\sum R_M}$$

Закон Ома для магнітного кола

$$R_{M_0} = \frac{l_0}{\mu_0 S_0} \quad R_{M_{\text{нб}}} = \frac{l_{\text{нб}}}{\mu_{\text{нб}} S_{\text{нб}}}$$

Аналогія між електричними і магнітними колами

Електричні величини	Позначення і вираз		Магнітні величини	Позначення і вираз
Струм	I	-	Потік	Φ
ЕРС	E	-	МРС	$F = wI$
Опір	$R = \rho \frac{l}{S}$	-	Опір	$R_M = \frac{l}{\mu_a S}$
Напруга	$U = I \cdot R$	-	Напруга	$U_M = H_k l_k = \Phi \cdot R_{M_k}$
Питома провідність	$\gamma = \frac{1}{\rho}$	-	Магнітна проникливість	μ_a

1-й закон Кірхгофа для магнітного кола:

Сума магнітних потоків віток розгалуженого магнітного кола у вузлі дорівнює нулю

$$\sum_k \Phi_k = 0$$

2-й закон Кірхгофа для магнітного кола:

МРС нерозгалуженого неоднорідного магнітного кола дорівнює арифметичній сумі падінь магнітних напруг на окремих її ділянках

$$\sum_k U_{M_k} = \sum_k F_k$$

Принцип розрахунку магнітних кіл постійного струму

Задано: потік магнітний потік Φ , розміри магнітопроводу, матеріал осердя, марка сталі, крива намагнічування $B(H)$.

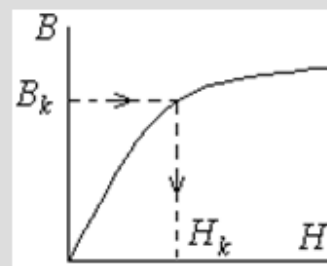
Задача: Знайти $F = wI$ – МРС обмотки, необхідну для створення цього магнітного потоку Φ .

1. Коло розбивається на ділянки
2. Визначаємо індукцію на кожній ділянці:
3. Визначаємо напруженість H_k

4. Знаходимо МРС

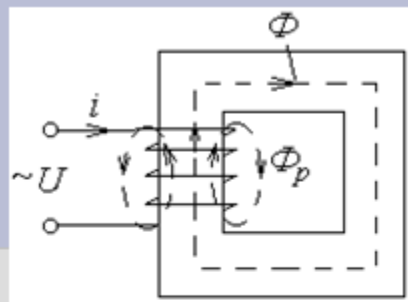
$$F = I \cdot w = \sum_{k=1}^n H_k l_k$$

$$I = \frac{F}{w}$$



$$H_k = \frac{B_k}{\mu_0}$$

МАГНІТНІ КОЛА ЗІ ЗМІННОЮ МАГНІТОРУШІЙНОЮ СИЛОЮ



$$\Phi \Rightarrow e = -w \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\Phi_{\delta} \Rightarrow e_{\delta} = -w \frac{d\Phi_{\delta}}{dt}$$

За другим законом Кірхгофа:

$$u = -e - e_p + i \cdot R$$

Форми залежностей ЕРС і струму від часу для ідеалізованої котушки зі сталевим осердям

$$u_s = U_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$u_s = -e = w \frac{d\Phi}{dt} \quad e = E_m \left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

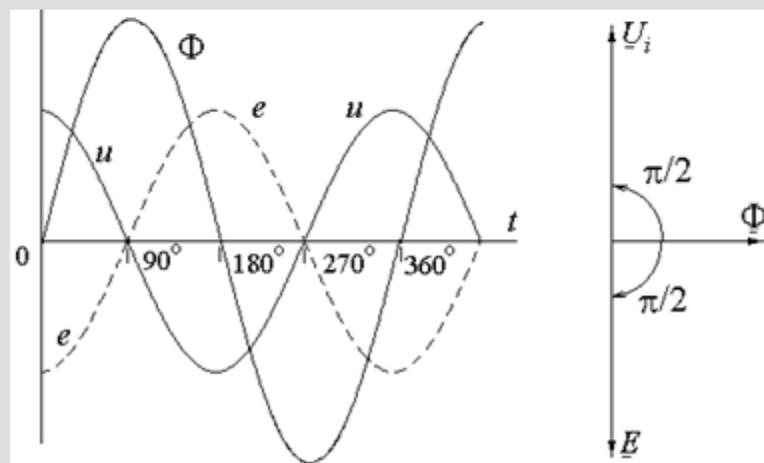
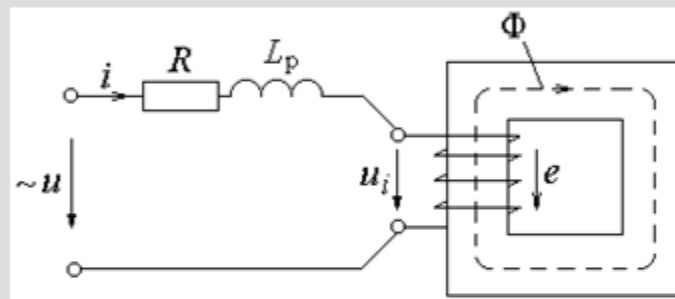
$$e = -w \frac{d\Phi}{dt} = E_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = -E_m \cos \omega t$$

$$\Phi = -\frac{1}{w} \int e dt = -\frac{1}{w} \int E_m \cos \omega t dt = \frac{E_m}{w \cdot \omega} \sin \omega t = \Phi_m \sin \omega t$$

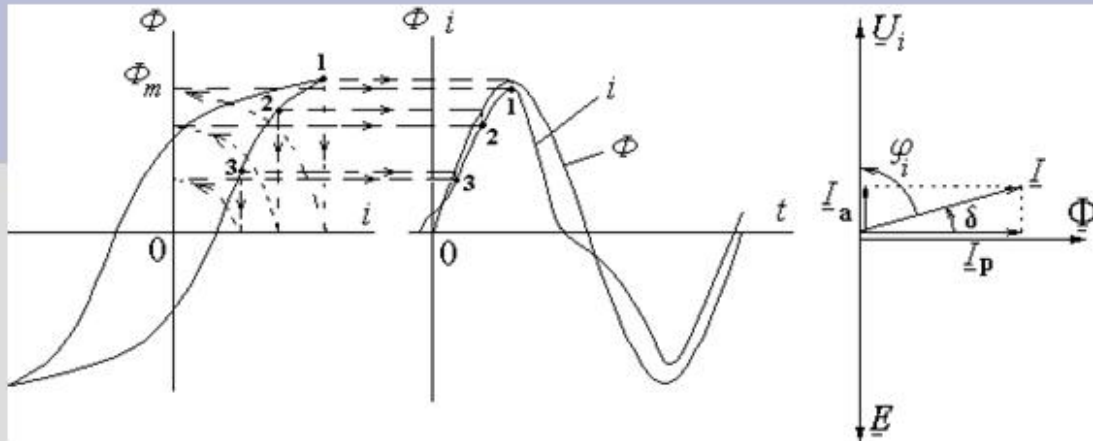
$$\Phi_m = \frac{E_m}{\omega \cdot w}$$

$$\omega = 2\pi \cdot f$$

$$E = \frac{2\pi \cdot f \cdot w}{\sqrt{2}} \Phi_m = \sqrt{2} \pi f w \Phi_m = 4,44 w \cdot f \cdot \Phi_m$$



Побудова графіка змінного струму (а) та векторна діаграма (б) ідеалізованої котушки зі сталевим осердям



$$\underline{I} = \underline{I}_a + \underline{I}_p$$

$$I_p = I \cos \delta$$

$$I_a = I \sin \delta$$

δ - кут магнітного запізнювання або кут втрат в сталі (складає декілька градусів)

φ_i - кут зсуву фаз між напругою U_i та струмом I .

Активна потужність

$$P_i = U_i I \cos \varphi_i = U_i I \sin \delta = U_i I_a$$

Реактивна потужність

$$Q_e = U_e I \sin \varphi_e = U_e I \cos \delta = U_e I_p$$



Векторна діаграма і втрати реальної котушки

$$\underline{U} = -\underline{E} - \underline{E}_p + \underline{I} \cdot R \quad \underline{E}_p = -\underline{U}_p = -jX_p \underline{I} \quad u = -e - e_p + i \cdot R$$

$$\underline{U} = -\underline{E} + jX_p \underline{I} + \underline{I} \cdot R$$

Активна потужність, яку споживається котушкою

$$P = UI \cos \varphi \quad U \cos \varphi = IR + E \cos \varphi_i = IR + E \cos(90^\circ - \delta)$$

$$P = UI \cos \varphi = I^2 R + IE \cos \varphi_i = \Delta P_i + \Delta P_{\text{нб}}$$

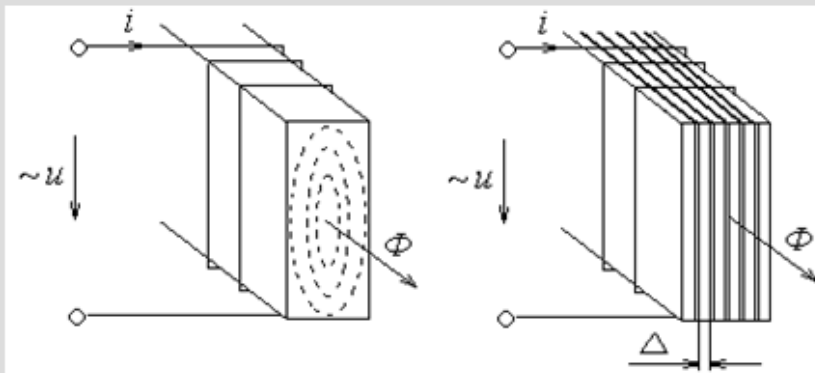
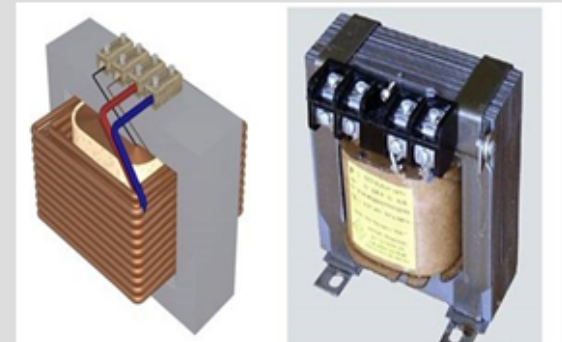
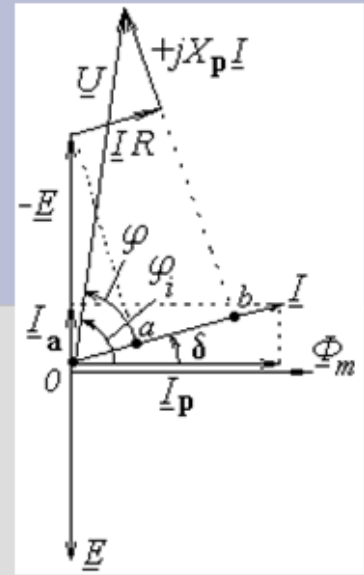
$\Delta P_i = I^2 R$ потужність, що витрачається в активному опорі обмотки.
Її називають втратами у міді

$\Delta P_{\text{нб}} = IE \cos \varphi_i = EI \sin \delta$ втрати у сталі осердя

$$\Delta P_{\text{нб}} = P_{\tilde{\alpha}} + P_{\tilde{\omega}}$$

$P_{\tilde{\alpha}}$ – втрати на гістрезис; $P_{\tilde{\alpha}} = \sigma_{\tilde{\alpha}} f \cdot B_m^n G$

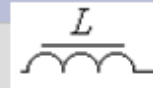
$P_{\tilde{\omega}}$ – втрати на вихрві струми. $P_{\tilde{\omega}} = \sigma_{\tilde{\omega}} f^2 B_m^2 G \cdot \gamma$



ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПРИСТРОЇ

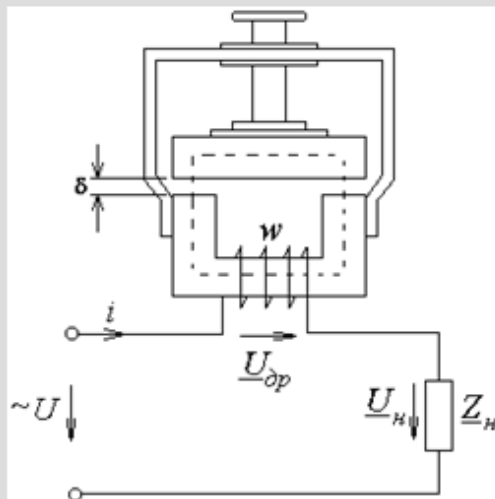
ДРОСЕЛІ РЕГУЛЮВАЛЬНІ

Дроселем називають котушку з феромагнітним осердям і змінною індуктивністю, яка вмикається у коло змінного струму послідовно з навантаженням для регулювання струму або напруги



$$Z_{\partial p} = \frac{U_{\partial p}}{I} = \sqrt{R_{\partial p}^2 + X_{\partial p}^2}$$

Дросель з регулюванням повітряним проміжком



$$R_M = R_{Mcm} + R_{M0} \approx R_{M0} = \frac{2\delta}{\mu_0 S}$$

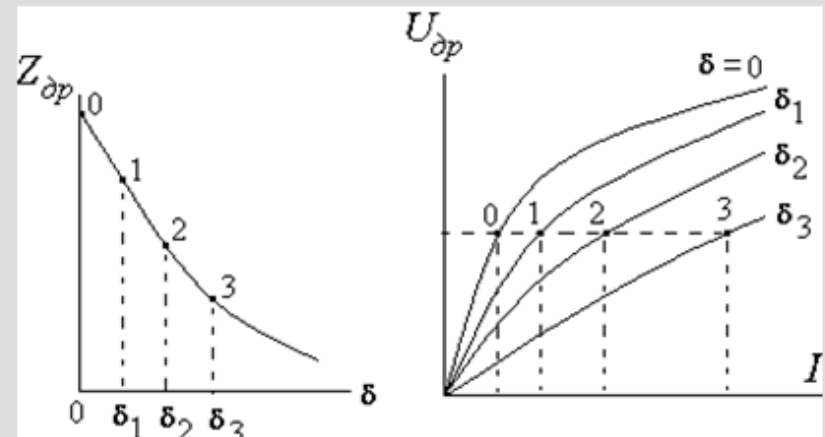
$$L = \frac{\Psi}{i} = \frac{w\Phi}{i}$$

$$\Phi = \frac{F}{R_M} = \frac{i \cdot w}{R_M}$$

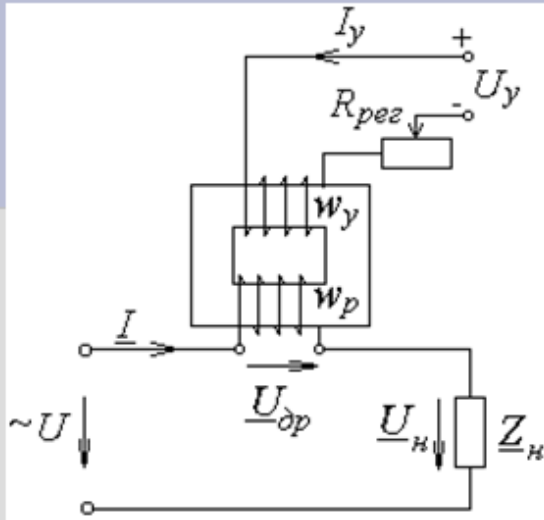
$$L = \frac{w^2}{R_M}$$

$$L_{\partial p} \approx \frac{\mu_0 \cdot S \cdot w^2}{2\delta}$$

$$X_{\partial p} = \omega \cdot L_{\partial p} \approx \frac{\mu_0 w^2 S \cdot \omega}{2\delta}$$



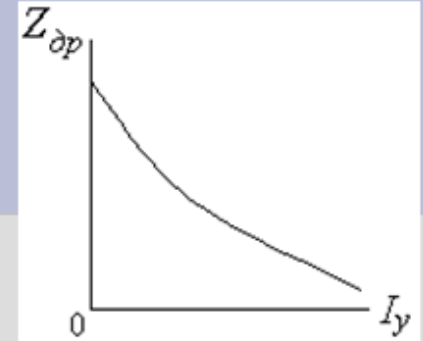
Дроселі насичення



Змінення $I_{кер}$ за допомогою регулювального реостата змінює ступінь насичення осердя, тобто його абсолютну магнітну проникливість μ_a (зменшується зі збільшенням струму $I_{кер}$), від значення якої залежить індуктивність дроселя

$$L_{\partial p} = w^2 \frac{\mu_a S}{l}$$

$$I_y \uparrow \Rightarrow \mu_a \downarrow \Rightarrow L_{\partial p} \downarrow \Rightarrow X_{\partial p} = \omega L_{\partial p} \downarrow \Rightarrow Z_{\partial p} \downarrow \Rightarrow I$$



Електромагніти силові

До силових відносять тягові, вантажопідйомні і гальмівні електромагніти, що перетворюють електричну енергію у механічну.

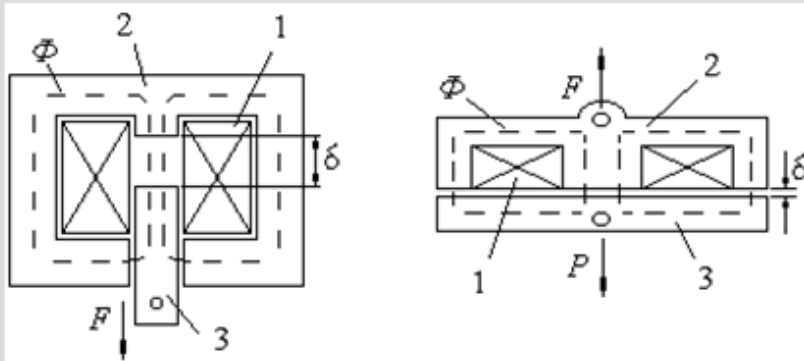


Схема тягового (а) і вантажопідйомного (б) електромагнітів: 1 – обмотка; 2 – осердя; 3 – яр

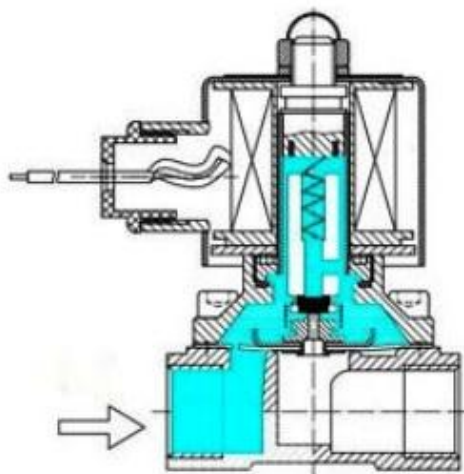
Сила тяги одного полюса електромагніта:

$$F = \frac{P}{2} = \frac{B^2 S}{2 \cdot \mu_0} = \frac{\Phi^2}{2 \cdot \mu_0 S}$$

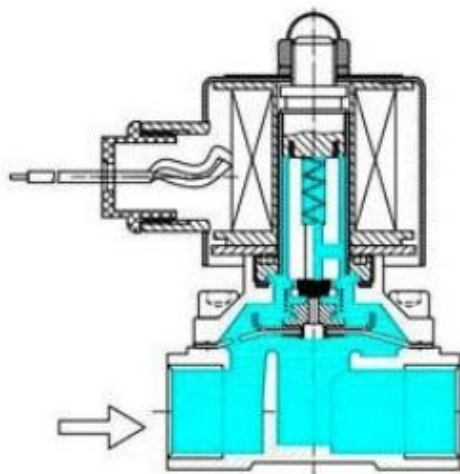


Електромагнітні клапани

Ток через катушку отсутствует -
трубопровод перекрыт

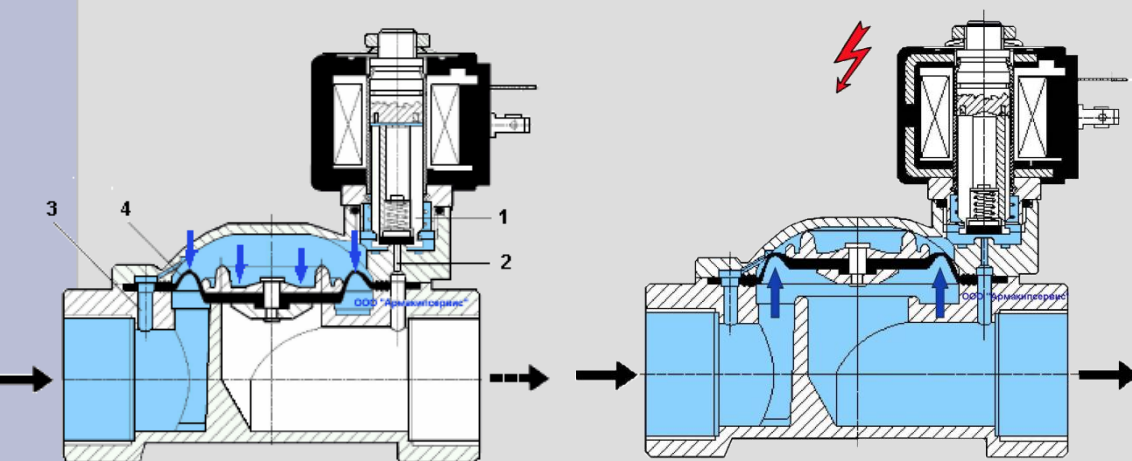


Ток через катушку подан -
трубопровод открыт



Нормально-закрытый клапан прямого действия

Електромагнітний клапан являє собою вид запірно-регулюючої арматури, яка монтується на трубопровід з метою дистанційного відкриття / закриття потоку: стисненого повітря, пара, води (гарячої й холодної, технічної), тосола, нафтопродуктів, масла, спирту та ін.



<http://kip-expert.by>

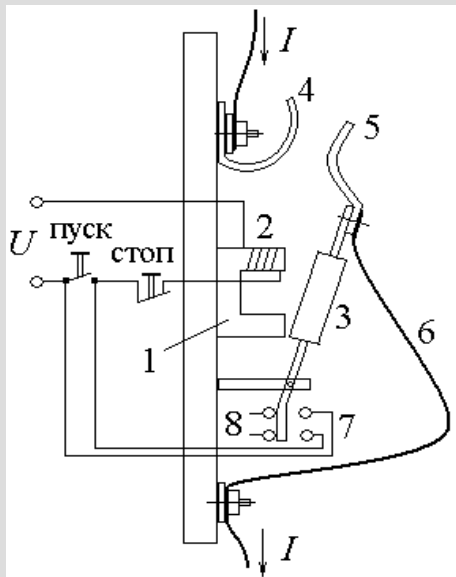
Електричні апарати

Електричні апарати — це електротехнічні пристрої, які призначені для включання — виключання і захисту електричних кіл



Контактори

Контактор – двопозиційний апарат, призначений для частих вмикань та вимикань електродвигунів та інших силових кіл змінного струму з напругою до 660 В і кіл постійного струму з напругою до 440 В. По суті контактор – це вимикач з електромагнітним керуванням. Його головні (лінійні) контакти, які вмикаються послідовно у силове коло, замикаються силою тяги електромагніта зі струмом у допоміжному (оперативному) колі.

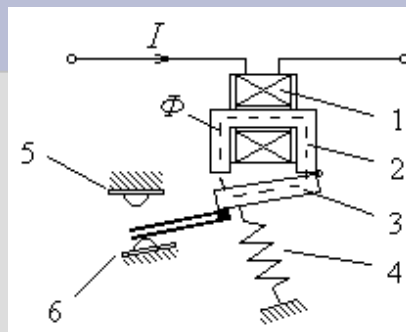


Якщо замкнути коло паралельно ввімкнутій у коло котушки 2 електромагніта 1 (натисканням кнопки «Пуск»), то сталевий якір 3 притягнеться до осердя і замкнуться головні контакти 4, 5 (рис.7.5,а). В результаті через гнучкий провідник 6 замкнеться силове коло зі струмом I у навантаженні, наприклад електродвигун з джерелом живлення. Одночасно перемикаються блокувальні контакти 7 і 8, і замикальні контакти 7 шунтують пускову кнопку. Відключення з поверненням його у вихідне положення під дією власної маси і зворотної пружини (при її наявності) здійснюється через розрив кола струму в котушці 2 (натисканням кнопки «Стоп»)

Реле захисні

Електричним реле називають апарат, призначений для автоматичного спрацьовування (включення або відключення) при зміні якогось електричного параметра кола (струму, напруги тощо) або неелектричного параметра, на який він має реагувати

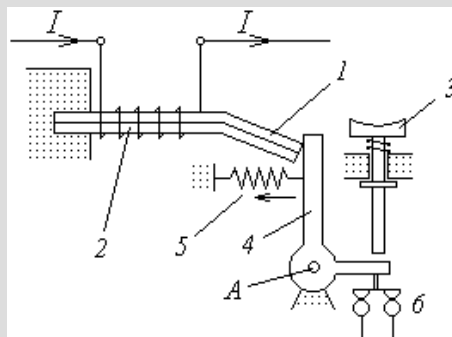
Реле максимального струму



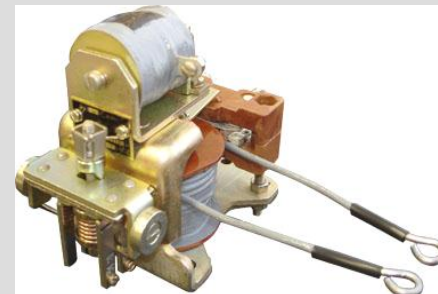
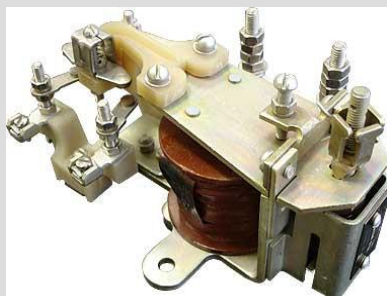
Конструктивна схема реле максимального струму: 1 – обмотка; 2 – осердя; 3 – якор; 4 – пружина; 5 – контакти замикальні; 6 – контакти розмикальні

Тепловое реле

Теплове реле призначено для захисту електроапаратури від тривалих перевантажень



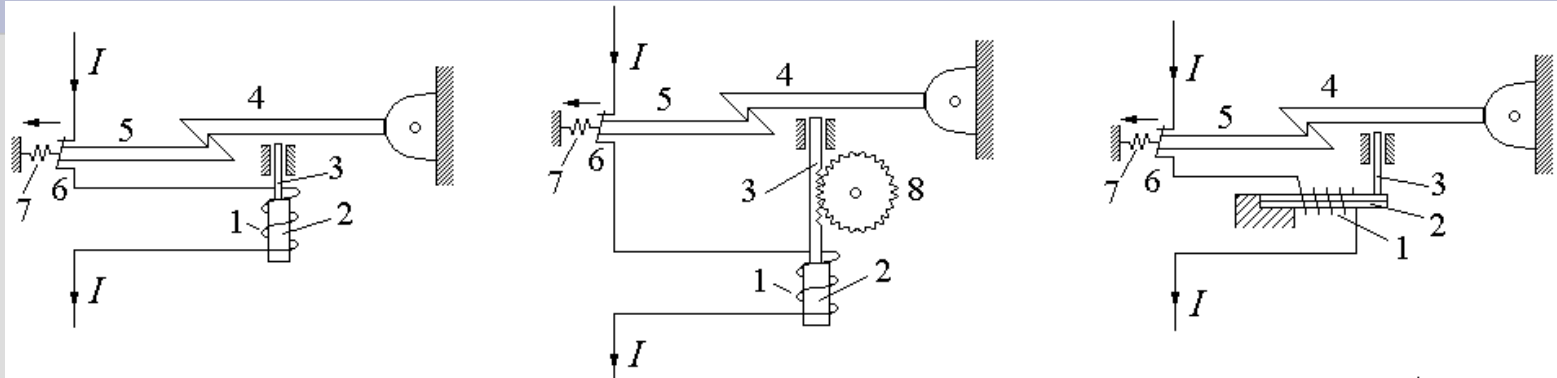
При нагріві біметалічна пластина 1 у нагрівачу 2 (ніхромова проволочка) деформується, її зігнутий кінець піднімається і вивільняє важіль 4 при спрацьовуванні. Важіль 4 обертається пружиною 5 вліво відносно осі А і своїм кінцем розмикає нормально замкнені контакти 6 кола керування двигуна. Після охолодження пластини протягом 3-5 мін вихідний стан реле може бути відновлений натисканням на кнопку повернення 3



Реле максимального струму серії РЕВ570 (а), реле теплове РТТ – 141 (б) та реле максимального струму з самоповерненням РЕМ65

Повітряні автоматичні вимикачі

Повітряний автоматичний вимикач (автомат) – це комплектний комутаційний апарат багаторазової дії, який складається з силових контактів з дугогасильним пристроєм, механізму вільного розчеплення, елементів захисту – розчіплювачів та привода. В електричних колах вони виконують функції рубильника та запобіжника



автомат з *електромагнітним* розчіплювачем максимального струму

електромагнітний розчіплювач максимального струму годинниковим механізмом 8, який гальмує переміщення ударника 3 при струмах спрацьовування на заданий час

автомат з тепловим розчіплювачем



Загальний вигляд установочних автоматів серій А 3700 (а), ВА-СЭЦ (б) та ВА57-39 (в)

Thanks for your attention