

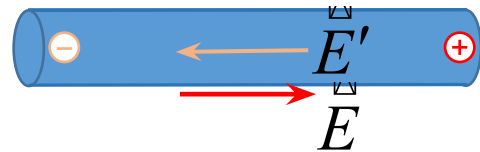


# Постійний електричний струм

# Умови існування електричного струму

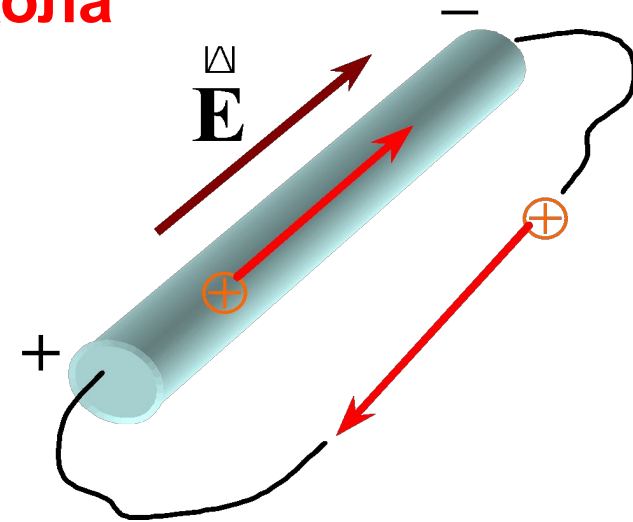
1. Наявність заряджених частинок, які можуть вільно рухатися, які називають **носіями струму**.

Носії струму існують в металах та електролітах – розчинах солей, луг, чи кислот.



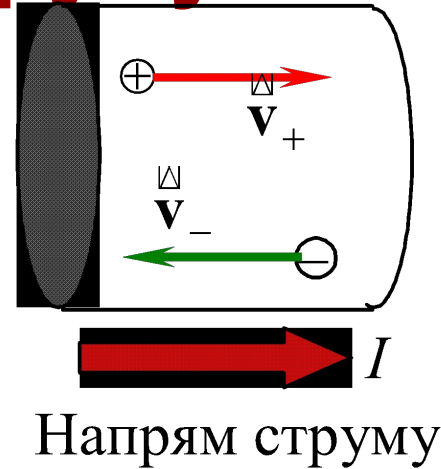
2. Наявність **замкнутого електричного кола**

3. Існування в провіднику ділянки, де діють **сторонні сили**.



# Характеристики електричного струму

**За напрям електричного струму**  
приймають напрямок руху позитивних  
зарядів.



**Сила струму** – це відношення заряду, що проходить по провіднику, до часу його проходження:

$$I = \frac{dq}{dt}$$

**Для постійного струму** сила  
струму

$$I = \frac{q}{\Delta t}$$

**Густина  
струму**

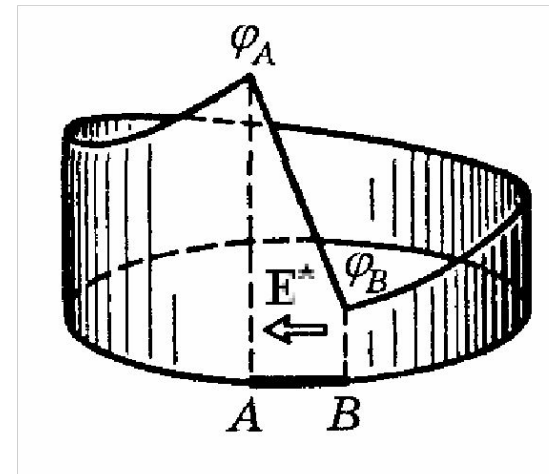
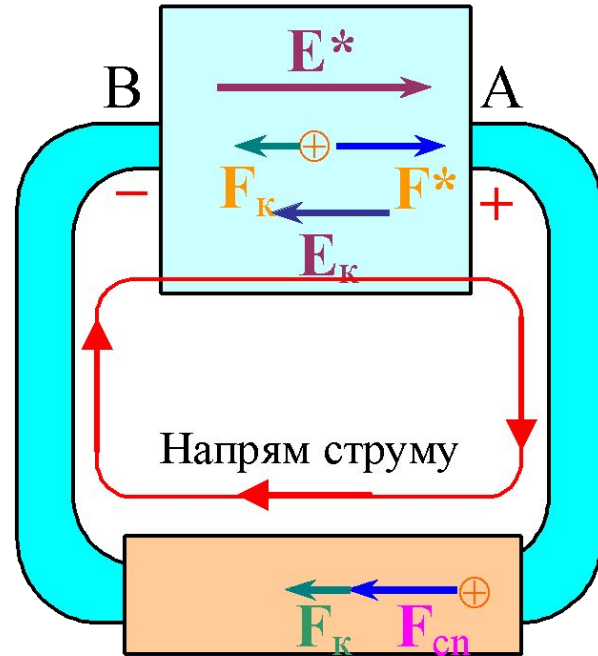
$$j = \frac{dI}{dS_n}$$

При рівномірному розподілі струму по перерізу провідника

$$j = \frac{I}{S_n}$$

$$I = \int_S j dS_n = \int_S \overset{\nabla}{j} d\overset{\nabla}{S}$$

# Електрорушійна сила (ЕРС)



Відношення роботи сторонніх сил до величини перенесеного заряду, називається **електрорушійною силою** (ЕРС)  $\mathbf{E}$ , що діє в колі, або на його ділянці:

$$\mathbf{E} = \frac{A^*}{q}$$

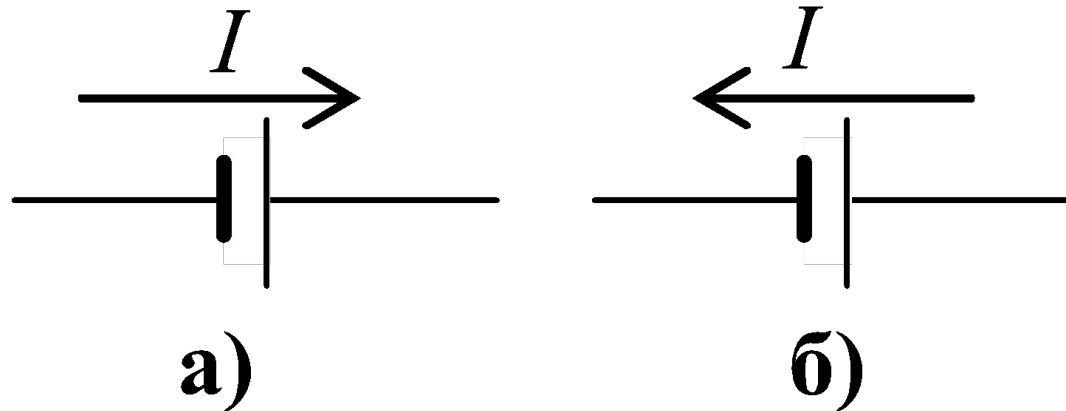
$$\vec{F}^* = q\vec{E}^*$$

$$A^* = \int_B^A \vec{F}^* \cdot d\vec{l} = q \int_B^A \vec{E}^* \cdot d\vec{l} \quad \mathbf{E}_{BA} = \int_B^A \vec{E}^* \cdot d\vec{l}$$

$$\mathbf{E} = \oint \vec{E}^* \cdot d\vec{l}$$

ЕРС є величиною алгебраїчною: якщо напрями векторів  $\vec{E}^*$  та  $d\vec{l}$  співпадають, то ЕРС додатна, якщо не співпадають, – то від’ємна.

У випадку хімічного джерела струму його ЕРС вважається додатна, якщо струм тече так, к показано на рис. **а)** і від’ємна, якщо струм тече так, як на рис. **б)**.





$$\vec{F}_E = q\vec{E}$$

$$\vec{F} = \vec{F}_E + \vec{F}^* = q(\vec{E} + \vec{E}^*)$$

$$A_{12} = q \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{l} + \int_1^2 \vec{E}^* \cdot d\vec{l} = q(\varphi_1 - \varphi_2) + q\mathbf{E}_{12}.$$

$$U = A/q$$

$$U = \frac{A_{12}}{q} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \mathbf{E}_{12}$$

За відсутності сторонніх сил  $U = (\varphi_1 - \varphi_2)$

# Закон Ома. Опір провідників

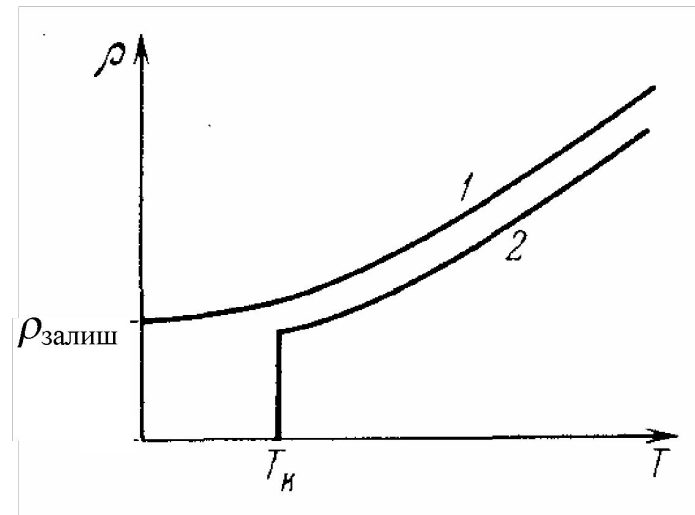
Закон Ома, відкритий експериментально, твердить: **сила струму, що протікає по однорідному металевому провіднику, пропорційна спаду напруги  $U$  на цьому провіднику:**

$$I = \frac{1}{R}U$$

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad \sigma = \frac{1}{\rho} \quad R = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{S}$$

$$dR = \rho dl/dS \quad R = \int \frac{\rho dl}{dS}$$

$$R = R_0 (1 + \alpha t)$$



# Елементарні уявлення про механізм провідності металів

## Модель напрямленого руху електронів

При вміщенні провідника в електричне поле на вільні електрони починає діяти сила  $F = eE$ , ( $e$  – заряд електрона,  $E$  – напруженість електричного поля), і вони набувають прискорення в напрямленому русі. За другим законом Ньютона це прискорення  $a = F/m = eE/m$ . Через певний час відбувається зіткнення електрона з дефектом кристалічної ґратки, в результаті якого він втрачає набуту напрямлену складову швидкості. Після цього електрон знову починає рухатися з прискоренням до наступного зіткнення. Час руху електрона між двома послідовними зіткненнями називають часом релаксації, а пройдену відстань – довжиною вільного пробігу.

Знайдемо середню швидкість напрямленого руху електронів, яку називають дрейфовою швидкістю

$$u = \frac{S}{t} = \frac{at^2}{2t} = \frac{at}{2} = \frac{Ft}{m2} = \frac{eEt}{m2} \quad \langle u \rangle = \frac{eE \langle t \rangle}{2m}$$

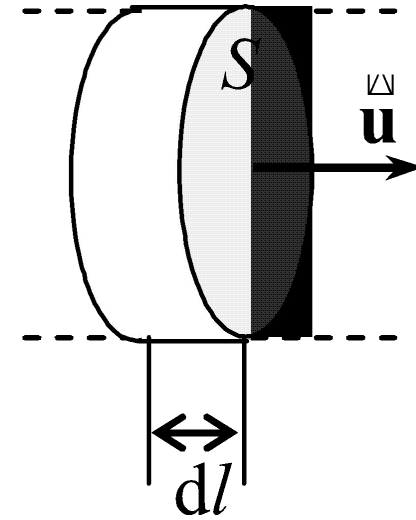
$$\langle \vec{u} \rangle = \frac{e \langle t \rangle}{2m} \vec{E}$$

$$dN = ndV \quad dV = Sdl \quad dt = dl / \langle u \rangle$$

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{edN}{dt} = \frac{en dV}{dt} = \frac{enS dl}{dl / \langle u \rangle} = enS \langle u \rangle$$

$$j = \frac{I}{S} = en \langle u \rangle \quad \vec{j} = en \langle \vec{u} \rangle = en \frac{e \vec{E} \langle t \rangle}{2m} = \frac{e^2 n \langle t \rangle}{2m} \vec{E} \quad \sigma = \frac{e^2 n \langle t \rangle}{2m}$$

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$



# Закон Ома для неоднорідної ділянки електричного кола та для замкнутого кола

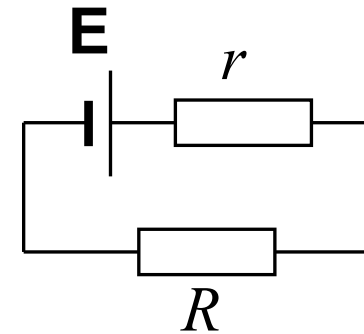
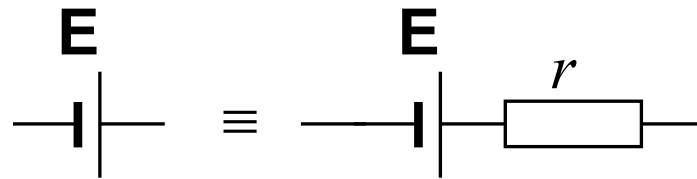
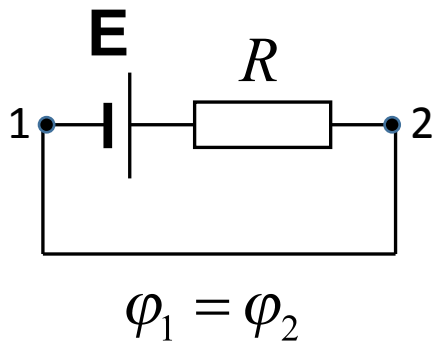
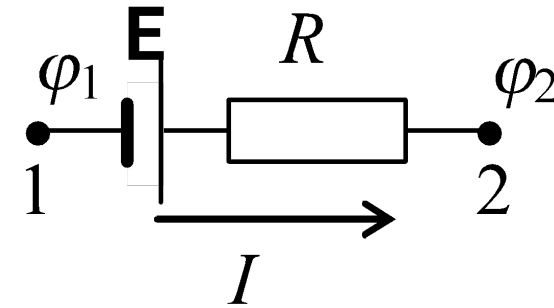
$$\vec{j} = \sigma (\vec{E} + \vec{E}^*)$$

$$\int_0^l \frac{\vec{j} d\vec{l}}{\sigma} = \int_0^l \vec{E} d\vec{l} + \int_0^l \vec{E}^* d\vec{l}$$

$$I \int_0^l \rho \frac{d\vec{l}}{S} = \int_0^l \vec{E} d\vec{l} + \int_0^l \vec{E}^* d\vec{l}$$

$$R = \int_0^l \rho \frac{dl}{S} \quad IR = \int_0^l \vec{E} \cdot d\vec{l} + \int_0^l \vec{E}^* \cdot d\vec{l} \quad IR = (\varphi_1 - \varphi_2) + \mathbf{E}_{12}$$

У тому випадку, коли сторонні сили діють у напрямі руху носіїв струму (як показано на рис.) ЕРС  $\mathbf{E} > 0$ , якщо ж сторонні сили протидіють руху носіїв струму  $\mathbf{E} < 0$ .



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

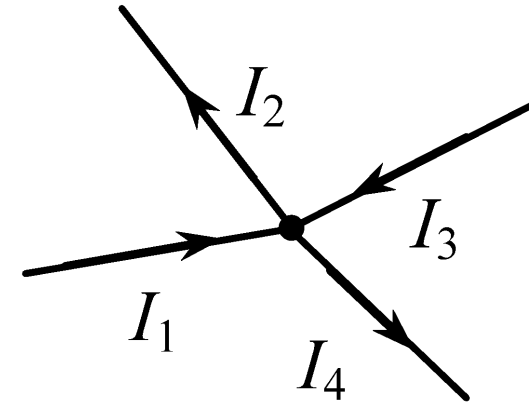
# Розгалужені кола. Правила Кірхгофа

## Перше правило Кірхгофа

Відноситься до вузлів кола, тобто до точок його розгалуження:

***алгебрична сума сил струмів, які сходяться у вузлі, дорівнює нулеві:***

$$I_1 + I_2 + \dots + I_n = \sum_{k=1}^n I_k = 0.$$



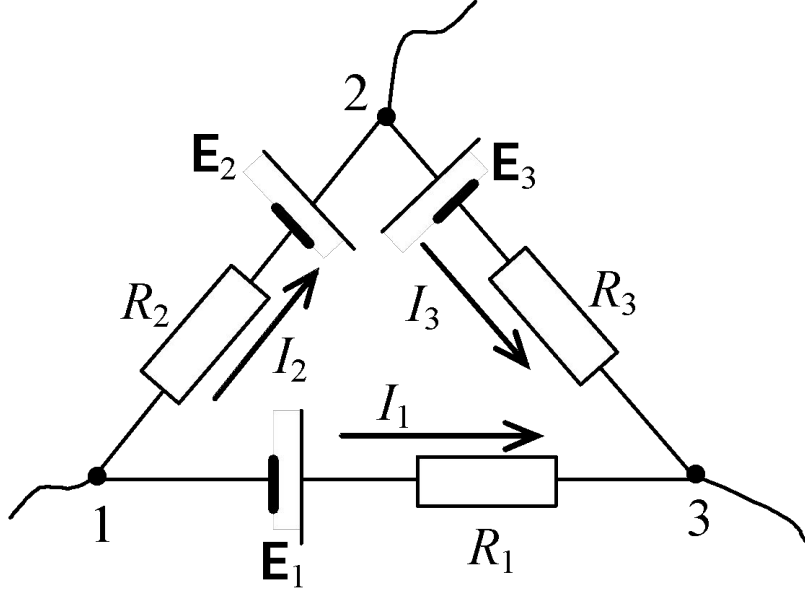
**Друге правило Кірхгофа** стосується будь-якого замкнутого контуру, виділеного в електричному колі. Це правило твердить:

***алгебраїчна сума напруг (добутків сил струмів на опори відповідних ділянок) дорівнює алгебраїчній сумі електрорушійних сил джерел, що діють у цьому контурі:***

$$\sum_{k=1}^n I_k R_k = \sum_{j=1}^m \mathbf{E}_j,$$

де  $n$  – кількість ділянок у контурі,  $m$  – кількість джерел, що включені в контур.





+

$$I_2 R_2 = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathbf{E}_2,$$

-

$$I_3 R_3 = \varphi_2 - \varphi_3 - \mathbf{E}_3$$

$$I_1 R_1 = \varphi_1 - \varphi_3 + \mathbf{E}_1$$

$$-I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 = -\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 - \mathbf{E}_3$$

1) якщо в розгалуженому колі є  $N$  вузлів, то незалежними будуть  $N - 1$  рівнянь, складених за першим правилом Кірхгофа; рівняння для останнього вузла буде наслідком попередніх;

2) якщо в розгалуженому колі можна виділити декілька замкнутих контурів, то незалежні рівняння за другим правилом Кірхгофа можна скласти тільки для тих контурів, які не є результатом накладання вже розглянутих. Як виявляється, число незалежних контурів дорівнює кількості розривів у колі, які треба зробити, щоб зруйнувати всі контури.

Для складання системи рівнянь за правилами Кірхгофа слід робити наступне:

- 1) Довільно показати стрілками напрями струмів у кожній ділянці розгалуженого кола (не замислюючись над напрямом стрілок).
- 2) Задати довільно напрями обходу виділених контурів (не замислюючись над напрямом обходу).
- 3) Для вузлів скласти рівняння за першим правилом Кірхгофа: якщо струм втікає у вузол, він вважається додатним, інакше, – від'ємним.
- 4) Для контурів скласти рівняння за другим правилом Кірхгофа: напруга вважається додатною, якщо напрям обходу контуру співпадає з напрямом струму, інакше – від'ємною; ЕРС вважається позитивною, якщо в напрямі обходу вона збільшує потенціал, інакше – негативною.
- 5) Після розв'язування системи рівнянь деякі величини можуть виявитися із знаком мінус, наприклад, струм в певній ділянці. Це означає, що попередньо довільно заданий напрям струму треба змінити на протилежний, а величина струму така, як було одержано в результаті обчислень.