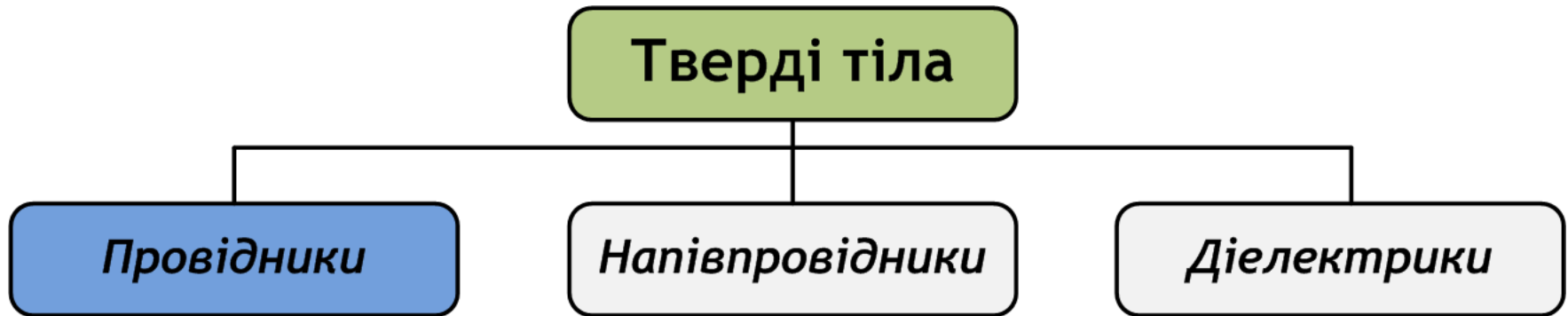


Лекція 10

# Електричний струм





*Провідники* - це тіла, які проводять електричний струм.

*Діелектрики* електричного струму не проводять.

*Напівпровідники* можуть вести себе або як провідники, або як діелектрики - в залежності від їх хімічної чистоти або температури оточуючого середовища.

Електричний струм *I роду* - обумовлений рухом електронів і не супроводжується перенесенням речовини. Характерний для тіл у будь-якому агрегатному стані. Його ще називають *струмом провідності*.

Електричний струм *II роду* - обумовлений рухом іонів та супроводжується перенесенням речовини. Характерний для тіл у рідкому агрегатному стані. Його ще називають *конвекційним струмом*.

Речовини у газоподібному агрегатному стані (не у плазмі) є діелектриками. Якщо ж напруженість електричного поля перевищує деяку критичну величину (так званий *потенціал іонізації*), то утворюється новий агрегатний стан - *плазма*. У плазмі хаотичні рухи атомів/молекул настільки швидкі, що розділити ці два роди електричних струмів неможливо. Крім того, у плазмі порушується локальна електронейтральність речовини, що призводить до появи низки фізичних явищ, які не характерні для речовин у інших агрегатних станах.

Крім того, у діелектриках виникають короточасні електричні струми внаслідок зміщення зв'язаних електричних зарядів під дією зовнішнього електричного поля. Такі струми називають *струмами поляризації*, або *струмами зміщення*.

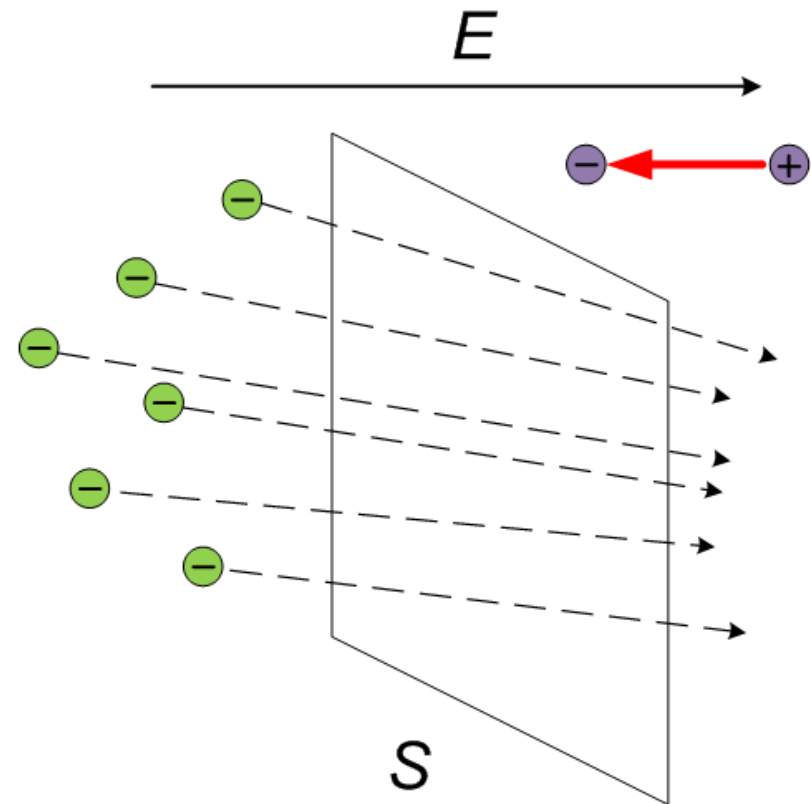
Кількісно електричний струм характеризується диференційною векторною величиною густиною струму, або у разі струму в дротах – інтегральною величиною, силою струму.

*Густиною струму* називають векторну величину, що визначається, як величина заряду, яка протікає крізь одиничну площу за одиницю часу. Вона позначається, зазвичай, латинською літерою  $j$ :

$$j = \sigma E$$

де  $\sigma$  - питома електрична провідність середовища, а  $E$  - напруженість електричного поля.

За напрямок струму вибирають рух позитивно заряджених частинок. Отже, напрямок струму в металевих провідниках, є протилежним до напрямку руху електронів.



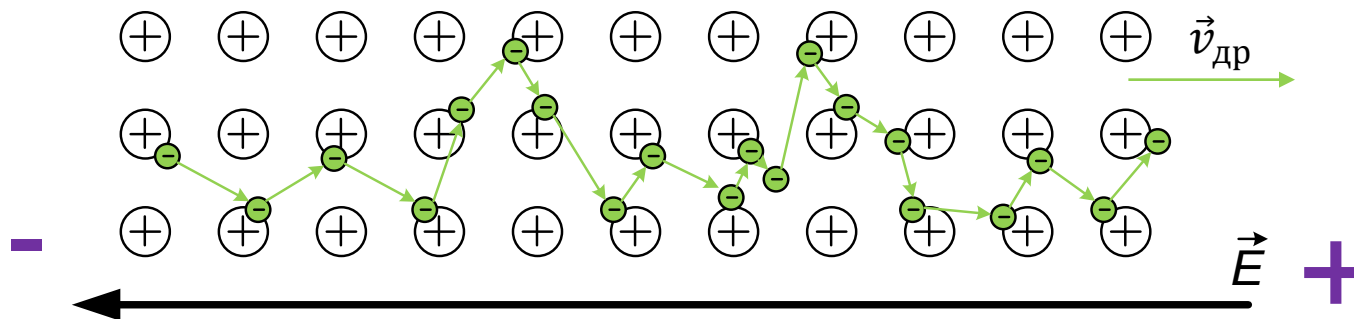
**Силою струму** (або просто **струмом**), що протікає провідником з площею поперечного перерізу  $S$  називається величина, яка відповідає кількості заряду  $\Delta q$ , переміщеному крізь переріз провідника за проміжок часу  $\Delta t$ :

$$I = \int_S j dS = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

Одиниця сили струму - ампер (символ А) - є однією з основних одиниць в SI. Вона встановлюється фіксацією числового значення елементарного електричного заряду  $e$ , коли він виражений одиницею Кл, що відповідає А·с, де секунда визначається через  $\Delta \nu_{Cs}$

В основі класичної теорії електропровідності лежить уявлення про вільні електрони в металах. Згідно з Друде і Лоренцом сукупність вільних електронів у металі розглядається як "електронний газ", який відповідає вимогам, що пред'являються до ідеального газу. Електрони у металі, подібно до молекул ідеального газу в замкненому просторі, взаємодіють тільки через зіткнення. Вони знаходяться в неперервному хаотичному русі і характеризуються деякою середньою швидкістю  $\vec{v}$  а також середнім значенням довжини вільного пробігу  $\vec{l}$ . Проте, на відміну від молекул, електрони, рухаючись хаотично, переважно взаємодіють не через зіткнення між собою, а через зіткнення з іонами, розміщеними у вузлах кристалічної ґратки.

Якщо в провіднику створити різницю потенціалів, то електричне поле  $\vec{E}$  зумовить напрямлений рух електронів.



# Закон Ома в диференціальній формі

При своєму русі в провіднику електрони прискорюються під час вільного пробігу стикаються з іонами кристалічної ґратки та гальмуються. При цьому вони віддають іонам (а точніше - кристалічній ґратці) свою енергію, що призводить до нагрівання провідника.

Густина струму:

$$\mathbf{j} = en\vec{v}_{др}$$

У проміжку між зіткненнями електрони рухаються напрямлено під дією сили  $F$  з боку електричного поля  $E$ :

$$\mathbf{F} = e\mathbf{E}$$

Тому можемо записати

$$e\mathbf{E} = m_e\mathbf{a}$$

звідки

$$\mathbf{a} = \frac{e\mathbf{E}}{m_e}$$

# Закон Ома в диференціальній формі

В кінці довжини вільного пробігу  $l$  електрон набуває швидкості

$$\vec{v}_{др.мах} = a\tau = \frac{\vec{l}}{\vec{v}}$$

Тому

$$\vec{v}_{др.мах} = \frac{eE\vec{l}}{m_e\vec{v}}$$

Електрон на довжині вільного пробігу змінює швидкість дрейфу від 0 до  $\vec{v}_{др.мах}$ , тому середня швидкість дрейфу

$$\langle \vec{v}_{др} \rangle = \frac{0 + \vec{v}_{др.мах}}{2} = \frac{\vec{v}_{др.мах}}{2}$$

Таким чином

$$\langle \vec{v}_{др} \rangle = \frac{eE\langle \vec{l} \rangle}{2m_e\langle \vec{v} \rangle}$$



# Закон Ома в диференціальній формі

Якщо останню формулу підставити у вираз для густини струму, то отримаємо:

$$\mathbf{j} = en \frac{e\mathbf{E}\langle\vec{l}\rangle}{2m_e\langle\vec{v}\rangle} = \frac{e^2n\langle\vec{l}\rangle}{2m_e\langle\vec{v}\rangle} \mathbf{E} = \sigma \mathbf{E}$$

$$\sigma = \frac{e^2n\langle\vec{l}\rangle}{2m_e\langle\vec{v}\rangle}$$

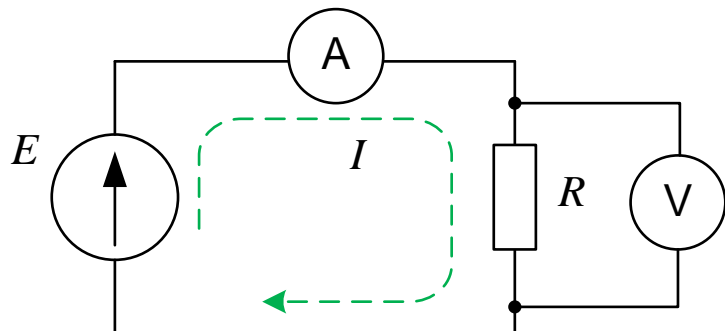
Як бачимо,  $\sigma$  залежить від швидкості теплового руху електронів, яка залежить від температури:

$$\langle\vec{v}\rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_e}}$$

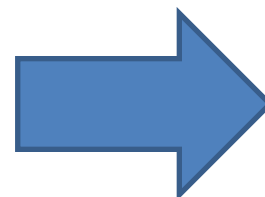
Виходить, що чим більша температура, тим менша питома електропровідність металу (або тим більший опір), що і спостерігається в металі.

# Закон Ома

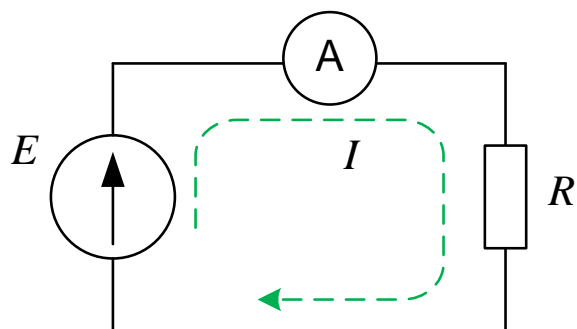
для ділянки електричного кола та для повного кола



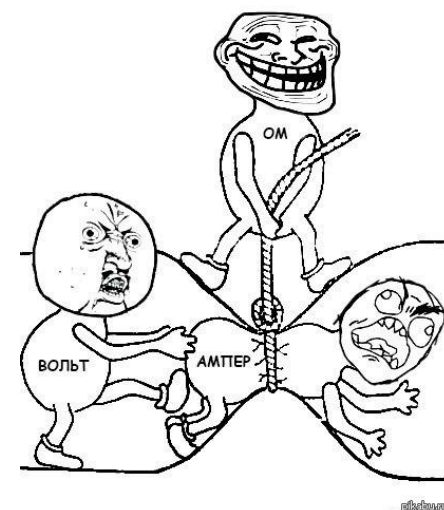
$$I = \frac{U}{R}$$



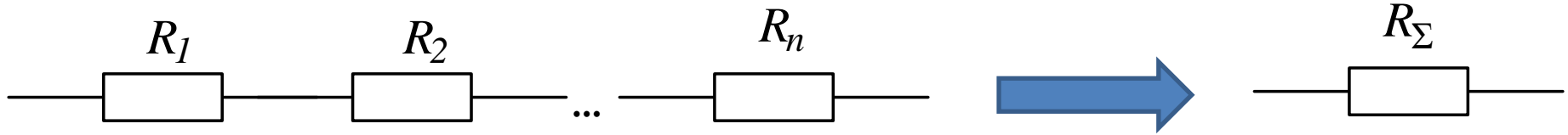
$$r = \frac{E - U}{I}$$



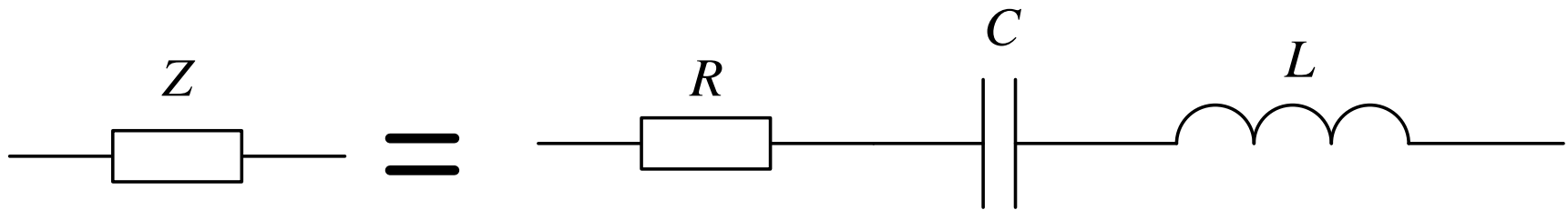
$$I = \frac{E}{R + r}$$



# Послідовне з'єднання опорів і поняття комплексного опору

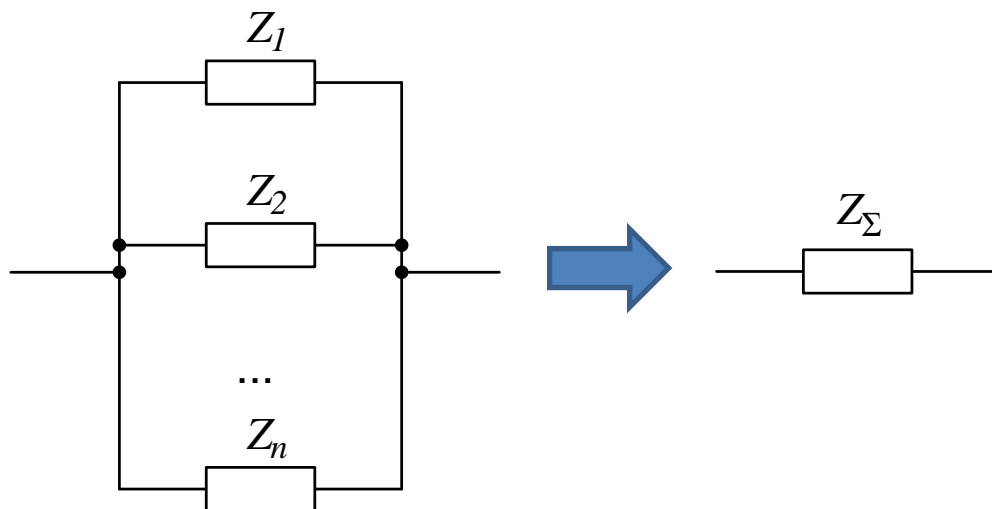


$$R_\Sigma = \sum_{i=1}^n R_i$$



$$Z = R + \frac{1}{j\omega C} + j\omega L = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = R + j(X_L - X_C)$$

# Паралельне з'єднання опорів та електрична провідність



$$\frac{1}{Z_{\Sigma}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{Z_i}$$

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

$$G_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n G_i$$

Одиниця вимірювання електричної провідності - сіменс (См).

Якщо через електричний опір протікає електричний струм - то на ньому виділяється кількість теплоти

$$Q = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t$$

---

$$Z = R + \frac{1}{j\omega C} + j\omega L$$

активний опір (на ньому виділяється тепло).

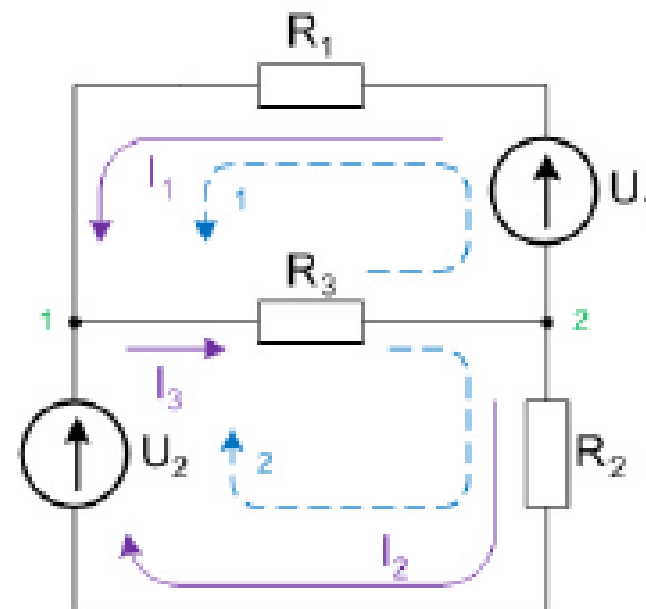
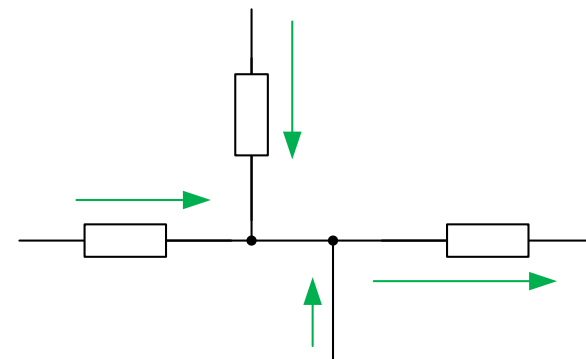
реактивний опір (на ньому не виділяється тепло, це втрати струму на породження електричного та магнітного полів).

1-й: Алгебраїчна сума струмів на будь-якому вузлі електричної схеми дорівнює нулю:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$

2-й: Вздовж замкненого контуру сума падінь напруги дорівнює сумі всіх е.р .с. , що діють в цьому контурі:

$$\sum_{k=1}^n I_k R_k = \sum_{l=1}^m E_l$$



Електричний струм, проходячи через організм людини, спричинює термічну, електролітичну та біологічну дії.

**Термічна** дія струму виявляється в опіках окремих ділянок тіла, ураженні внаслідок високої температури кровоносних судин, нервових клітин, серця, мозку, що призводить до серйозних функціональних розладів.

**Електролітична** дія струму виявляється в розкладанні органічних рідин, в тому числі крові, що призводить до значних порушень їх фізико-хімічного складу.

**Біологічна** дія струму виявляється у подразненні й збудженні живої тканини організму, що супроводжується мимовільним скороченням м'язів.



## Струм



## любить напрягу

...а наша цивілізація - електрична.



Далі буде...

...Магнітне поле та електродинаміка