

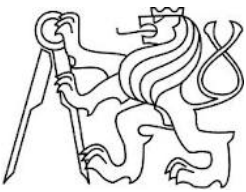
# BIK-TZP.21 – Technologické základy počítačů

**ZS 2021/22**  
**1. sobota**

**doc. Ing. Kateřina Hyniová, CSc.**

**[hyniova@fit.cvut.cz](mailto:hyniova@fit.cvut.cz)**

**Katedra číslicového návrhu, FIT ČVUT v Praze**



# Přednáška 1A – Základní elektrické veličiny a základní prvky elektrických obvodů

1. Terminologie
2. Základní elektrické veličiny
3. Základní prvky elektrických obvodů

## DOPORUČENÁ LITERATURA

Skriptum: Kyncl, J., Novotný, M.: Číslicové a analogové obvody, FIT  
ČVUT, ( k dostání v NTK- knihkupectví i eshop)

<https://courses.fit.cvut.cz>

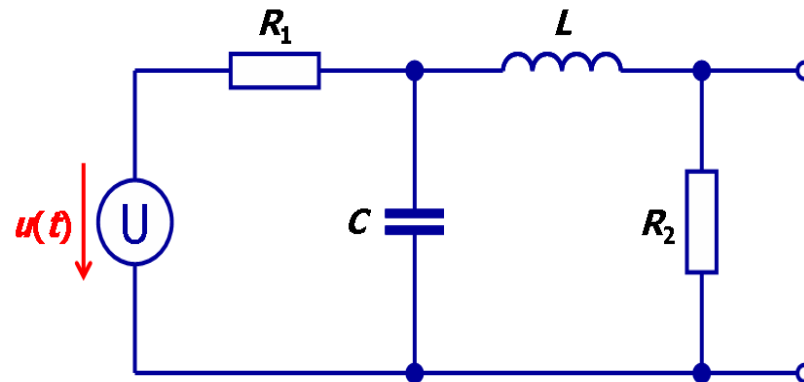
# 1. Terminologie

- **Elektrický obvod** je vodivé spojení elektronických součástek, např. rezistorů, kapacitorů, induktorů, tranzistorů, diod a napájecích zdrojů a mnoha dalších elektronických prvků. Tyto prvky jsou mezi sebou spojovány vodiči a vytváří tak vodivou cestu a splňují funkce, které jsou od obvodu požadovány, např. zesilování signálu, vytváření oscilací apod. Musí obsahovat uzavřenou/é smyčku/y.
- - Předpokládáme, že všechny **obvodové prvky jsou ideální** (tj. nemají parazitní vlastnosti nebo jsou tak malé, že je můžeme zanedbat). Pak ale výsledky analýzy obvodu nebudou nikdy úplně přesné, ne však zásadně nepřesné..
- - **Vodiče** v elektrických obvodech, považujeme za **ideální** (mající nulový odpor, tzn. , že na nich nevzniká úbytek napětí při průchodu proudem. Předpokládáme, že nemají žádné parazitní vlastnosti a že v jejich okolí nevzniká elektromagnetické pole.
- Budeme vždy předpokládat, že ideální el. obvod není vystaven působení vnějšího el. ani mag. pole.

# ***Analýza obvodu***

Je disciplína, jejíž cílem je určit průběh elektrických napětí a proudů v obvodu, jehož struktura a typ i velikost všech el. prvků obvodu jsou předem dány.

## **Příklad #1**



**Dáno:**  $u(t)$ ... vstupní napětí, hodnoty  $R_1, R_2, L, C$ .

**Cíl analýzy:** určit průběh elektrických napětí a proudů na el. prvcích v obvodu

# Analýza obvodů

- ***a) v přechodném stavu***

vyvolaném náhlou změnou parametru/ů obvodu  
např. po připojení napětí, zkratu, apod...


- b) v ustáleném stavu***

napětí a proudy v obvodu se předpokládají  
ustálené, tedy časově neměnné nebo periodicky  
se měnící s časem, k nimž dochází po odeznění  
přechodových jevů v obvodu.

## 2. Základní elektrické veličiny

**a) Elektrický proud** je uspořádaný pohyb nosičů elektrického náboje - elektronů. Je roven celkovému množství elektrického náboje  $dQ$ , která projde průřezem vodiče za jednotku času  $dt$  :

$$i = \frac{dQ}{dt} \quad [\text{A}; \text{C}, \text{s}]$$

- Náboj 1 elektronu je cca  $1.6 \times 10^{-19}$  C.
- Jednotkou elektrického proudu je 1 Ampér [A].
- Proud je skalární veličina. Konvence-směr toku stejnosměrného proudu je od kladného pólu zdroje přes spotřebič k zápornému pólu zdroje. Tento dohodnutý směr je opačný ke skutečnému směru toku elektronů v pevných vodičích. Ve schématech vyznačujeme směr proudu plnou šipkou. 

# • Příklad

Kolik elektronů tekoucích vodičem vytvoří proud 4 A?

**Řešení:**

Náboj 1 elektronu je přibližně  $1,6 \times 10^{-19}$  C.

$1 : 1,6 \cdot 10^{-19} = 62 \cdot 10^{17}$  elektronů/s na 1 Amper

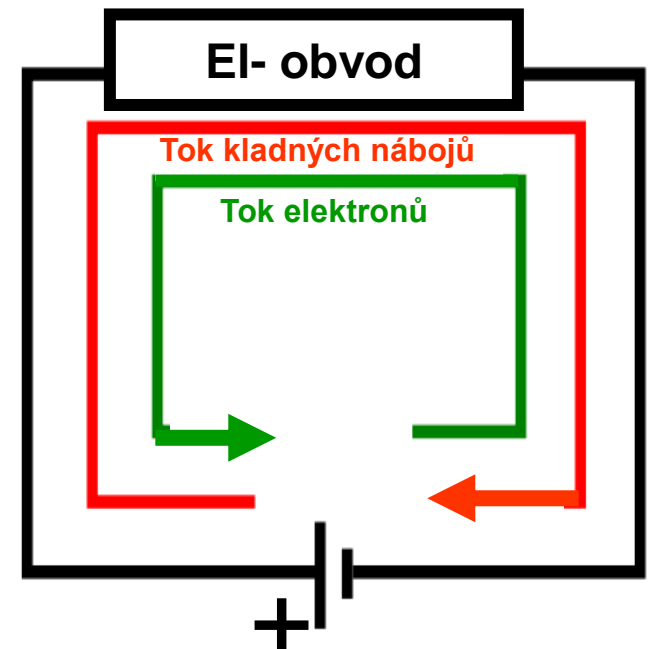
**$4 \text{ A} \dots\dots\dots 4 \cdot 62 \cdot 10^{17} = 24,8 \cdot 10^{18} \text{ elektronů/s}$**

# Konvence

- Tok kladných elektrických nábojů má v obvodu stejný efekt jako stejný tok záporných nábojů tekoucích opačným směrem. Dohodnutý směr toku stejnosměrného proudu je od kladného pólu zdroje přes spotřebič k zápornému pólu zdroje. Tedy dohodnutý směr toku proudu je směr, kterým by tekly kladně nabité částice. Tento dohodnutý směr je ovšem opačný ke skutečnému směru toku elektronů v pevných vodičích.

- V kovech (vodičích) jsou nosiče kladného náboje nepohyblivé a nosiči náboje jsou elektrony. Elektrony jsou nosiči záporného náboje a směr jejich pohybu ve vodičích je tedy opačný vůči konvenčnímu směru toku proudu.

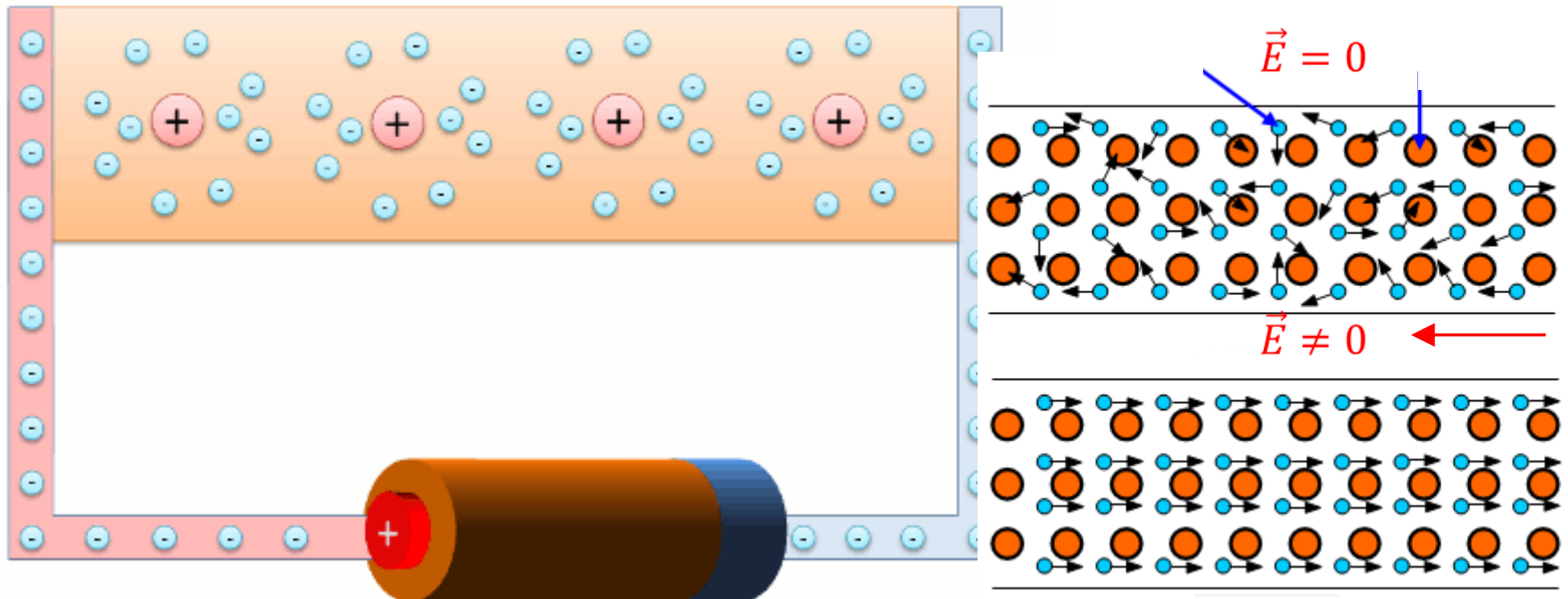
- El. proud značíme  $i$ ,  $i(t)$ ,  $I$



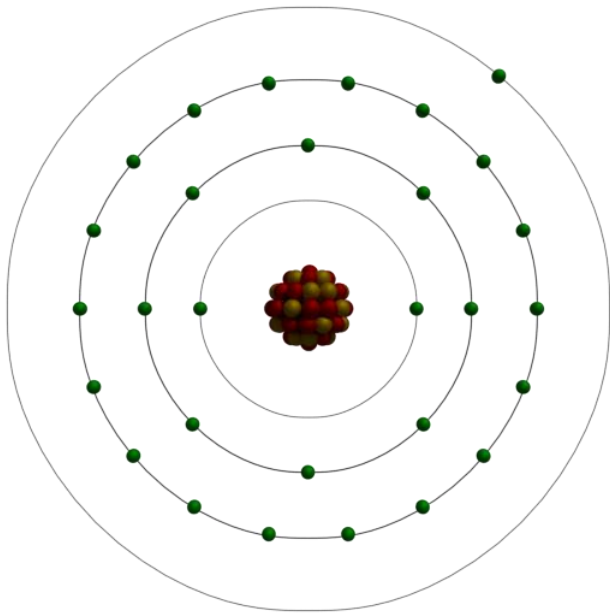


# SS elektrický proud

Volné elektrony v pevných vodičích se mohou snadno přesouvat mezi atomy. Pokud je jeden konec vodiče připojen ke **kladnému pólu** a druhý konec k **zápornému pólu elektrického zdroje**, na volné elektrony ve vodiči působí vnější síly ze zdroje a vzniká **elektrický proud**. **Kladná elektroda** zdroje svým kladným nábojem **přitahuje elektrony** z připojeného vodiče, **chemická reakce** ve zdroji je prostřednictvím **iontů** přesune do **záporné elektrody** a z ní jsou elektrony opět doplňovány do připojeného vodiče.



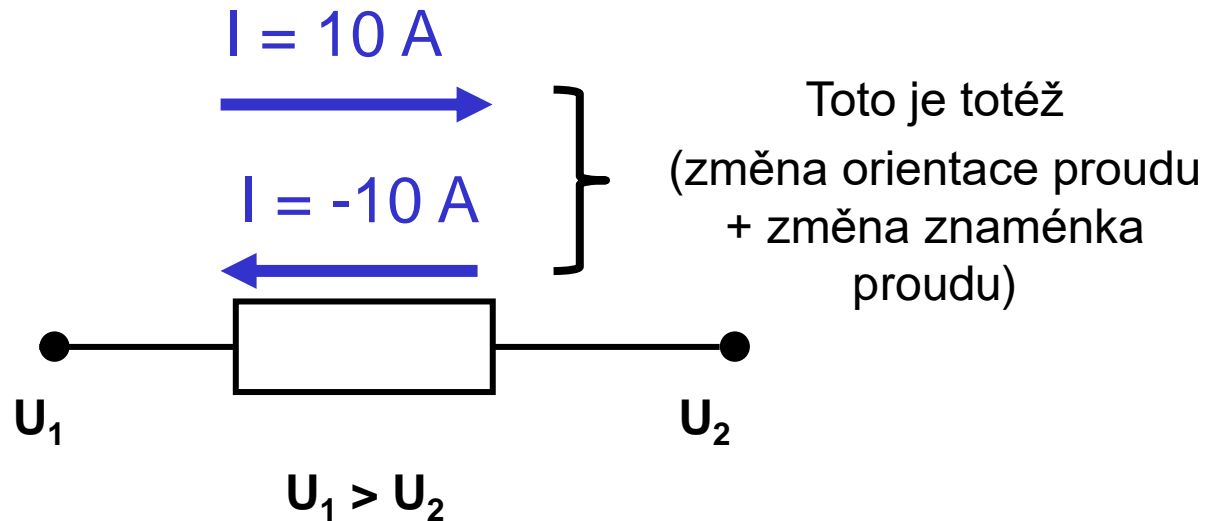
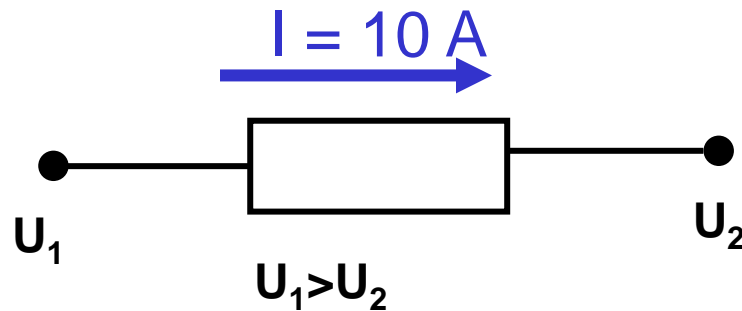
# Vodiče



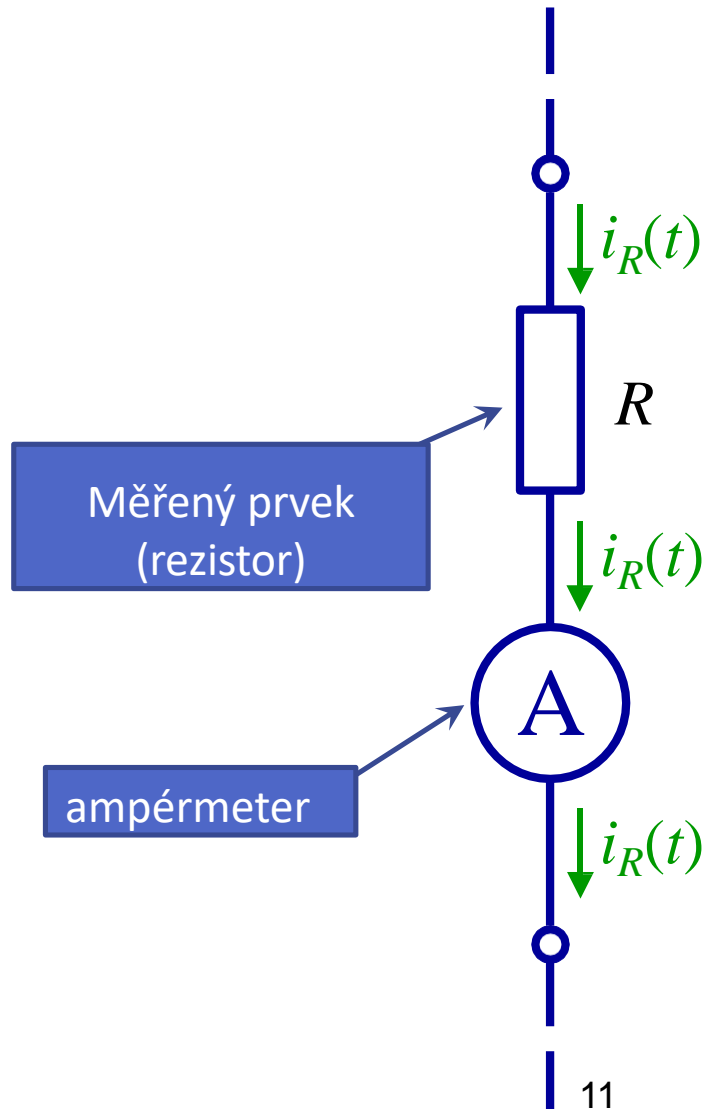
Atom: Cu.... 1 valenční elektron  
Al..... 3 valenční elektrony

- valenční elektrony jsou v kovech vázány k jádrům velmi slabými silami, elektrony mohou opouštět jeho hranice (volné elektrony)
- v krystalu kovu jsou prakticky volné a chaoticky se pohybují
  - **vodivostní elektrony** ( ve vodičích cca  $10^{28}$  elektronů v metru krychlovém, rychlost pohybu cca  $10^6$  m/s)
- tento stav označujeme jako **elektronový plyn**
- připojením vodiče k elektrickému zdroji vznikne ve vodiči elektrické pole
- elektronový plyn je unášen proti směru intenzity pole
- vedle chaotického pohybu vznikne uspořádaný **unášivý (driftový) pohyb volných elektronů** (rychlost driftu cca 5mm/s)
- nepravidelnosti krystalové mřížky brzdí uspořádaný pohyb elektronů
  - elektrický odpor

# Orientace elektrického proudu



# Měření el. proudu

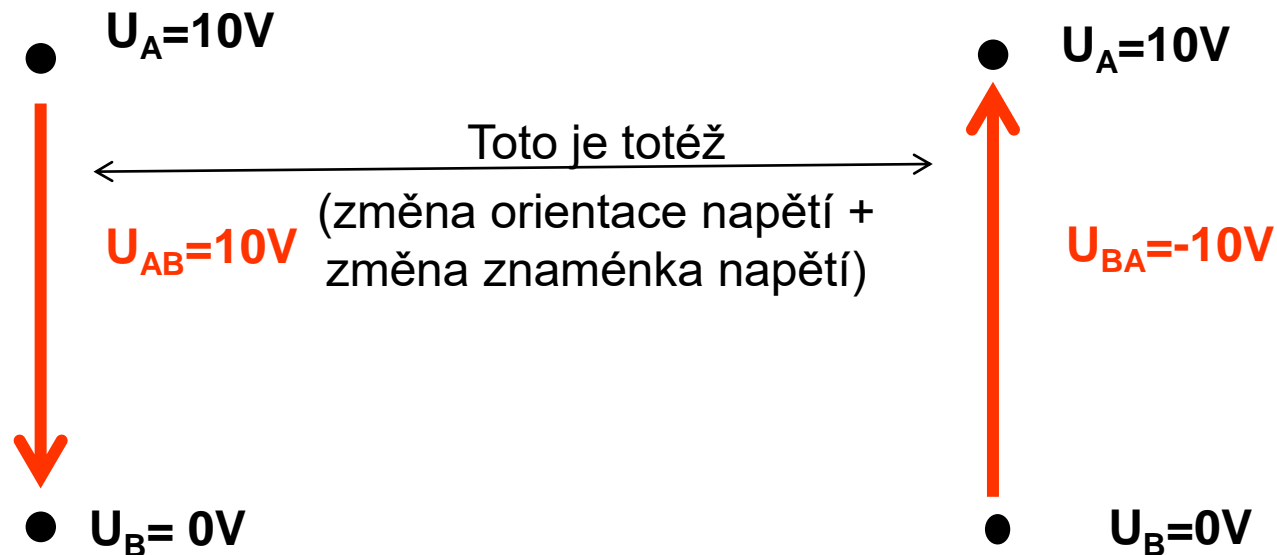


## b) Elektrické napětí

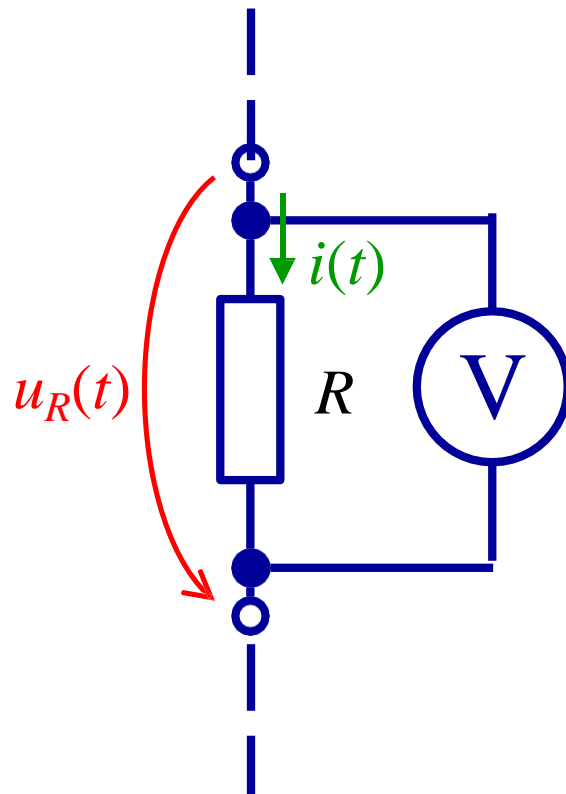
- Je rozdílem elektrických potenciálů mezi dvěma body obvodu (např. A a B). Platí  $U_{AB} = -U_{BA}$
- Je zvykem, že směr napětí je orientován od vyššího potenciálu směrem k nižšímu, směr napětí vyznačujeme otevřenou šipkou
- Jednotkou napětí je 1 V (Volt)



- El. napětí značíme  $u$ ,  $u(t)$ ,  $U$ ,  $\hat{U}$



# Měření el. napětí



# 3. Základní prvky elektrických obvodů

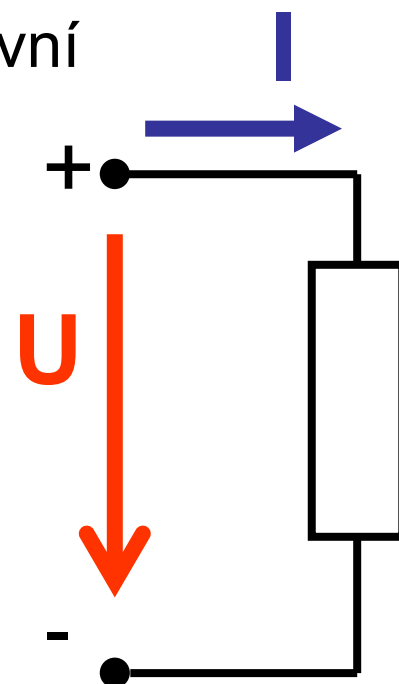
- **Elektrické (elektronické) prvky** fyzicky neexistují. Předpokládáme totiž, že mají ideální vlastnosti, tj. mají lineární vlastnosti bez parazitních jevů.
- **Elektrické (elektronické) součástky** existují, jsou reálné. Nemají ideální vlastnosti, vyznačují se nelineárními vlastnostmi a řadou parazitních vlastností (parazitní kapacita apod.). Při řešení obvodů je budeme pro jednoduchost pracovat s ideálními prvky a vodiči.

# Klasifikace elektronických prvků

## • *A) Pasivní elektronické prvky*

Pasivní prvky se v obvodu chovají většinou jako spotřebiče elektrického proudu. Elektrická energie je v nich spotřebovávána např. formou přeměny v jiný druh energie (např. teplo) nebo se v nich ukládá ve formě elektrického a/nebo magnetického pole. Pasivní elektrické prvky jsou tedy buď spotřebiči či akumulátory elektrické energie:

- Rezistor - spotřebič el. energie
- Kapacitor - akumulátor el. energie
- Induktor - akumulátor el. energie
- **Konvence pro pasivní elektrické prvky**
- **(Orientace el. napětí a proudu je u pasivních prvků shodná!)**



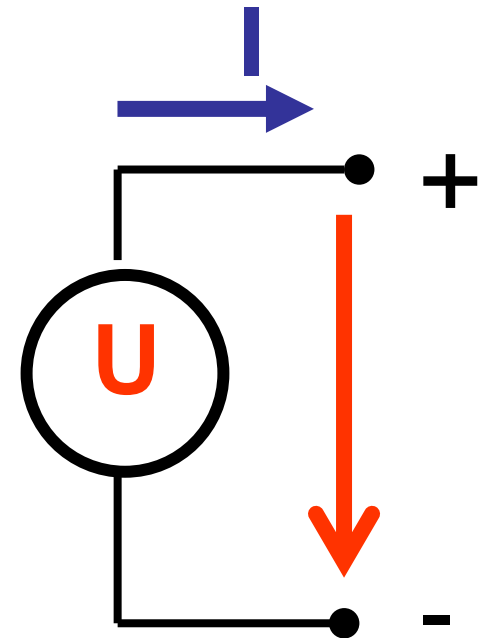


# Klasifikace elektrických prvků

- *B) Aktivní elektronické prvky*

Jsou zdroje elektrické energie které trvale dodávají energii do připojeného elektrického obvodu.

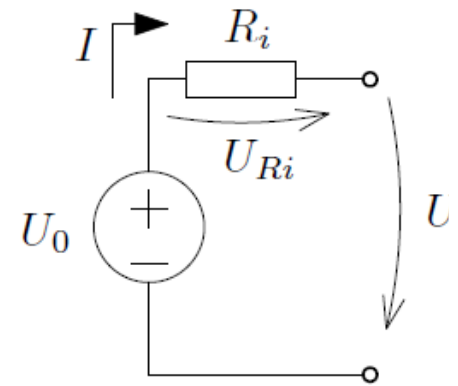
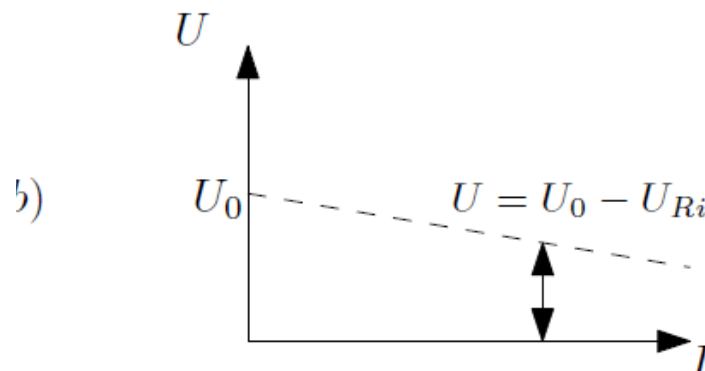
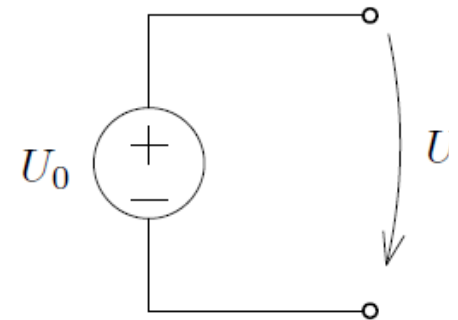
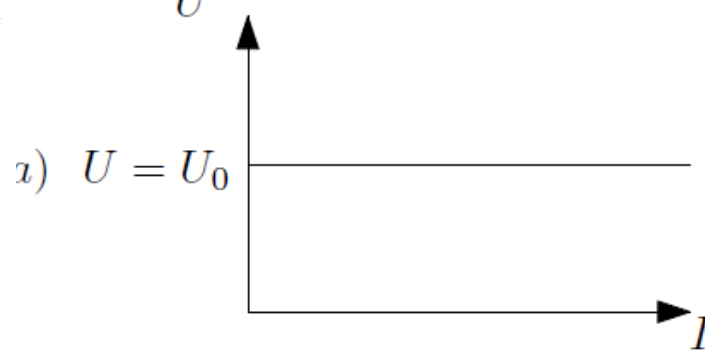
- Zdroje el. napětí
- Zdroje el. proudu

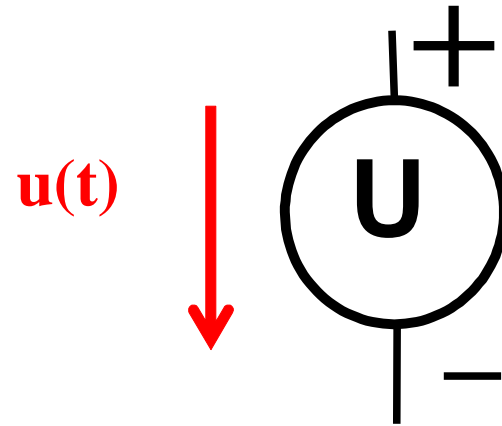


- **Konvence pro aktivní elektrické prvky**
- **(Orientace el. napětí a el. proudu u napěťových zdrojů je navzájem opačná)**

# 1. Ideální a reálný zdroj napětí

Protéká-li elektrický proud obvodem, protéká také elektrickým zdrojem. Ideální zdroj napětí neklade proudu žádný odpor, jeho vnitřní odpor je nulový a svorkové napětí (napětí na svorkách zdroje) má vždy stejnou velikost jako napětí naprázdno, tedy bez zátěže. U reálných zdrojů se projevuje jejich vnitřní odpor a napětí na svorkách zatíženého zdroje je menší než napětí naprázdno.

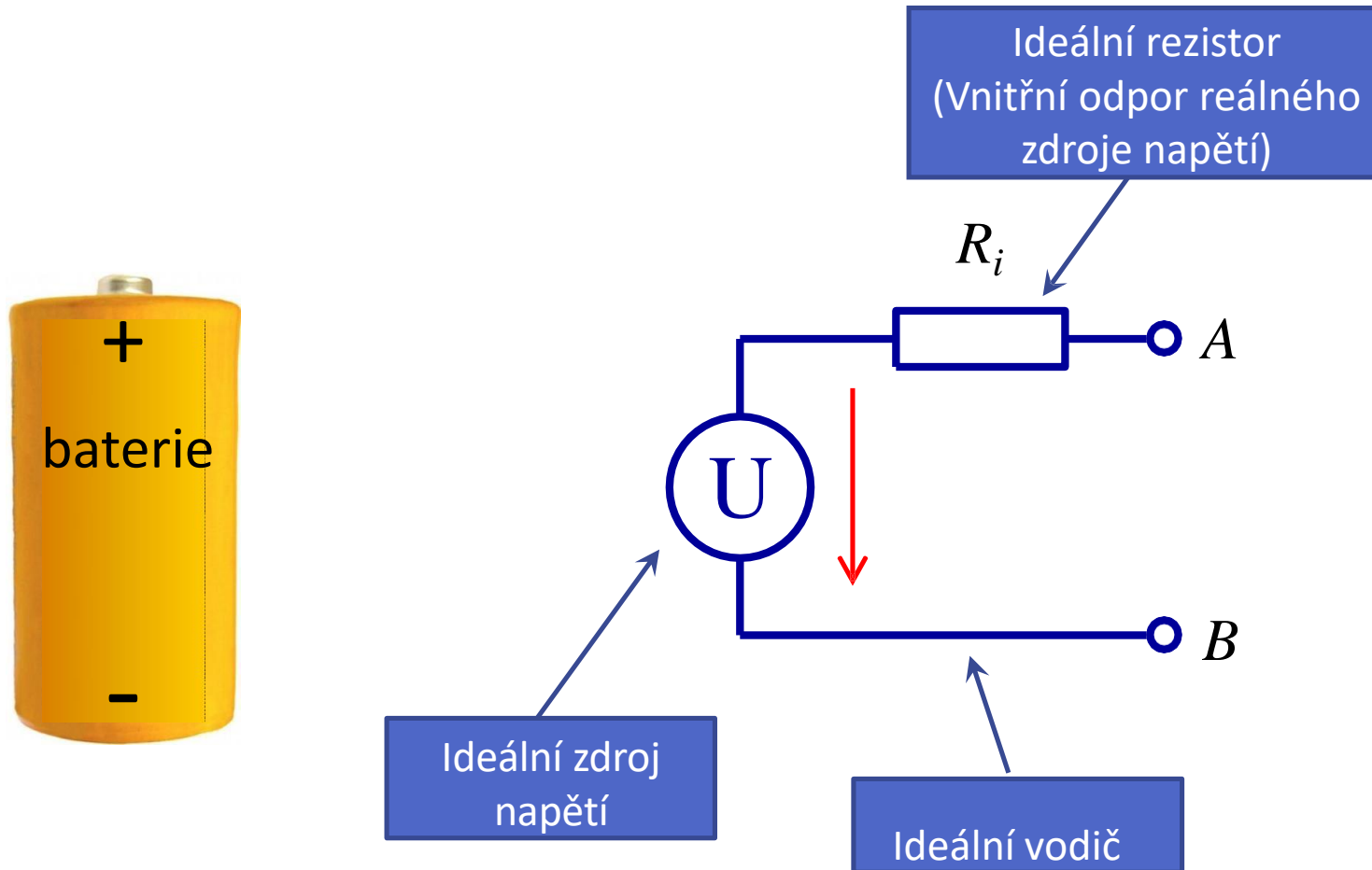




## Symbol napětového zdroje

Žádný **reálný zdroj napětí** není ideální. Všechny reálné zdroje napětí totiž mají nenulový vnitřní odpor. Reálný zdroj napětí se chová, jako bychom do série s ideálním zdrojem napětí zapojili resistor s odporem rovným vnitřnímu odporu zdroje.

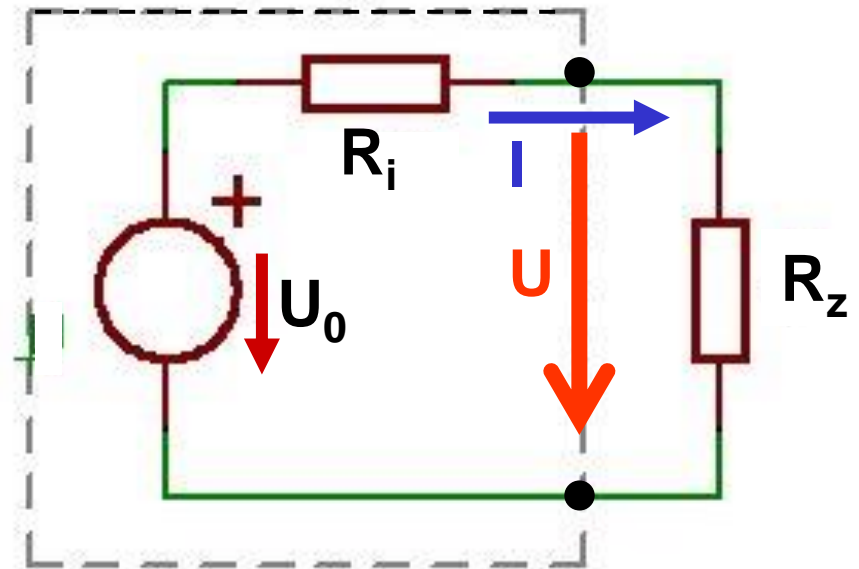
# Reálný zdroj napětí



# Reálný zdroj napětí

*$R_i \neq 0$  vnitřní odpor zdroje*

Reálný zdroj napětí



**Výpočet svorkového napětí  $U$  reálného zdroje napětí**

$$U = U_0 - R_i * I$$

$U$  ... Svorkové napětí zdroje

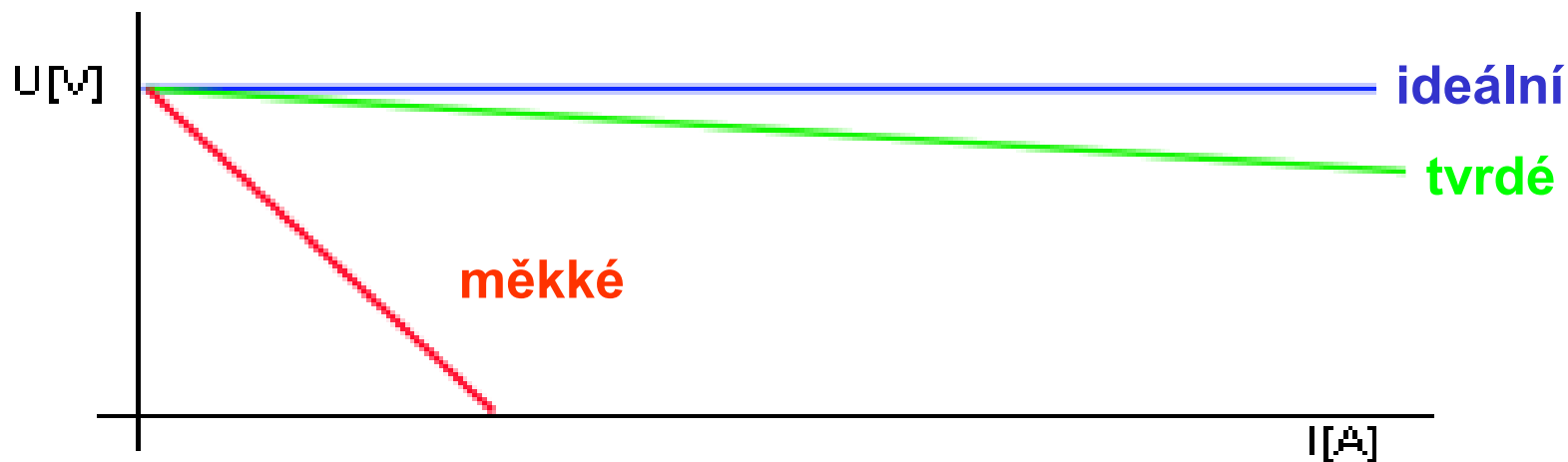
$U_0$  ... Napětí zdroje naprázdno

$R_i$  ... Vnitřní odpor zdroje

$R_z$  ... Zátěž

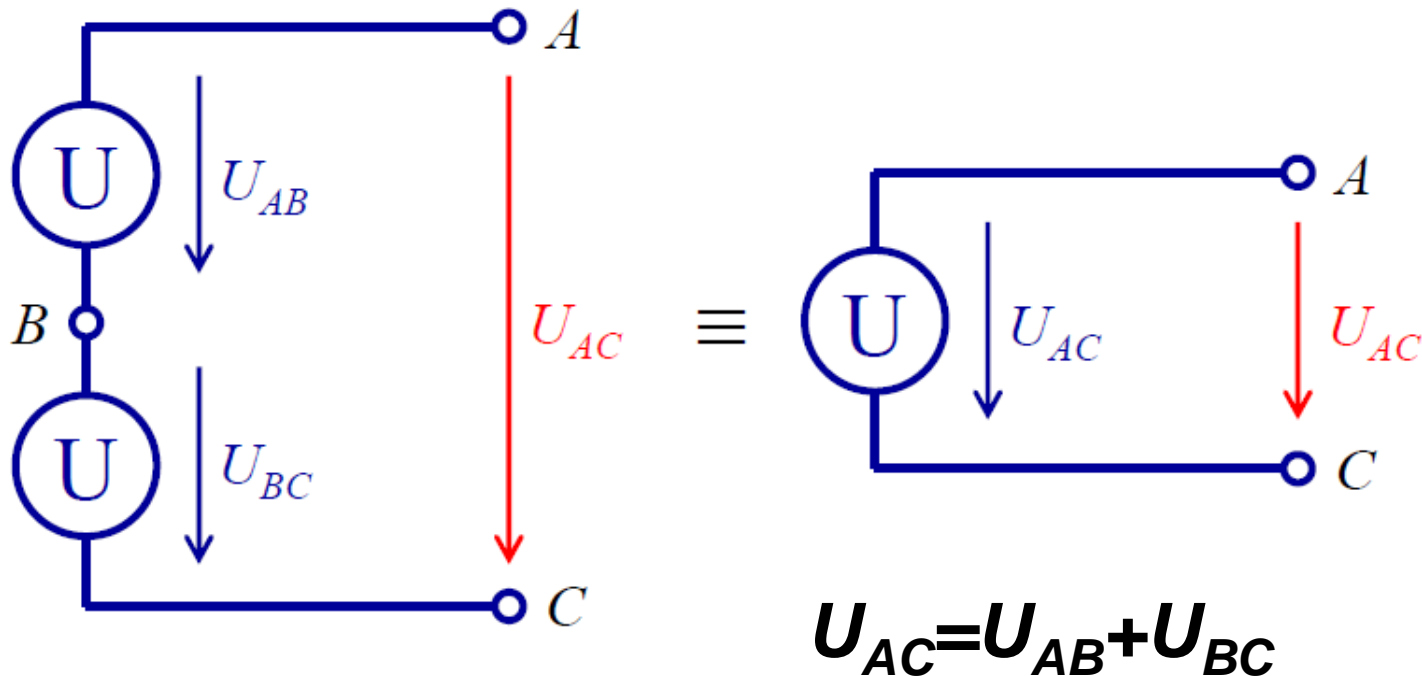
# Tvrdé a měkké zdroje napětí

Podle vnitřního odporu lze rozdělit elektrické zdroje na **tvrdé zdroje**, to jsou takové zdroje, jejichž vnitřní odpor je menší než  $1\Omega$  a tedy mají velmi malý úbytek napětí na zdroji při zatížení. **Měkké zdroje** jsou zdroje s vnitřním odporem větším než  $1\Omega$ . Jejich svorkové napětí rychle klesá v závislosti na velikosti proudu, který zdrojem protéká. **Ideální zdroje** napětí mají nulový vnitřní odpor.



# Zapojení více zdrojů napětí <sub>b</sub>

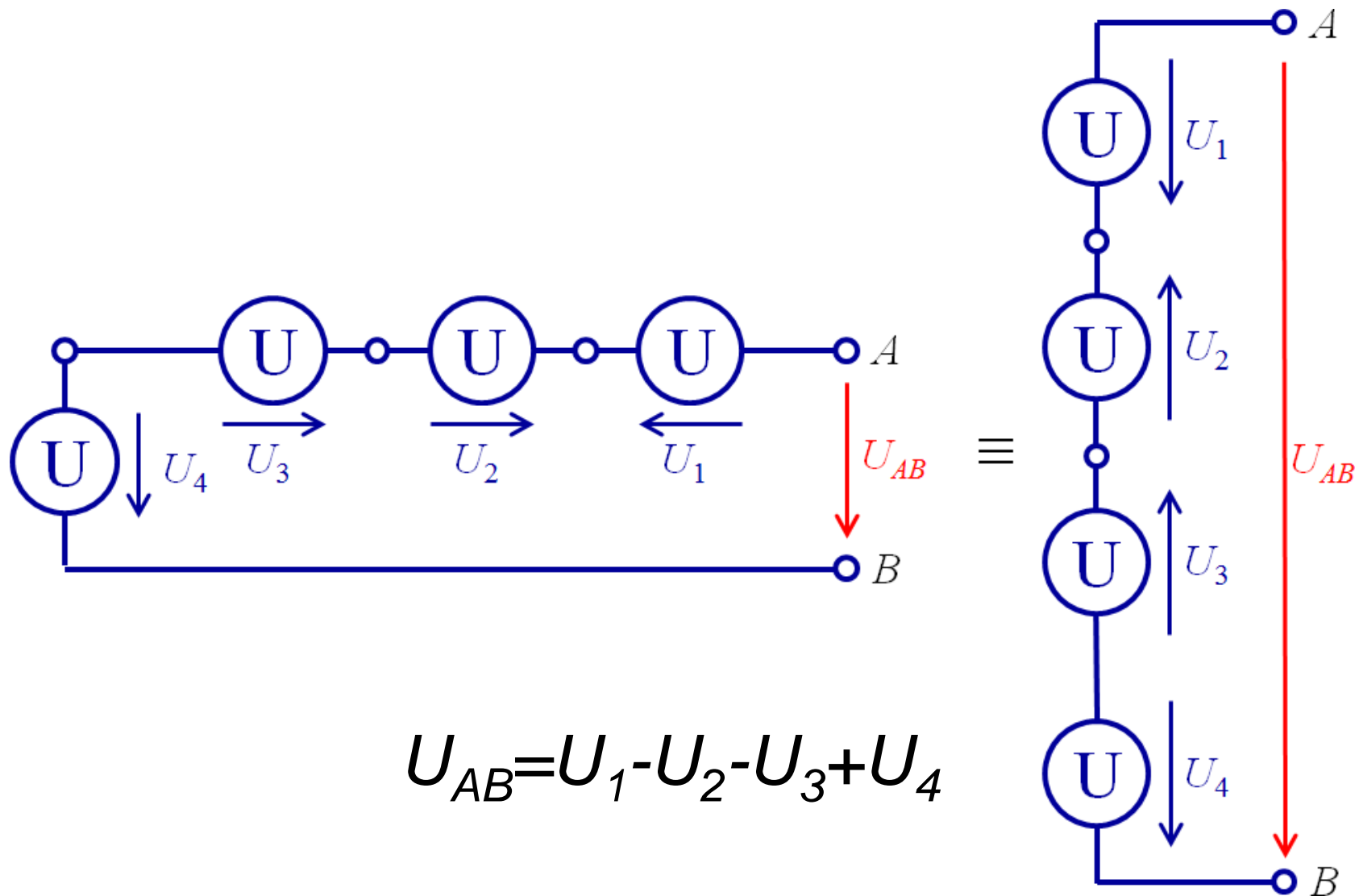
**a) sériově** (výsledné napětí je součtem napětí jednotlivých zdrojů. Sčítají se ale i vnitřní odpory dílčích zdrojů.



**Pozor na řazení napěťových zdrojů v sérii!**

**Kladný pól zdroje připojujeme vždy na záporný pól předchozího zdroje napětí.**

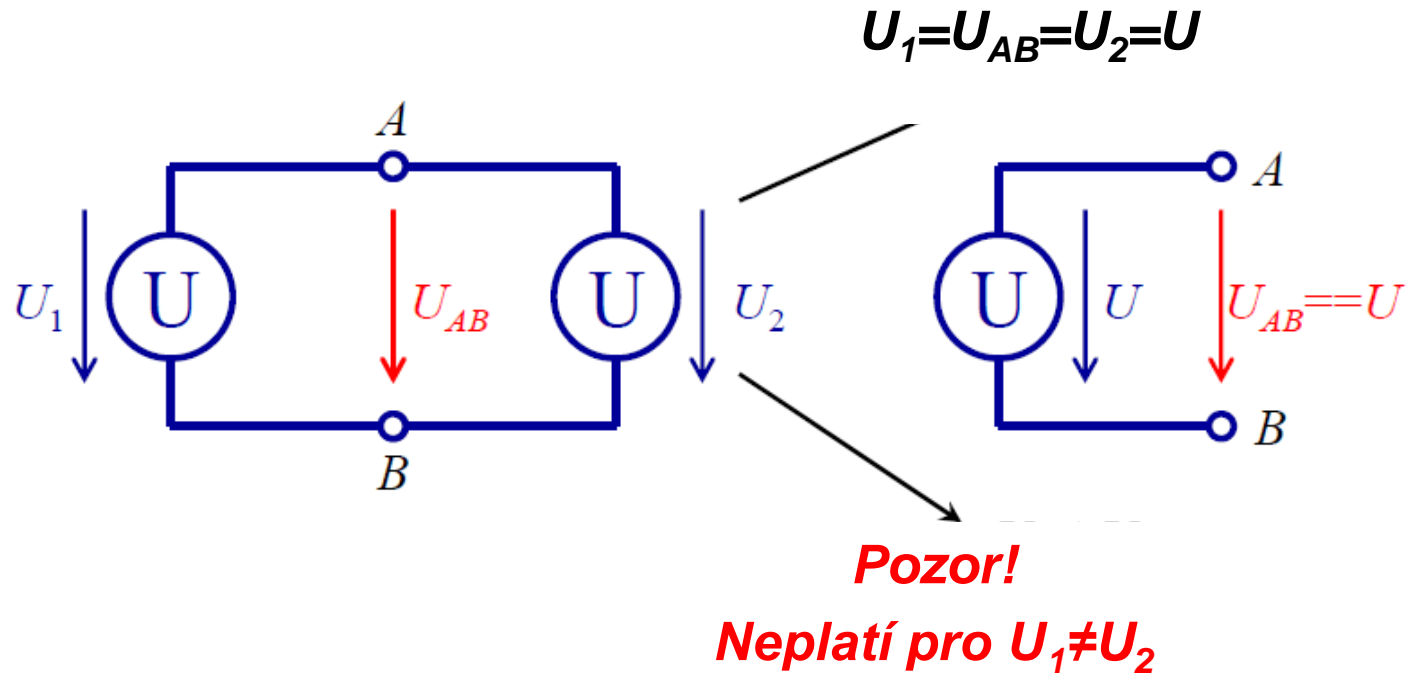
- **Příklad**



$$U_{AB} = U_1 - U_2 - U_3 + U_4$$



## b) paralelně



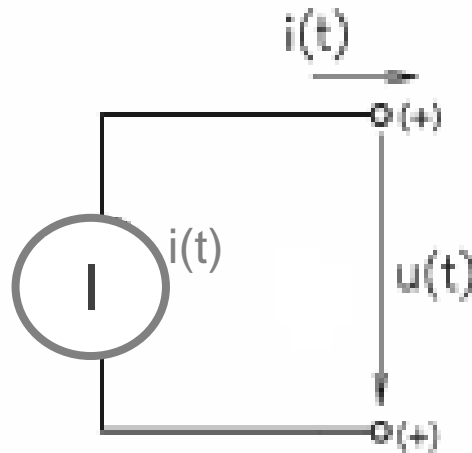
- Paralelním zapojením dvou a více zdrojů napětí se nezvyšuje napětí, ale celkový elektrický výkon zdrojů, které jsou schopny dodávat při stejném napětí větší elektrický proud.

- Důležitou podmínkou je stejná velikost napětí jednotlivých zdrojů, aby nedocházelo k tomu, že silnější zdroj bude způsobovat elektrický proud opačného směru ve slabším zdroji. To by představovalo ztráty elektrické energie. V chemických zdrojích by to mohlo způsobit nežádoucí trvalé chemické změny.

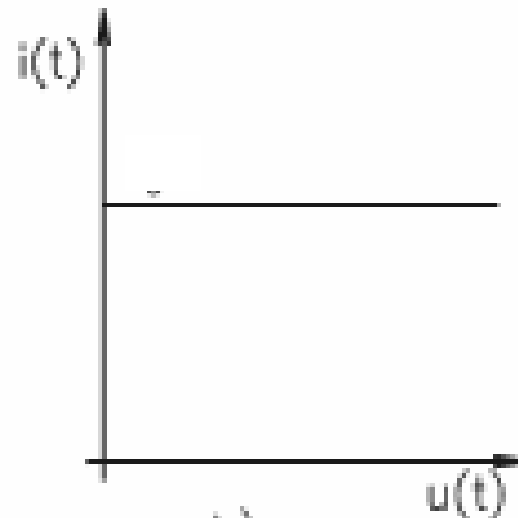
- Paralelní zapojení baterií o stejném napětí nezvyšuje výsledné napětí, jen prodlužuje životnost baterií.

## 2. Ideální zdroj proudu

Ideální zdroj proudu dodává do zátěže proud  $i(t)$ , jehož průběh nezávisí na velikosti zátěže. Ideální proudový zdroj dodává daný proud, nezávisle na tom, jaké napětí k tomu musí vyvinout. V praxi se s proudovými zdroji setkáme spíše jen výjimečně. Jako proudové zdroje fungují např. tranzistory.



a)

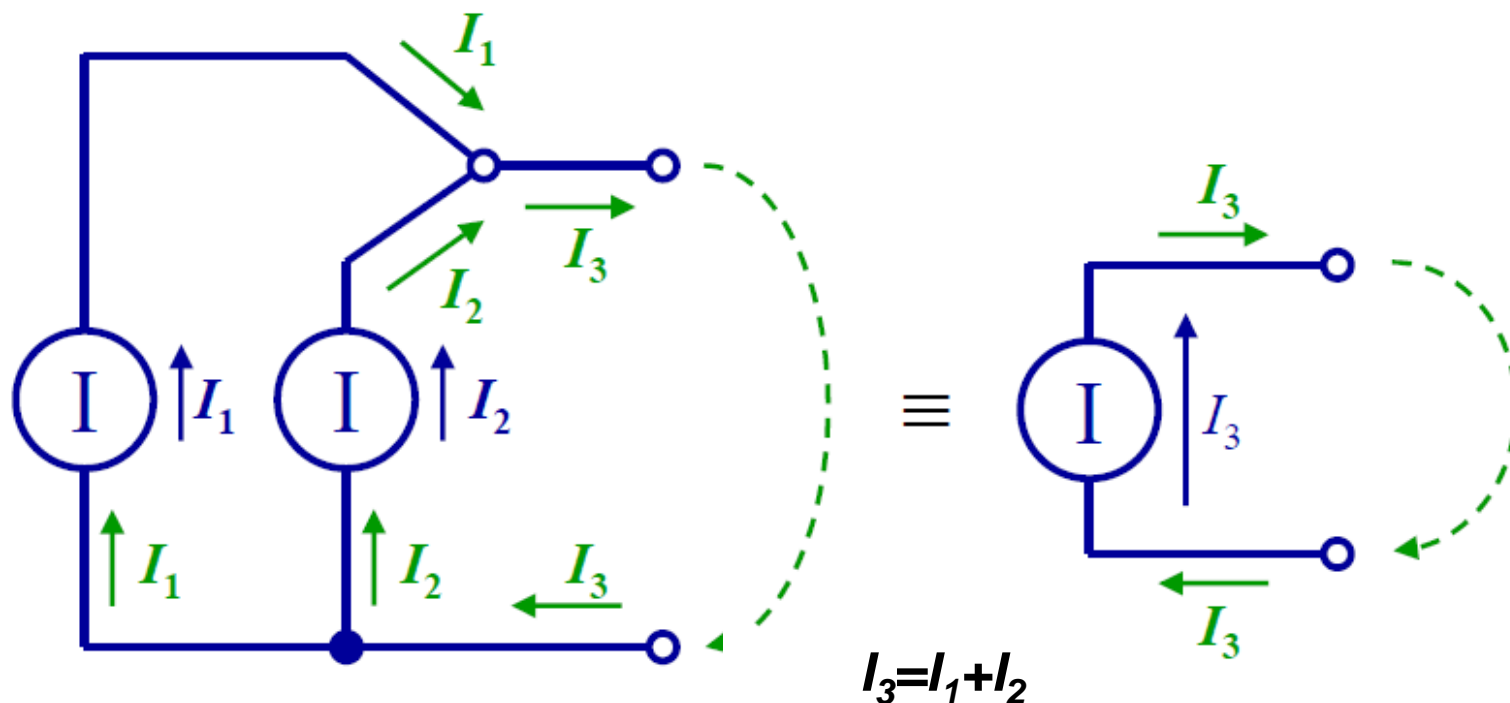


b)

# Zapojení více zdrojů proudu

## a) paralelně

Řazení dvou zdrojů proudu



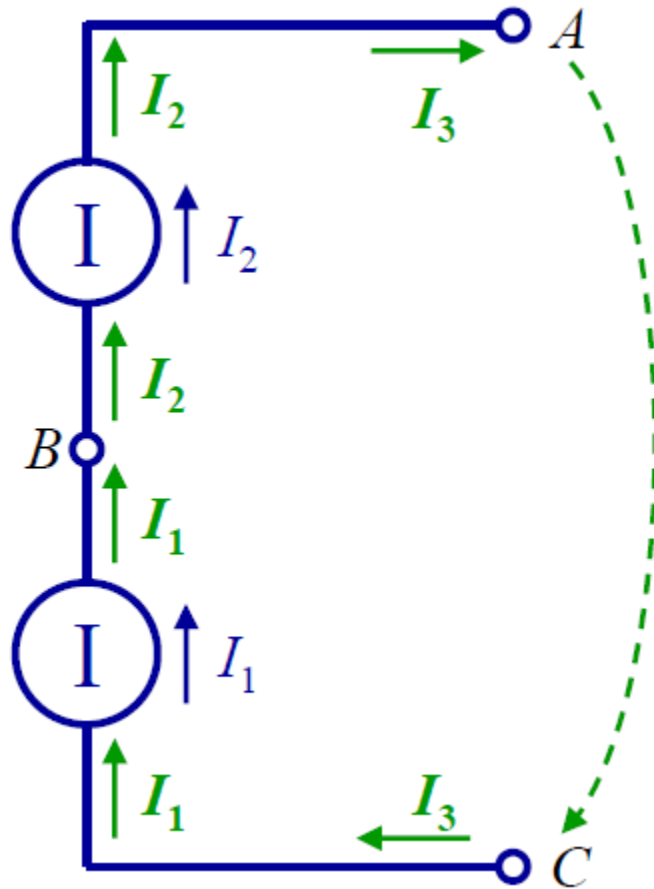
# Při zapojení více proudových zdrojů paralelně

- 1. Kirchhoffův proudový zákon:

$$\sum I_{In} - \sum I_{Out} = 0 \text{ A}$$

$$\sum I_{In} = \sum I_{Out}$$

## b) sériově



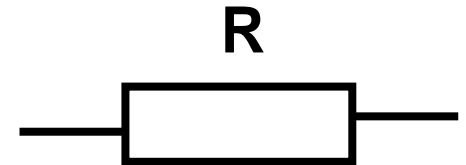
Proudové zdroje nesmíme v případě nerovnosti generovaných proudů jednotlivých zdrojů zapojit sériově. V případě rovnosti generovaných proudů jednotlivých zdrojů není důvod zapojovat do série- proud se tím nezvýší.

# Pasivní prvky v elektrických obvodech

- **Rezistor  $R$** , je lineární elektronický prvek, jehož převažující vlastnost je jeho elektrický odpor. Jeho funkcí je omezení protékajícího proudu v obvodu a snížení napětí (při zátěži). Rezistory jsou nejběžnější součástí v elektronických zařízeních. Ideální rezistor má, nezávisle na pracovních podmínkách a fyzikálních parametrech okolního prostředí, vykazovat čistě

reálný elektrický odpor. To znamená, že napětí na svorkách rezistoru je přímo úměrné proudu, který jím protéká  **$u(t) = R \cdot i(t)$  Ohmův zákon**

základní jednotka  $R \dots 1\Omega$  (Oohm)



- **Kondenzátor  $C$** , je pasivní elektrotechnický akumulací prvek používaný v el. obvodech k dočasnému uchování elektrického náboje. Základní vlastností je jeho elektrická kapacita  $C$ . Vyjadřuje schopnost uchovávat elektrický náboj.

$$i(t) = C \cdot du(t)/dt$$

základní jednotka  $C \dots 1F$  (farad)



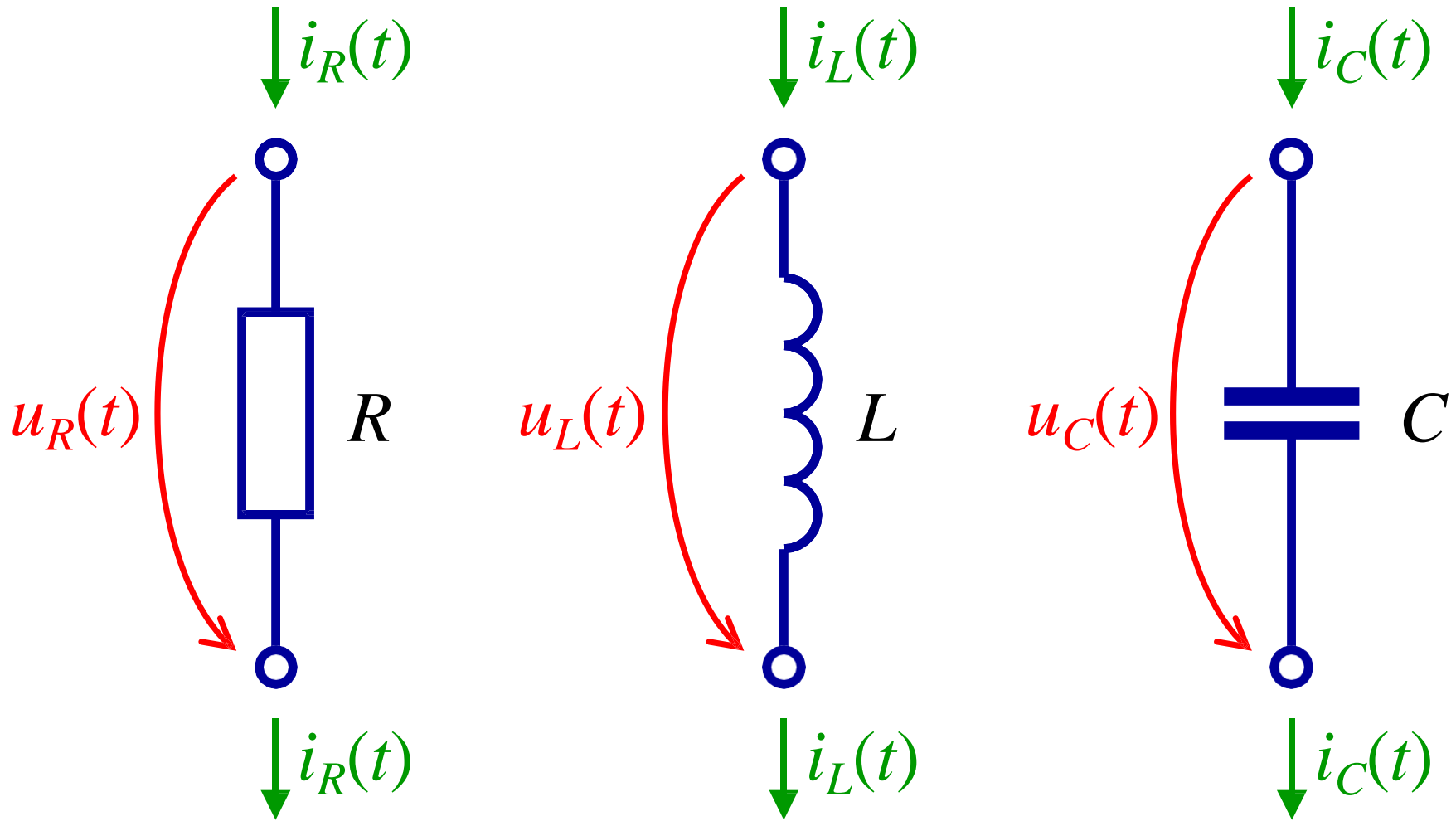
- **Cívka  $L$** , elektrotechnická součástka vyznačující se pouze indukčností (ideální cívka).
- Energii akumuluje ve formě magnetického pole.

$$u(t) = L \cdot di(t)/dt$$

základní jednotka  $L \dots 1H$  (henry)



# Pasivní prvky v elektrických obvodech



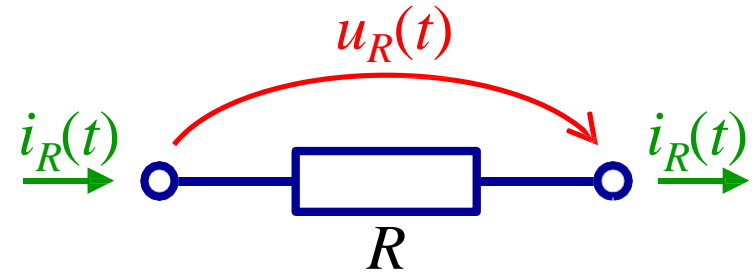
*Rezistor*

*Induktor*

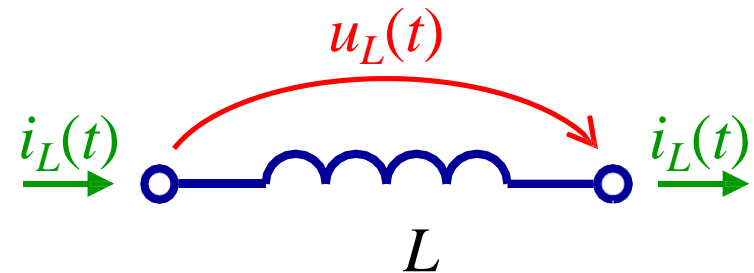
*Kapacitor*

# Rovnice el. prvků

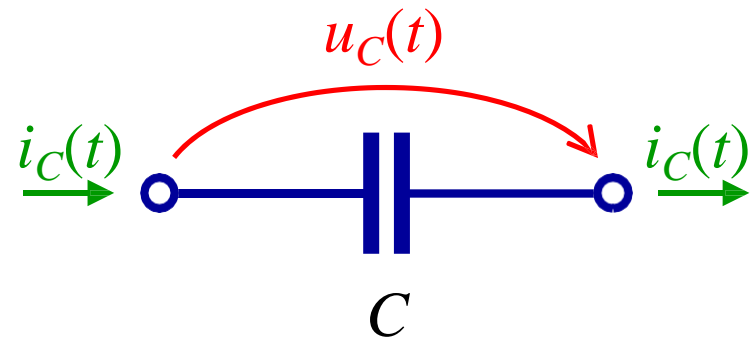
$$u_R(t) = R \cdot i_R(t)$$



$$u_L(t) = L \cdot i_L'(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt}$$



$$i_C(t) = C \cdot u_C'(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$$



V pasivních el. prvcích má proud protékající elementem stejnou orientaci jako má úbytek napětí na prvku.



### 3. Rezistor $R$

- Všechny materiály kladou odpor toku elektrického proudu
- Odpor rezistoru označujeme  $R$ , jeho jednotkou je  $1\ \Omega$  [ohm]
- Odpor rezistoru závisí na jeho geometrických parametrech a vodivosti  $\rho$  [ $\Omega\cdot\text{m}$ ] použitého materiálu:

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

- Ohmův zákon:

$$u(t) = R \cdot i(t)$$

Neplatí v polovodičích a neohmických (nelineárních) materiálech a zařízeních (žárovka).

- v elektronických obvodech obvykle řády::  $1\ \text{k}\Omega$  ,  $1\ \text{M}\Omega$  apod.

- **Klasifikace materiálů**

- *vodiče* mají tak malý odpor ( $\leq 0.1\Omega$ ), že ho při analýze obvodu můžeme zanedbat a vodič můžeme považovat za ideální
- *Nevodiče* mají odpor velmi vysoký ( $>50\text{ M}\Omega$ ). Nevodiče nahrazujeme při analýze obvodu rozpojením obvodu.
- *Rezistory* mají odpor středně velký . Při analýze obvodů je musíme brát v úvahu. Vlastnosti resistoru popisuje VA charakteristika  $u(t)=f(i(t))$ . Odpor resistoru je vždy kladný.

# Rezistory

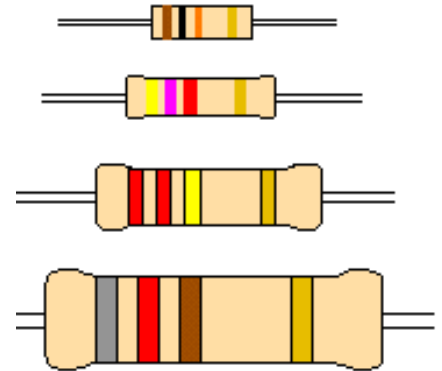
## Obvodové symboly:



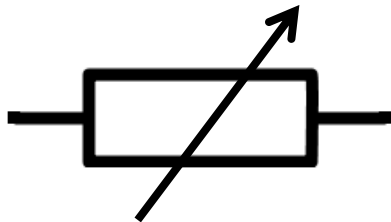
Rezitor - IEC Symbol



Rezistor - IEEE Symbol



## Obvodové symboly pro potenciometr:



Potenciometr -  
IEC Symbol



Potenciometr-  
IEEE Symbol



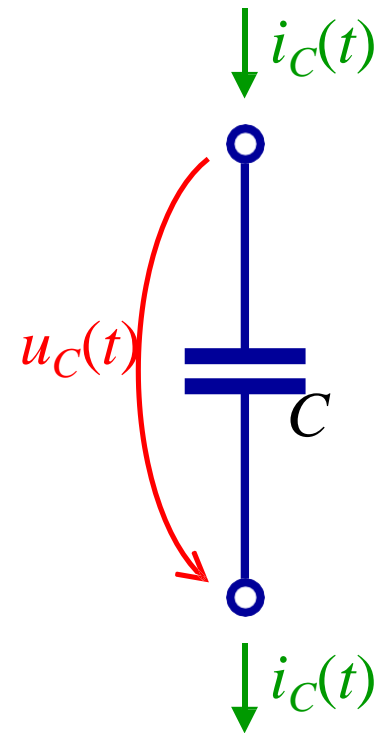
# 4. Kapacitor (kondenzátor) $C$

- Realizuje fyzikální veličinu *kapacita*  $C$
- Jednotkou *farad*, značka  $F$
- Nejčastěji v obvodech v řádech nF, pF

- Rovnice:

$$i_C(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$$

- Pro řešení diferenciální rovnice 1. řádu potřebujeme znát počáteční podmínku  $u_C(0)=?$
- Počáteční podmínku volíme nejčastěji nulovou:  $u_C(0)=0V$



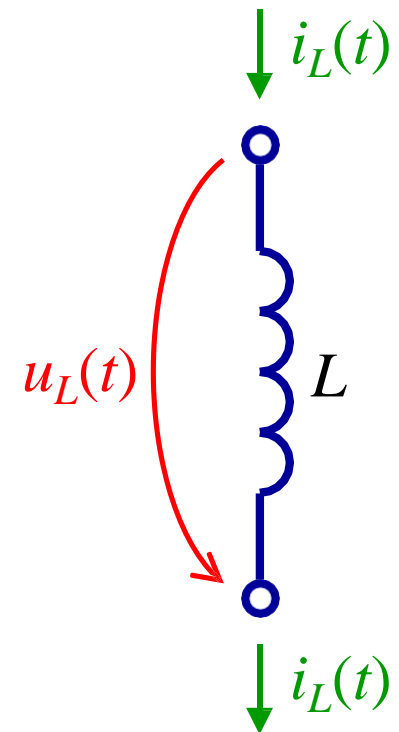
# 5. Induktor (cívka) L

- Realizuje fyzikální veličinu *indukčnost* **L**
- Jednotka *henry*, **H**

- Rovnice:

$$u_L(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt}$$

- Pro řešení diferenciální rovnice 1. řádu potřebujeme znát počáteční podmínku  $i_L(0)=?$
- Počáteční podmínku volíme nejčastěji nulovou:  $i_L(0)=0\text{A}$



# Kapacitory a induktory- shrnutí

- Mají řadu duálních vlastností
- Kapacitory a induktory uchovávají energii, kapacitory ve formě el. pole, induktory ve formě magnetického pole
- Závislost  $u(t)$ - $i(t)$  je u obou definována diferenciální rovnicí 1. řádu:

$$i_C(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$$

$$u_L(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt}$$

## *Rovnice základních prvků- shrnutí*

$$u_R(t) = R \cdot i_R(t)$$

$$u_L(t) = L \cdot i_L'(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt}$$

$$i_C(t) = C \cdot u_C'(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$$

**Pro řešení obou diferenciálních rovnic musíme znát počáteční podmínku (ne nutně, ale obvykle ji volíme jako nulovou). Definuje se pro tu veličinu, která je v 1. derivaci.:**

$$u_C(0)=0V, i_L(0)=0A$$