

# **Elektronika**

2017

## Doporučená literatura

- J. Doleček Moderní učebnice elektroniky 1-6, Technická literatura BEN
- Z Ondráček Elektronika pro fyziky, Brno 1998
- www
- Mike Tooley, Electronic circuits, fundamental and applications, Elsevier 2006
- V.A Suprynowicz Electrical and Electronics Fundamental: West Publishing company 1987

# Elektronické prvky

- Elektrický obvod - vzájemné spojení součástek
  - součástky nahrazeny idealizovanými prvky
  - spojením el. prvků tak, že vznikne uzavřená dráha pro tok proudu
  - děje lze popsat Maxwellovými rovnicemi
  - rozměry  $\ll$  s vlnovou délkou – obvod se soustřednými prvky (řeš.  $\rightarrow$  diferenciální rovnice)
  - rozměry srovnatelné s vln. délkou - obvod s rozloženými prvky (řeš.  $\rightarrow$  parciální diferenciální rovnice)
- Obvody
  - lineární
  - nelineární

(závislost na přiloženém napětí, protékajícím proudem...)

## Prvky dále dělíme

- aktivní - obsahují zdroj el. energie
  - součástky, jejichž el. parametry jsou proměnné a říditelné změnou napětí či proudu přivedeného jejich vývody
- pasivní - nejsou zdrojem proudu nebo napětí
  - Rezistory (odpory)
  - Kapacitory (kondenzátory)
  - Induktory (cívky)

### Normalizované řady hodnot





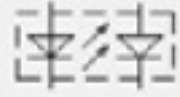
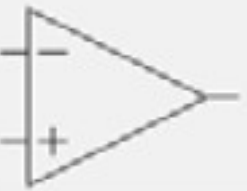
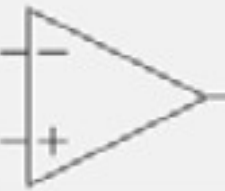





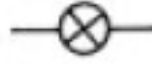
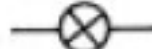




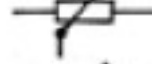

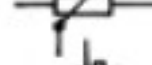
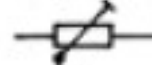



(pokrývá právě jednu dekádu - geometrická řada)

**E6 (20%)**      10, 15, 22, 33, 47, 68

**E12 (10%)**    10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82

**E24 (5%)**     10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30,  
33, 36, 39, 43, 47, 51, 56, 62, 68, 72, 82, 91

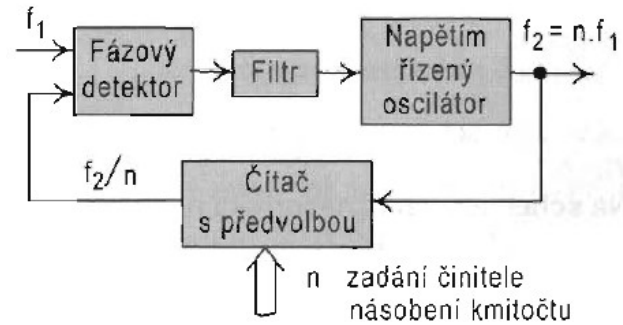
# Několik schématických značek

	vodič		kondenzátor	    	
	vodivé spojení vodičů		elektrolytický kondenzátor		Rele
	napěťový článek		proměnný kondenzátor		Opto Oddelovac
	baterie		kapacitní trimr		Operacni Zesilovac
	žárovka		dioda		
	spínač		Zenerova dioda		
	rezistor		světelná dioda		
	proměnný rezistor		tranzistor		
	odporový trimr		piezoelektrický prvek		
	sluchátko		reproduktor		

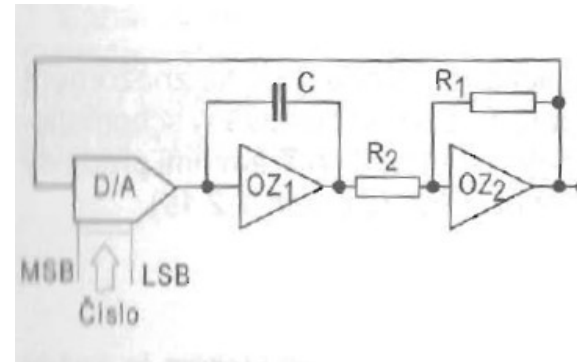
zasady

# Typy zapojení

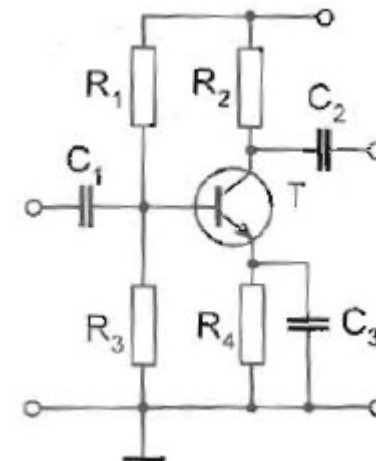
Blokové



Principiální



Obvodové zapojení



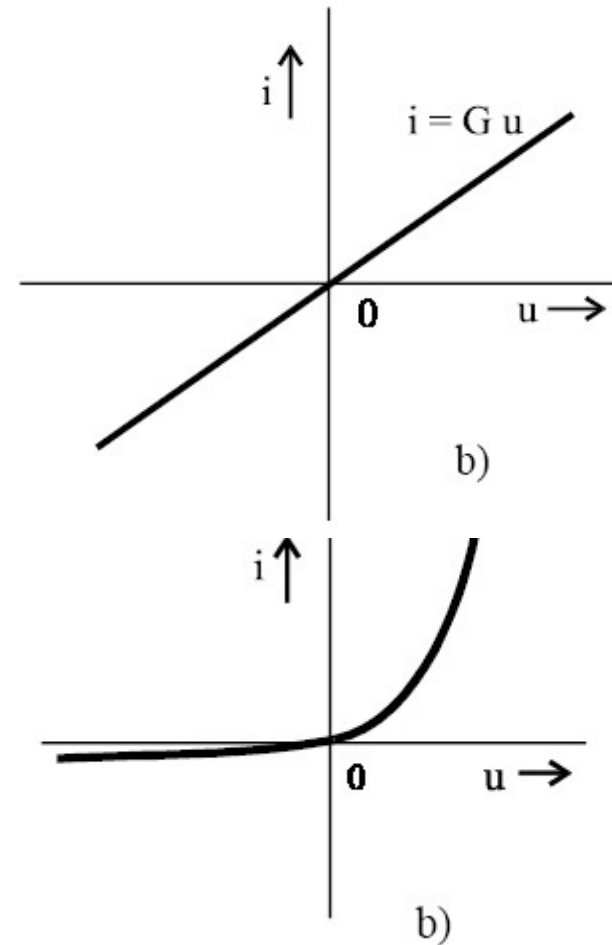
# Prvky dále dělíme

Podle počtu pólů: 2 pólové  
3 pólové  
n-pólové

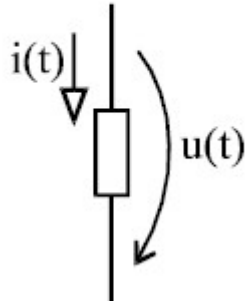
Podle závislosti: lineární

nelineární

(závislost na přiloženém napětí,  
protékajícím proudem, teplotě,...)



# Dvojpóly



$$F\left(u, \frac{du}{dt}, \frac{d^2u}{dt^2}, \dots, \frac{d^nu}{dt^n}, i, \frac{di}{dt}, \dots, \frac{d^ni}{dt^n}\right)$$

Pro pomalé změny

$$F(u, i)$$

Odporové dvojpóly

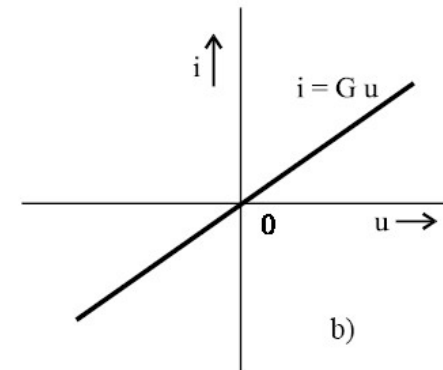
$$u = f(i) \text{ nebo } i = g(u)$$

Kapacitní dvojpóly

$$i = C \frac{du}{dt} \text{ nebo } u = \frac{1}{C} \int i dt$$

Indukčnostní dvojpóly

$$i = \frac{1}{L} \int u dt \text{ nebo } u = L \frac{di}{dt}$$

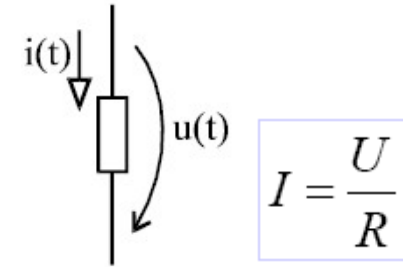




# Typy pasivních dvojpólů - rezistory

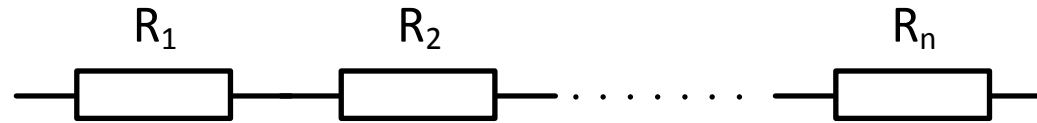
Rezistory patří nejčastěji používaným pasivním prvkům, které elektrickou energii nevratným způsobem mění na jinou formu energie

- Technologie montáže: povrchová montáž (SMT)  
vývodové (THT)
- Konstrukce: drátové  
vrstevové - uhlíkové
  - naprášenou kovovou vrstvou
  - vakuově napař. kovovou vrstvou
  - cermetové (kovová vrstva vypálená za horka do keramiky)
- Vlastnosti: hmotové (polykrystalický polovodivý spěkaný materiál; méně kvalitní avšak levný)  
velikost odporu, výkonové zatížení, teplotní stabilita, časová stabilita, parazitní kapacita, parazitní indukčnost atp.



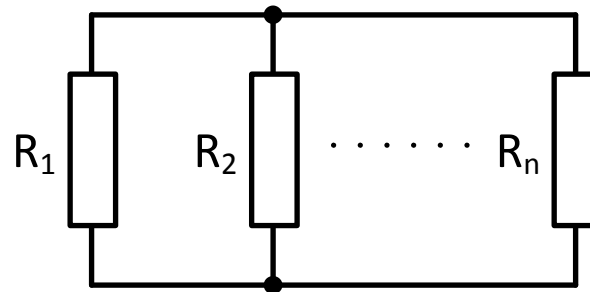
# Řazení rezistorů

Sériově



$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Paralelně

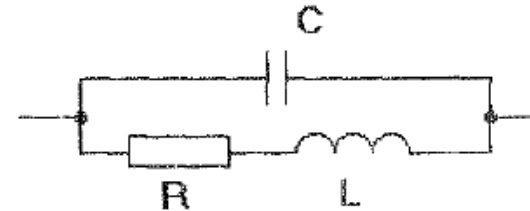


$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad \left( R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

# Rezistory

Pro ss napětí a nízké frekvence- chování se blíží ideální součástce

Pro vyšší frekvence lze nahradit  
obecným obvodem



Mezní frekvence použitelnosti

$$f_{mez} = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$$

je-li omezující parazitní indukčnost

$$f_{mez} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

je-li omezující parazitní kapacita

## Zatížitelnost rezistorů

dána teplem vyzářeným rezistorem do okolí  
příkon vyjadřuje vztah:

$$P = U \cdot I, \quad [W, V, A]$$

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

$$P = R \cdot I^2 \quad [W, \Omega, A]$$

$$P = \frac{U^2}{R} \quad [W, V, \Omega]$$

# Značení rezistorů

- číselné  
 $47J = 47R = 47 \Omega$   
 $2k2 = 2200 \Omega (2,2 \cdot 10^3 \Omega)$   
 $M47 = 470k = 470 \text{ k}\Omega (470 \cdot 10^3 \Omega)$
- barevné (dle normalizované řady barev)

4 - proužkový kód 560KΩ ±5%

BAREVNÝ KÓD

BARVA	1. proužek	2. proužek	3. proužek	násobek	tolerance
ČERNÁ	0	0	0	1	
HNĚDÁ	1	1	1	10	±1% (F)
ČERVENÁ	2	2	2	100	±2% (G)
ORANŽOVÁ	3	3	3	1K	
ŽLUTÁ	4	4	4	10K	
ZELENÁ	5	5	5	100K	±0.5% (D)
MODRÁ	6	6	6	1M	±0.25% (C)
FIALOVÁ	7	7	7	10M	±10% (B)
ŠEDÁ	8	8	8		±0.05% (A)
BÍLÁ	9	9	9		
ZLATÁ				0.1	±5% (J)
STŘÍBRNÁ				0.01	±10% (K)

5 - proužkový kód 247Ω ±1%

# Proměnné rezistory

Dle způsobu zapojení:

- reostat - v sérii se zátěží
- potenciometr - části dráhy odporu tvoří dělič napětí

Průběh dráhy: lineární (N)

logaritmický (G)

exponenciální (E)

Provedení: trimr, potenciometr

jednoduchý, tandemový

úhel natočení 270 °, víceotáčkové (10 ot.)

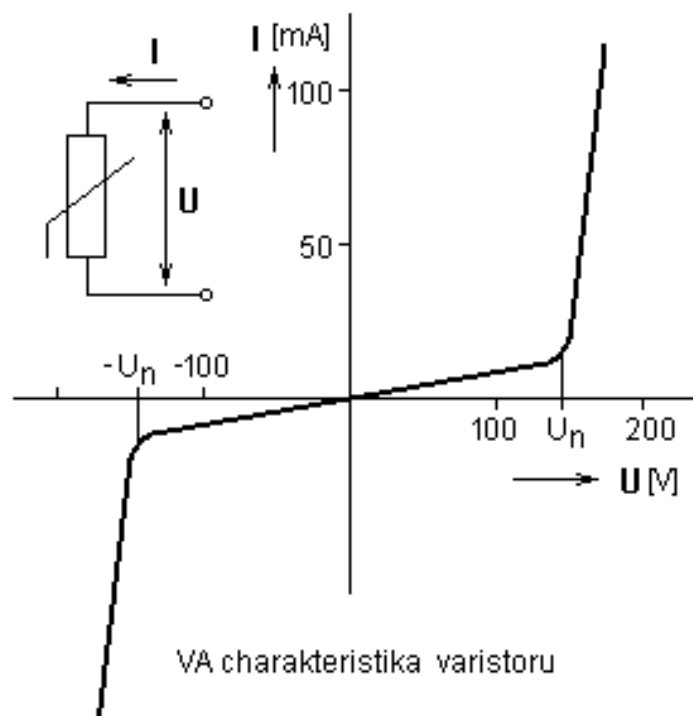


Pozn.: Odporový dělič zatížený a nezatížený – viz cvičení

# Napět'ově závislé rezistory - varistory

Varistor – **variable resistor** (VDR – Voltage Dependent Resistor)

- nelineární polovodičová součástka
- velikost odporu závislá na velikosti přiloženého napětí



## Napět'ově závislé rezistory - varistory

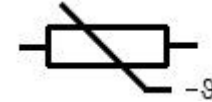
- výroba: slisováním a spékáním zrn karbidu křemíku (SiC) za vysokých teplot (1200 °C)  
(MOV – Metal Oxid Varistor)  
spékáním oxidu kovů, např. zinku
- vlastnosti: rychlá odezva (desítky ns)  
odolávají krátkodobému přetížení
- použití: přepět'ové ochrany  
odlehčující obvody (kontakty relé,  
demagnetizace cívek relé, ...)



# Rezistory závislé na teplotě - termistory

z angl. slova thermistor – **thermal resistor**

- nelineární
- velikost odporu závisí na teplotě
- dva druhy: PTC – kladný teplotní koeficient  
NTC – záporný teplotní koeficient



$$R_1 = R_2 \cdot e^{B\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)}$$

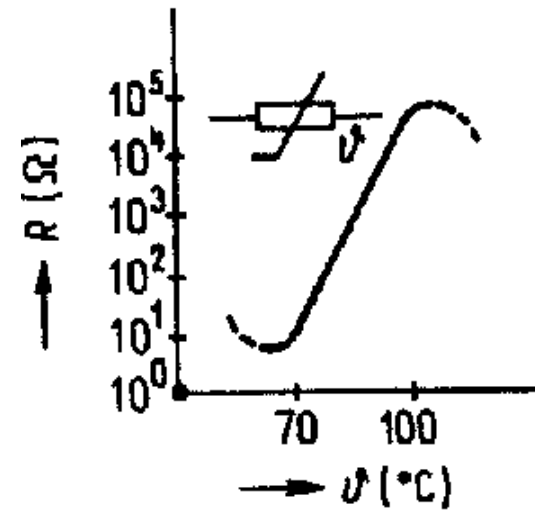
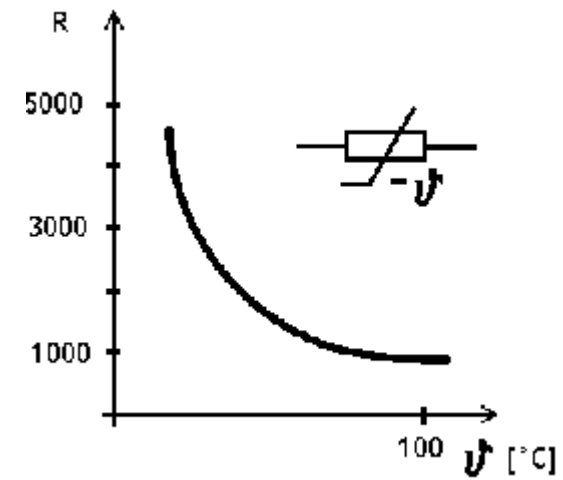
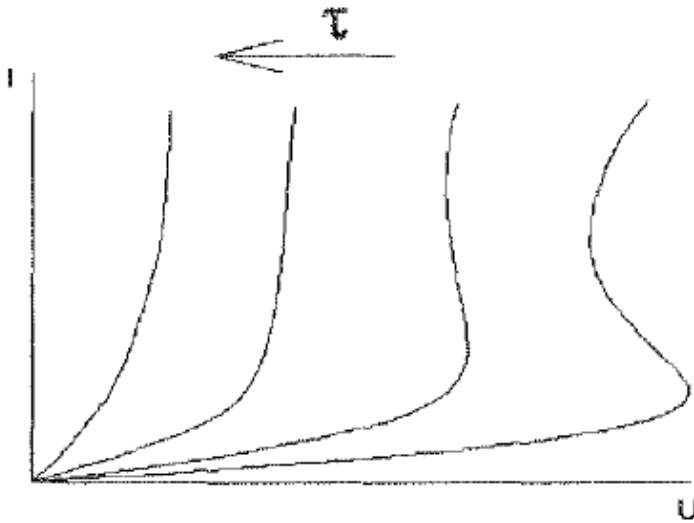
$R_1$  – odpor při teplotě  $T_1$

$R_2$  – odpor při teplotě  $T_2$

$B$  – teplotní konstanta termistoru (materiál, geom. tvaro,...)

(konstanta  $B$  se mění s teplotou → rovnice není zcela přesná)

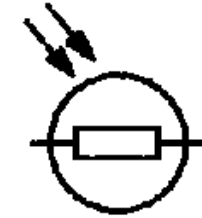
# Rezistory závislé na teplotě - termistory



## Rezistory závislé na teplotě - termistory

- výroba: rozemletí oxidu kovu (Mn, Fe, Co, Ni,...)  
přidání příměsí a pojiva  
slisování vysokým tlakem  
vypálení při vysoké teplotě (přes 1000 °C)
- vlastnosti: rozsah teplot od -200 °C do 300 °C  
pro měřicí účely je pracovní proud desítky  $\mu\text{A}$
- použití: měření teploty  
jištění NTC – omezení náraz. proudu  
PTC – Polyswitch, Semifuse, Multifuse  
(jedná se o polymer PTC)  
stabilizace stejnosměrného napětí

# Rezistory závislé na osvětlení - fotorezistor



R závislý na osvětlení

$$R = r \cdot E^{-\alpha}$$

Logaritmováním

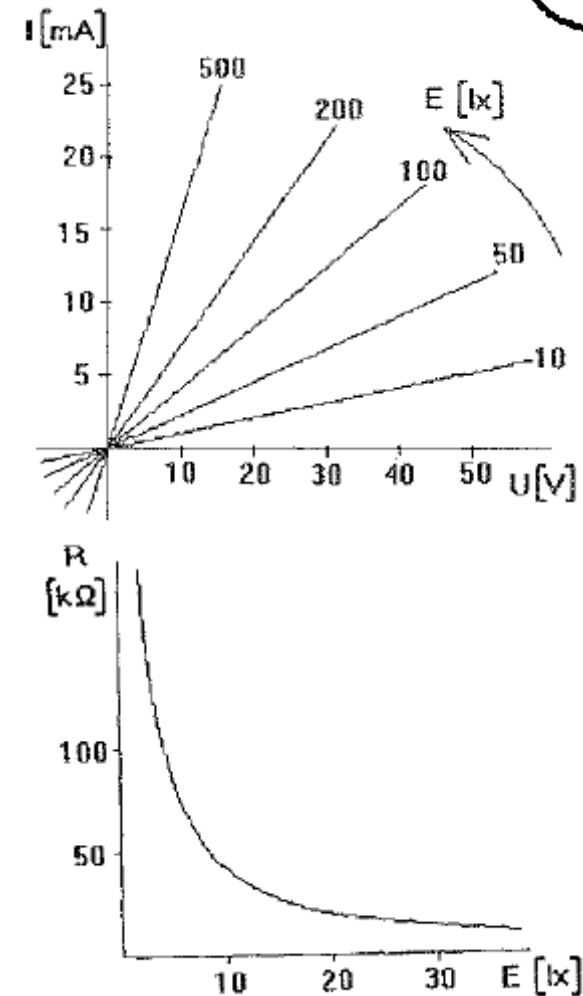
$$\log R = \log r - \alpha \log E$$

Odporová citlivost

$$\gamma_R = \frac{dR}{dE} = -\alpha r \cdot E^{-(\alpha+1)} = -\alpha \cdot \frac{R}{E}$$

Relativní spektrální citlivost

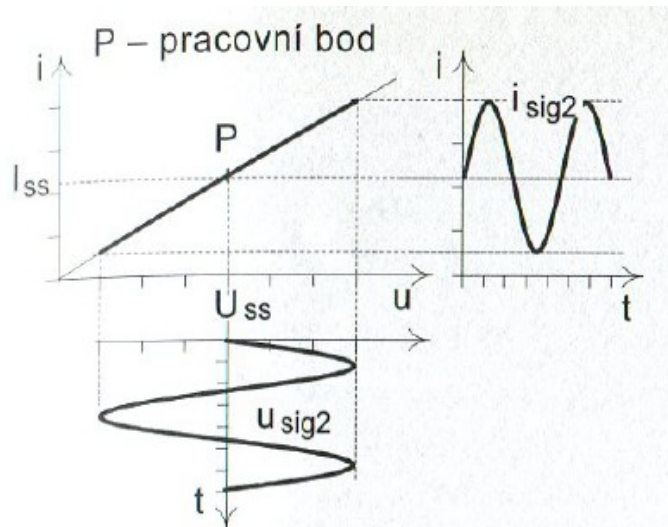
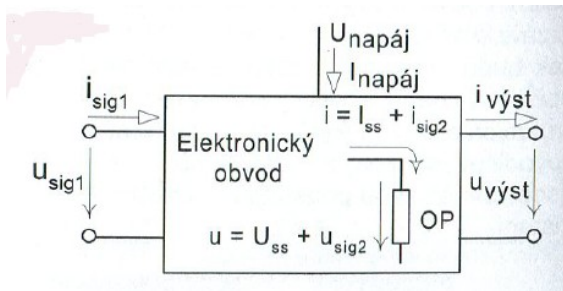
$$\gamma_\lambda = \frac{\frac{I}{I_0}}{\frac{\Phi_0(\lambda)}{\Phi_0(\lambda_0)}}$$



Obr. 12

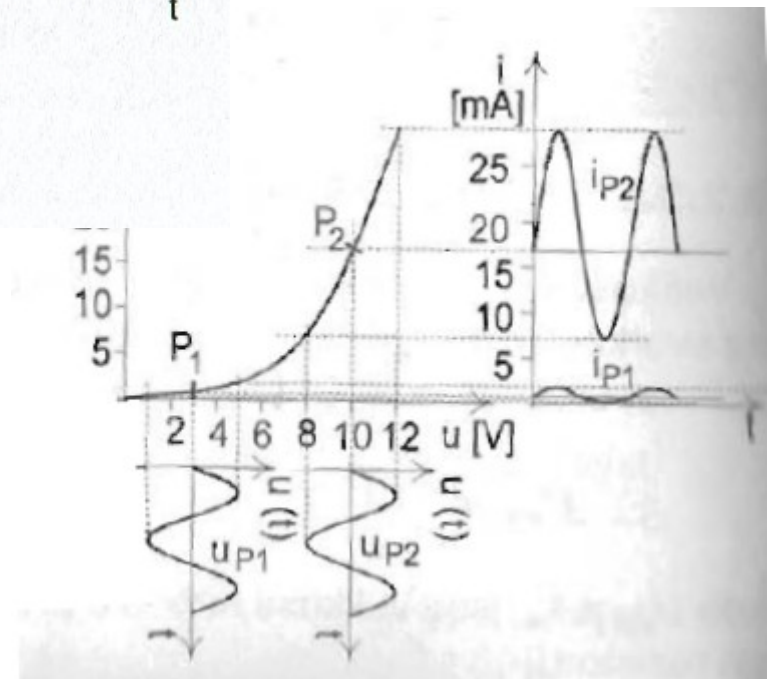
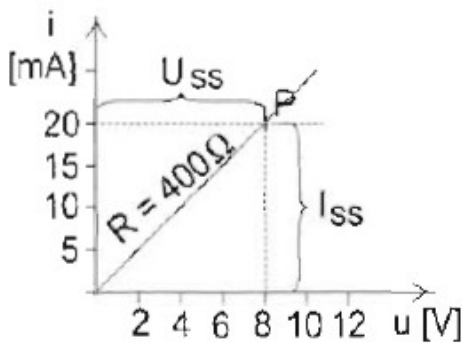
# Pracovní bod

= oblast, kde obvodový prvek pracuje, tj. bod na charakteristice určený  $U$  a  $I$ , když není přiveden signál



$$i = I_{ss} + i_{sig2}$$

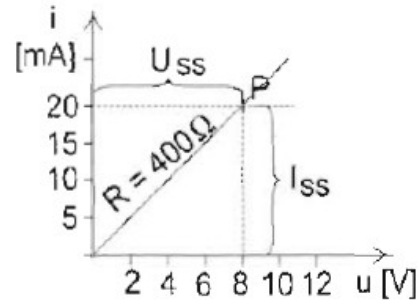
$$u = U_{ss} + u_{sig2}$$



# Statický, dynamický odpor

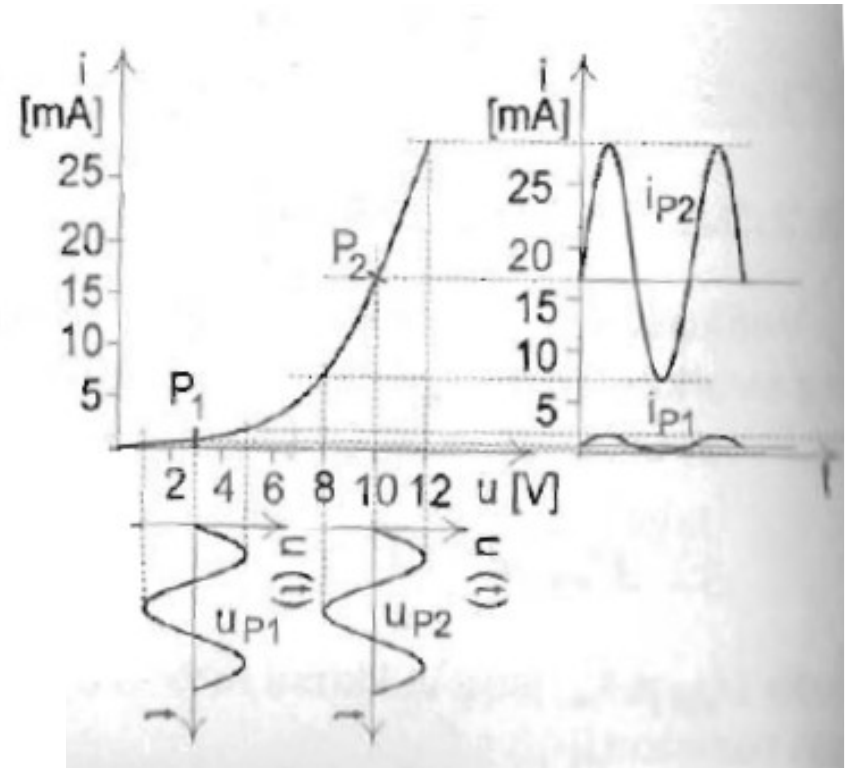
- Statický odpor

$$R_{\text{stat}} = \frac{U_{\text{stat}}}{I_{\text{stat}}}$$



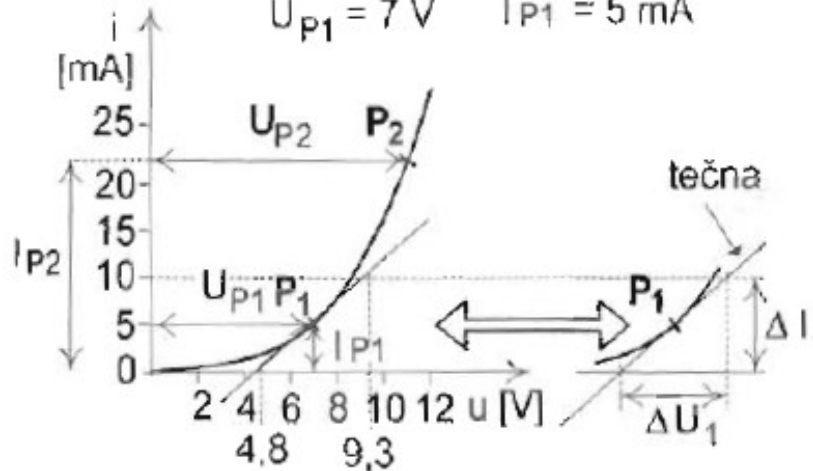
- Dynamický odpor

$$R_{\text{Dp}} = \frac{\Delta U_p}{\Delta I_p}$$



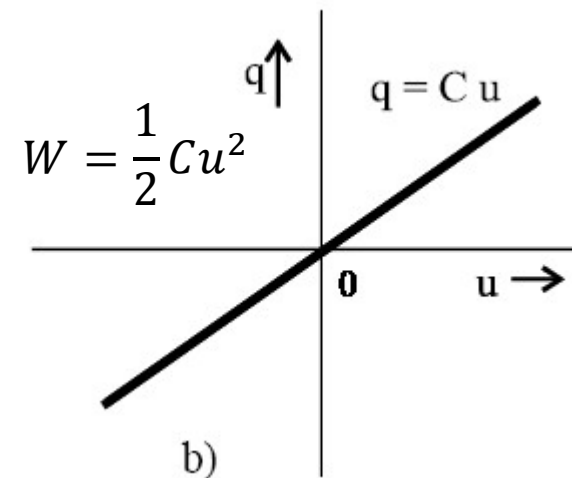
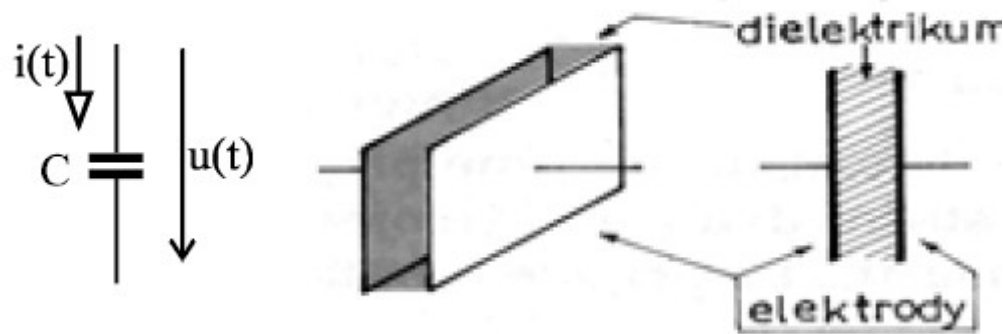
$$U_{P2} = 11 \text{ V} \quad I_{P2} = 20 \text{ mA}$$

$$U_{P1} = 7 \text{ V} \quad I_{P1} = 5 \text{ mA}$$



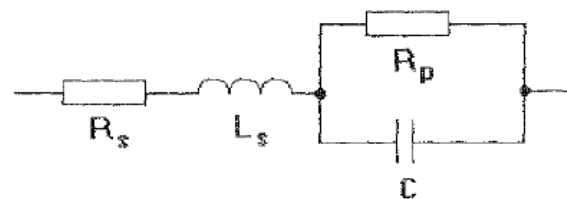
# Typy pasivních dvojpólů - kapacitor

Kondenzátor akumuluje energii ve formě energie elektrického pole. Kapacitor charakterizuje závislostí akumulovaného náboje  $q$  na napětí  $u$ .



$$C = \varepsilon \cdot \frac{S}{d} \quad [\text{F}] \quad \varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$$

Náhradní zapojení



$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_s \cdot C}}$$

$$ESR = \frac{tg\delta}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

$$P_{ztrát} = U_{ef}^2 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C \cdot tg\delta$$

# Vlastnosti dielektrických materiálů

typ dielektrika	rozsah kapacit	max. napětí(V)	přesnost	teplotní závislost	svodový proud	obecné vlastnosti
slída	1pF - 10nF	100 - 1000	dobrá	dobrá	malý	Výborné, vhodné pro vf. účely
keramika	0,5pF - 1nF	100 - 2000	dobrá	volitelná	malý	možný výběr $T_c$ (vč. nulového)
BaTiO <sub>3</sub> keramika	10pF - 1μF	40 - 30000	špatná	špatná	středně velký	malé, levné, trpí hysterezí
polyester	1nF - 50μF	50 - 1000	dobrá	špatná	malý	levné, dobré, oblíbené
polystyren	10pF - 2,7μF	100 - 600	výborná	dobrá	velmi malý	výborné, ale rozměrné, pro filtry
polykarbonát	100pF - 30μF	50 - 800	výborná	výborná	malý	výborné, malé
polypropylen	100pF - 50μF	100 - 800	výborná	dobrá	velmi malý	výborné, malá hystereze
teflon	1nF - 2μF	50 - 200	výborná	nejlepší	nejmenší	výborné, nejmenší hystereze
sklo	10pF - 1nF	100 - 1000	dobrá	dobrá	velmi malý	dlouhodobě stabilní
Ta - elektrolyt	0,1μF - 500μF	3 - 100	špatná	špatná	střední	velké kapacity, polarizované
Al - elektrolyt	0,1μF - 2F	3 - 600	velmi špatná	velmi špatná	velmi velký	filtry ve zdrojích, špatná životnost
dvouvrstvý elyt.	0,1F - 10F	1,5 - 6	špatná	špatná	malý	zálohování paměti
olej	0,1μF - 20μF	200 - 20000	střední	špatná	malý	vysokonapěťové filtry, rozměrné
vakuum (N <sub>2</sub> )	1pF - 5nF	2000 - 50000	dobrá	dobrá	velmi malý	pro vysíláče
porcelán	100pF - 0,1μF	50 - 500	dobrá	dobrá	malý	dlouhodobě stabilní
metaliz. papír	1nF - 50pF	100 - 1000	střední	špatná	malý	průraz není destruktivní

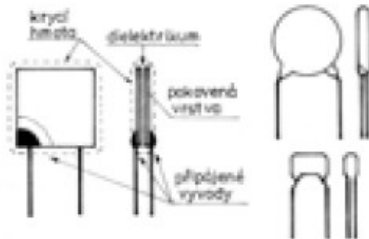


# Konstrukční provedení

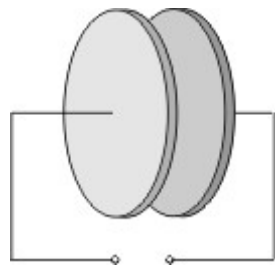
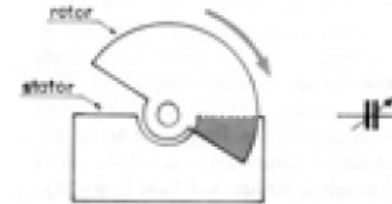
Provedení:

pevné

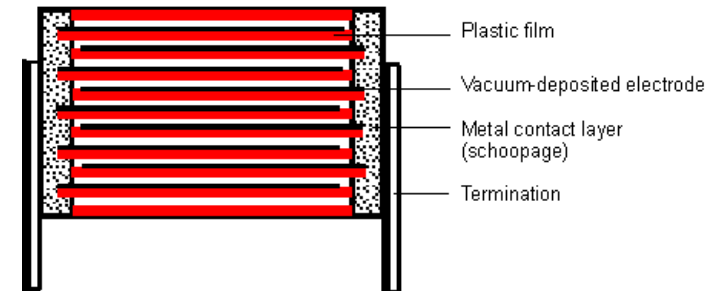
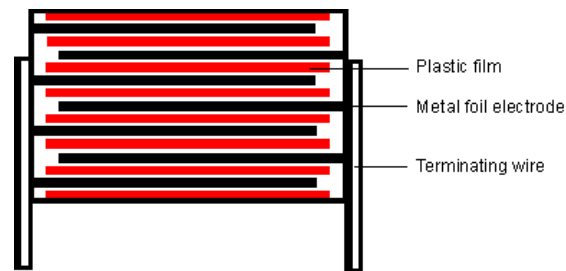
proměnné



Elektrolytické  
slídové  
(olej)



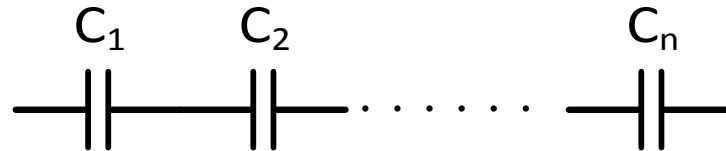
diskový



materiál: polyester,  
polypropylen

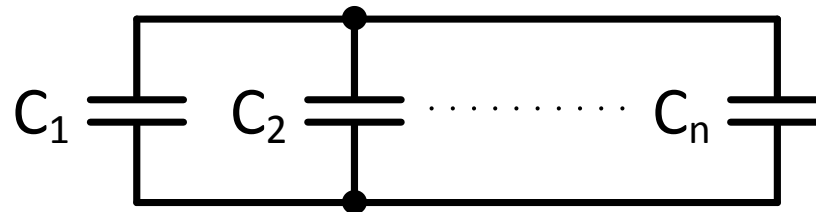
# Řazení kapacitorů

Sériově



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Paralelně



$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

# Značení kapacitorů

- číselné

**zákl. j. = pF ( $\mu\text{F}$ )**

82 = 82pF

10k = 10nF

4n7 = 4,7nF

M5 = 0,5 $\mu\text{F}$

500M = 0,5mF

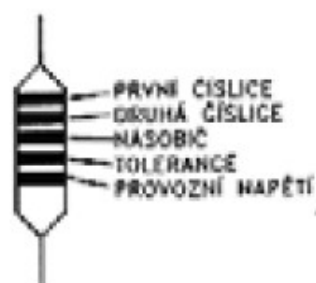
mili  $10^{-3}$

mikro  $10^{-6}$

nano  $10^{-9}$

piko  $10^{-12}$

- barevné



Obr. 4-8 Svítkový kapacitor



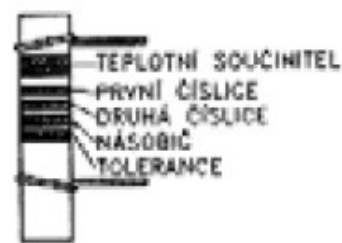
Obr. 4-9 Plochý (pol-  
středkový) keramický  
kapacitor



Obr. 4-10 Keramický  
pod 10 pF



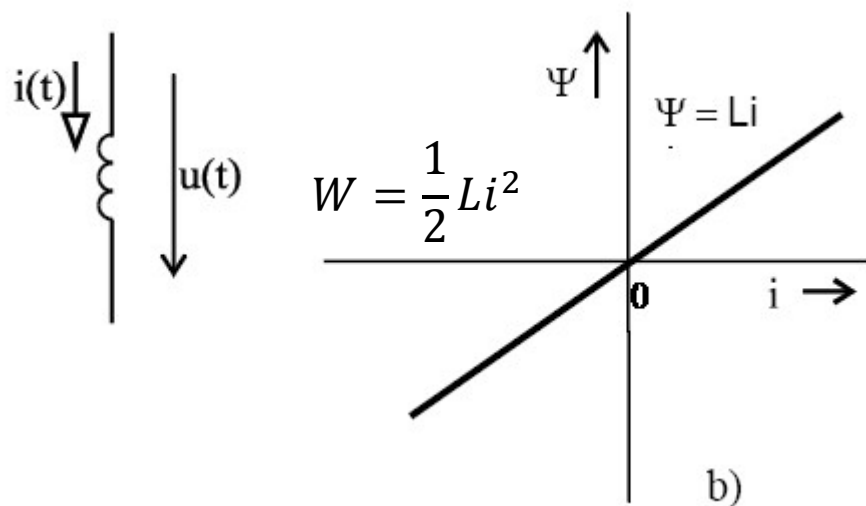
Obr. 4-11 Trubičkový  
keramický



Obr. 4-12 Trubičkový  
keramický přesný

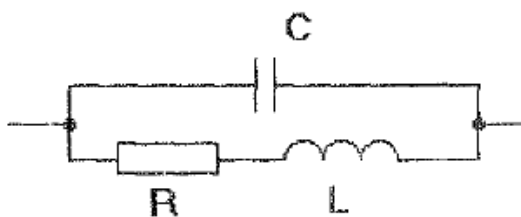
# Typy pasivních dvojpólů - induktory

Cívka akumuluje energii v magnetickém poli a je charakterizována závislostí spřaženého magnetického toku  $\Psi$  na proudu  $i$ .



- cívka navinuta nejčastěji z měděného drátu (VF lanko)
- vzduchová (případně plošná)
- na železném jádře
- na feritovém jádře

Náhradní schema



$$L = N^2 \cdot \mu \cdot \frac{S}{l}$$

# Induktory - relativní permeabilita

$\mu$  = permeabilita

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

$$\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \text{ [H/m]}$$

$\mu_r < 1$  diamagnetické látky

$\mu_r > 1$  paramagnetické látky

$\mu_r \gg 1$  feromagnetické látky

$\mu_r = 0,993$  dusík

$\mu_r = 2,85$  kyslík

$\mu_r = 1,28$  vzduch

$\mu_r = 500$  železo

$\mu_r = 3000$  permalloy

$\mu_r = 5000$  ferit

relativní susceptibilita =  $\chi_m$

$$\mu_r = 1 + \chi_m$$

závislost na teplotě, s teplotou klesá

$$\chi_m = \frac{M}{H}$$

$M$  – magnetizace  $H$  – intenzita mag. pole

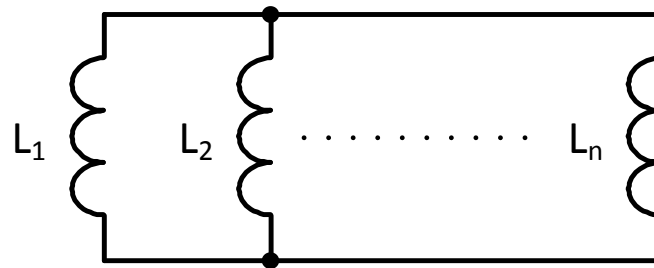
# Řazení induktorů

Sériově



$$L = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

Paralelně



$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

# Aktivní obvodové prvky

Působí v obvodu jako **zdroje elektrické energie**. energii nevyrábí, ale získávají ji z energie jiného druhu, např. energie chemické, tepelné, světelné, mechanické nebo jiné.

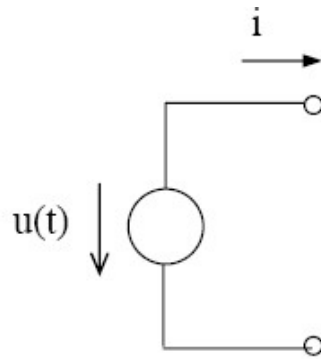
- nezávislé (autonomní) zdroje
- závislé (řízené) zdroje (ZNŘN, ZPŘP, ZNŘP, ZPŘN)

## **Nezávislé zdroje elektrické energie**

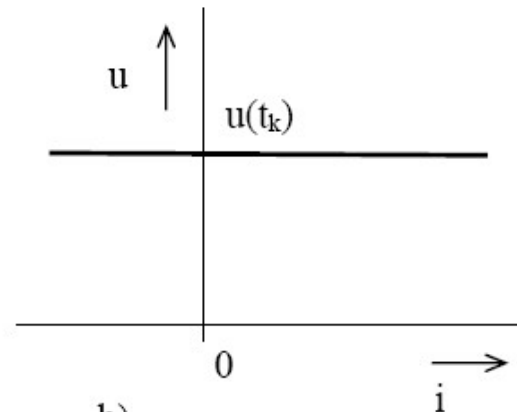
- nezávislé zdroje napětí
- nezávislé zdroje proudu
  - ideální
  - reálné zdroje
    - lineární
    - nelineární

# Zdroje napětí a proudu

Ideální zdroj napětí – napětí na svorkách  $u(t)$  nezávisí na velikosti odebíraného proudu  $i(t)$

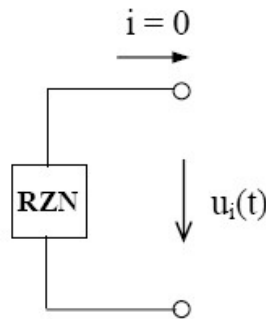


a)

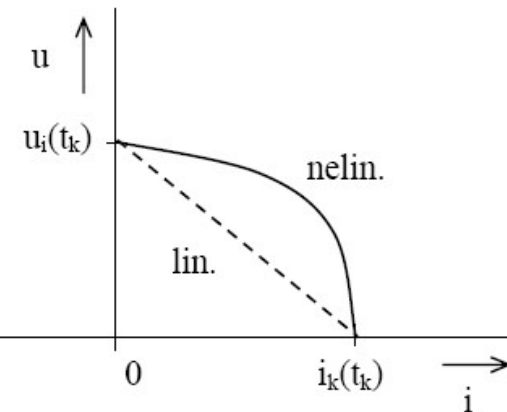


b)

Reálný zdroj napětí



a)

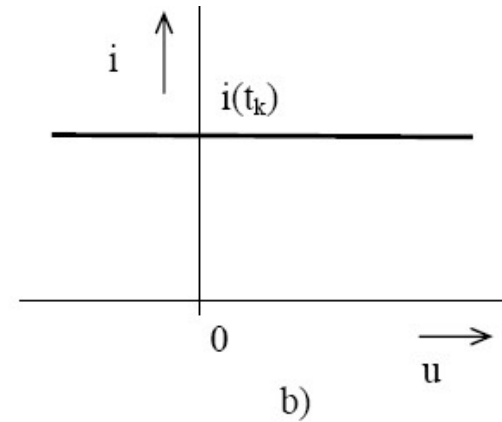
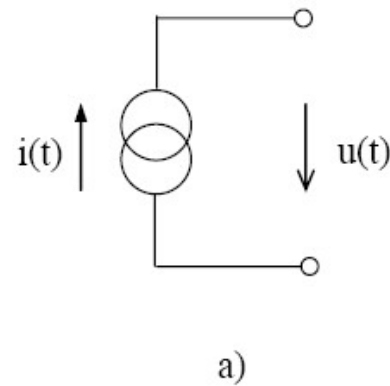


b)

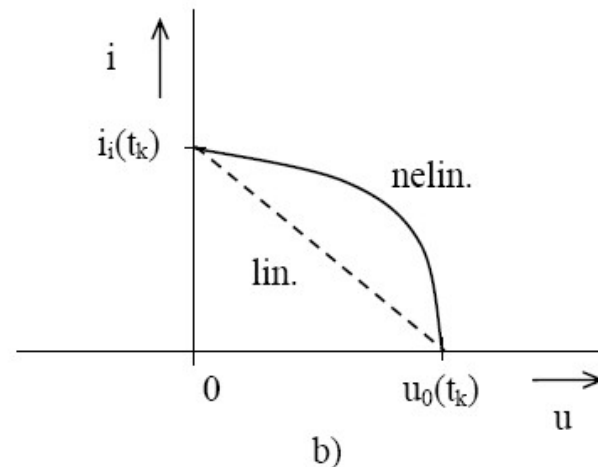
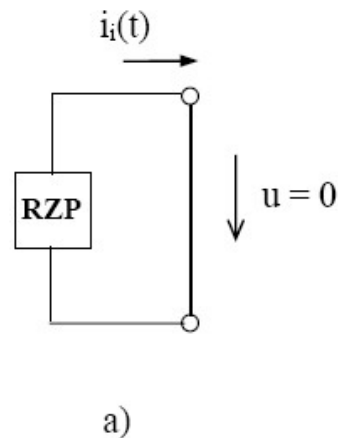


# Zdroje napětí a proudu

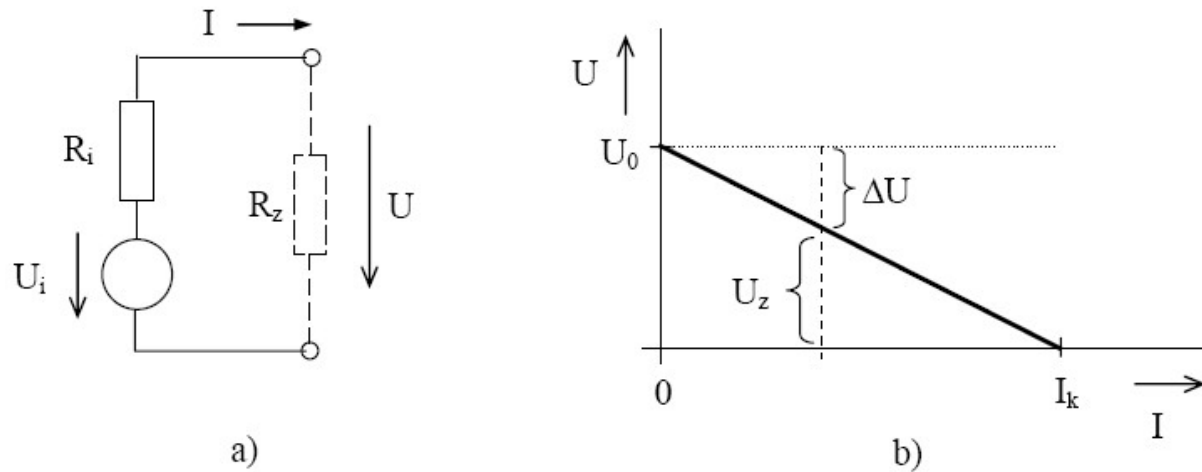
Ideální zdroj proudu – dodává proud určitého časového průběhu  $i(t)$  nezávisle na velikosti zátěže



Reálný zdroj proudu



# Reálný zdroj napětí



$$U = U_i - R_i \cdot I = U_i - \Delta U$$

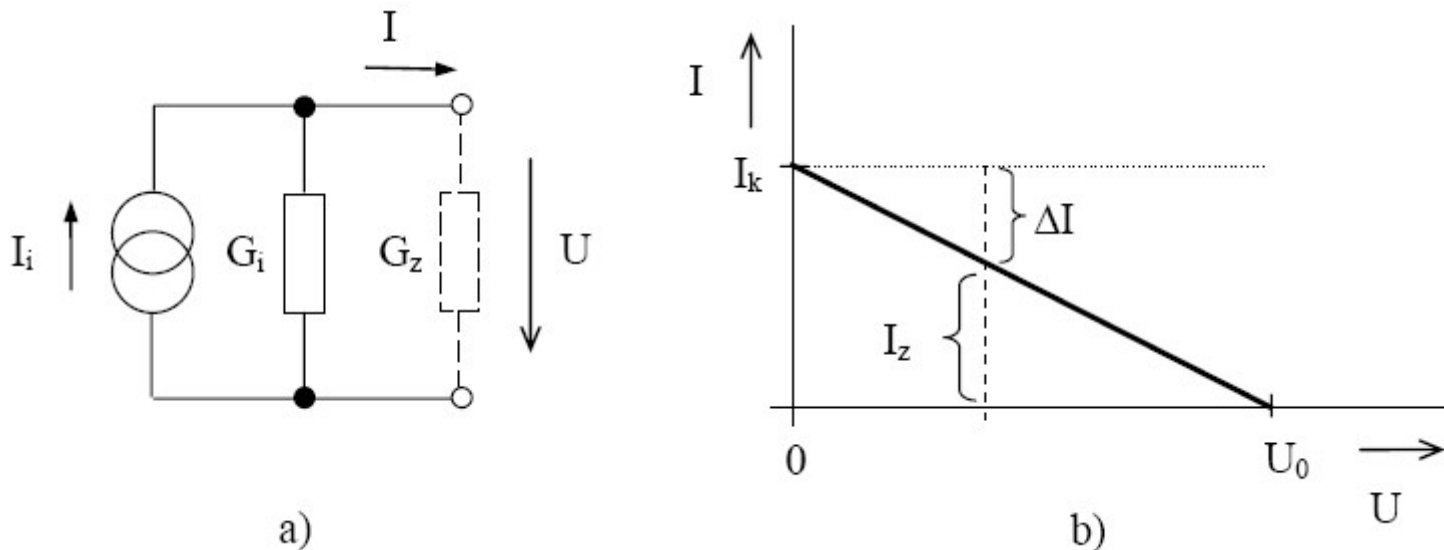
$U_i$  - vnitřní napětí

$U$  - svorkové napětí

$R_i$  - vnitřní odpor

# Reálný zdroj proudu

vznikne spojením ideálního zdroje proudu s pasivním prvkem



$$I = I_i - G_i \cdot U = I_i - \Delta I$$

$I_i$  - vnitřní proud

$G_i$  - vnitřní vodivost

$I$  - výstupní proud