

Cvičení 1: Základní pojmy a pasívní prvky

Úvod

Harmonogram semestru, požadavky na zápočet

Průběh cvičení a bezpečnost práce

Práce na počítačích v učebně s141j

C1.1 Elektronický obvod a jeho prvky

Lineární aktivní a pasívní prvky

Teorémy, zákony...

C1.2 Rezistor

C1.3 Kondenzátor

C1.4 Cívka

Práce na počítačích v učebně s141j

Přihlašování: Po příchodu do místnosti **ZAPNĚTE PC**
a počkejte na automatické přihlášení...

Soubory pro výuku: **moodle.fel.cvut.cz**

Na začátku cvičení:

1. **Vyčistit** složku C:\Users\Student\ELPA\ELPAxx
2. **Stáhnout** z „MOODLE“ soubory pro dané cvičení
3. **Rozbalit** soubory do C:\Users\Student\ELPA\ELPAxx
typická struktura: C:\Users\Student\ELPA\ELPAxx
složka se soubory pro dané cvičení
návod (pdf)
protokol (xlsx)
úlohy pro simulaci

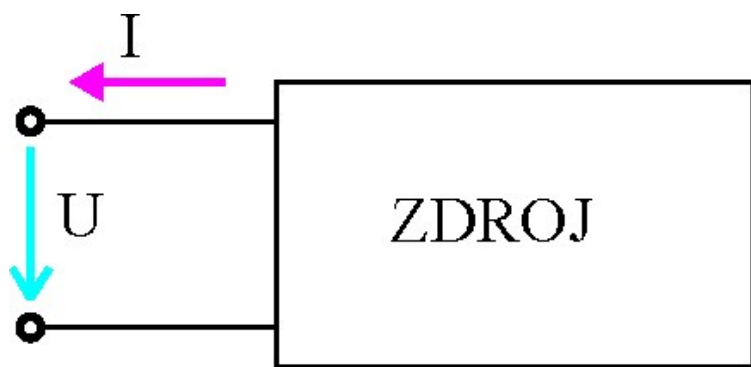
kde xx je číslo cvičení
resp. výukového týdne

Na konci cvičení:

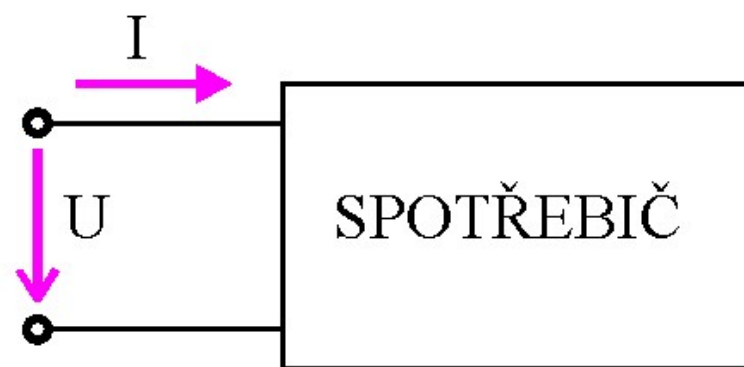
1. **Nahrát** protokol (Excel) do „MOODLE“
2. **Vyčistit** složku C:\Users\Student\ELPA\ELPAxx

C1.1 Elektronický obvod a jeho prvky

Zdroj a spotřebič



a)

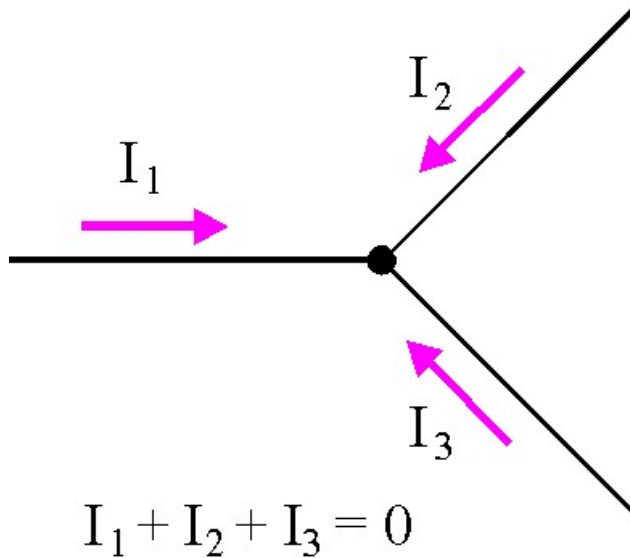


b)

Zdrojová a spotřebičová orientace napětí a proudu.

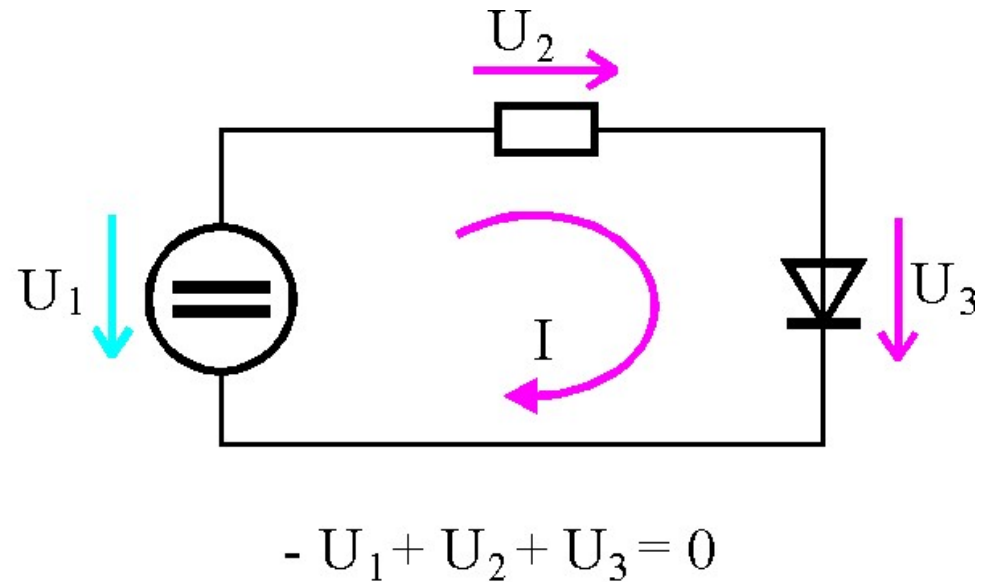
C1.1 Elektronický obvod a jeho prvky

Kirchhoffovy zákony



1. Kirchhoffův zákon

Součet proudů v kterémkoliv uzlu elektrického obvodu se rovná nule.

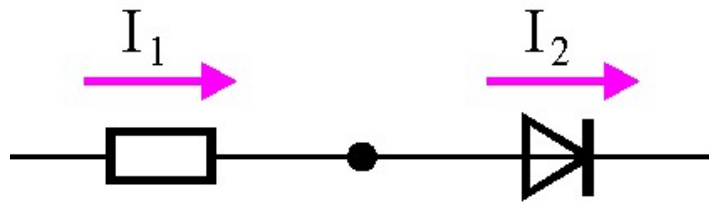


2. Kirchhoffův zákon

Součet svorkových napětí prvků elektrického obvodu v libovolné uzavřené smyčce se rovná nule.

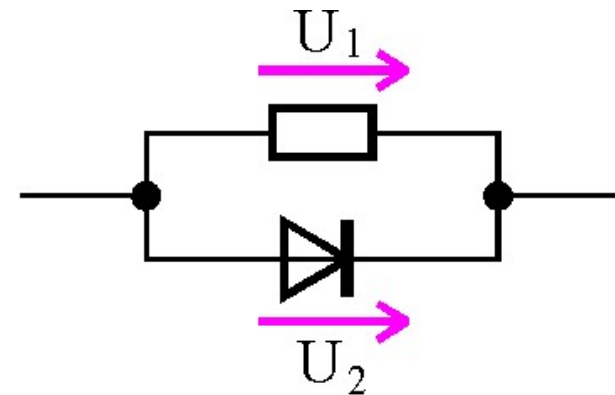
C1.1 Elektronický obvod a jeho prvky

Sériové a paralelní řazení součástek



$$I_1 = I_2$$

a)



$$U_1 = U_2$$

b)

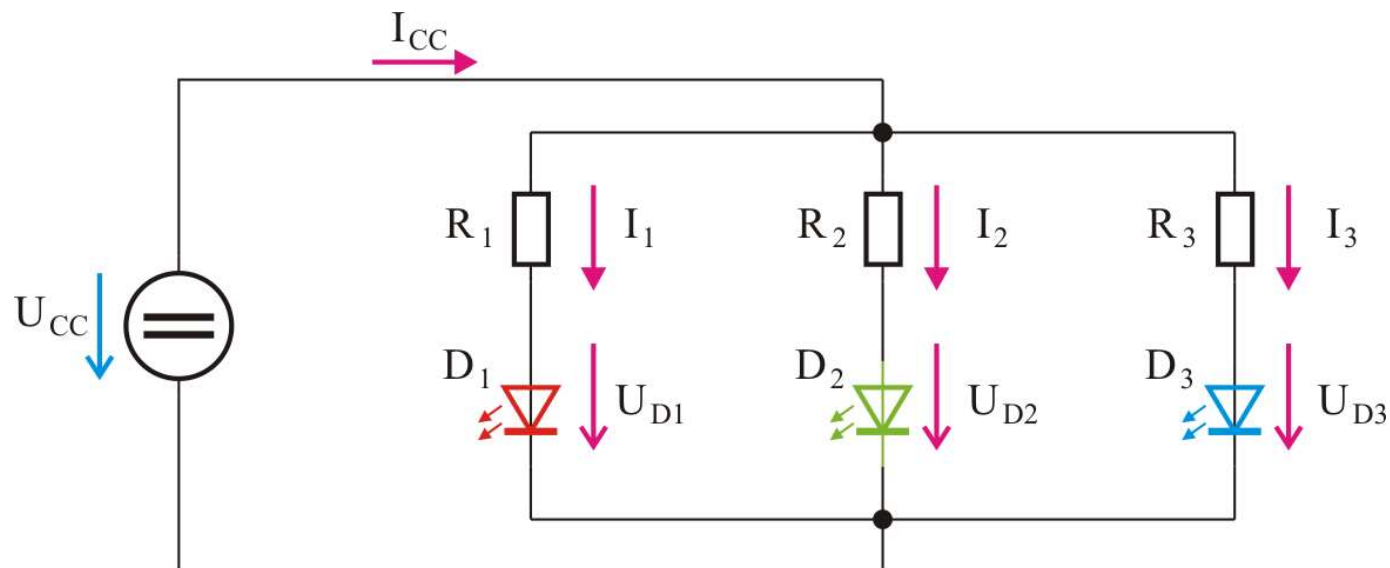
Sériově zapojenými součástkami protékají shodné proudy.

Paralelně zapojené součástky mají shodné napětí.

C1.1 Elektronický obvod a jeho prvky

Příklad CP1.1:

$U_{CC}=5V$,
 $U_{D1}=1,7V$ (red),
 $U_{D2}=2,2V$ (green),
 $U_{D3}=3,0V$ (blue)



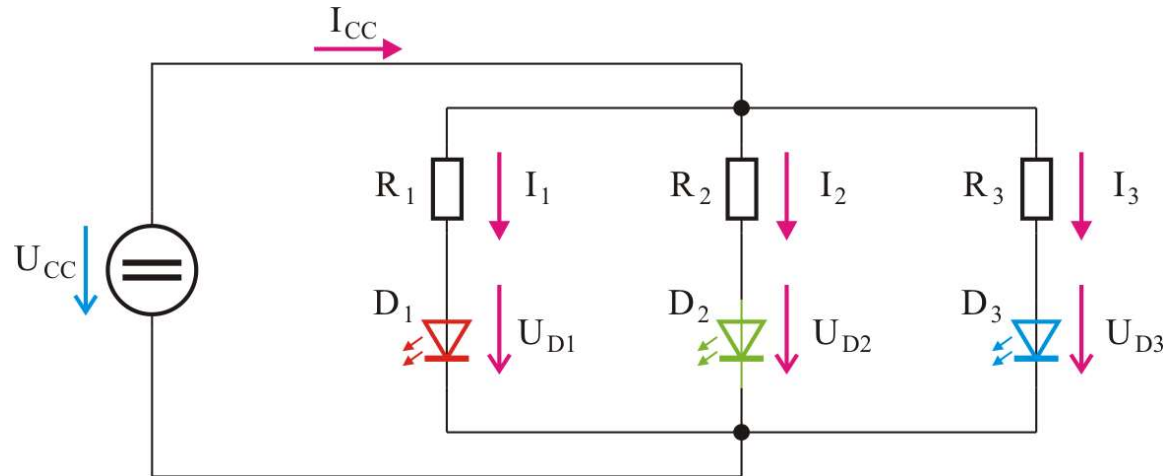
- Určete hodnoty úbytků napětí na odporech R_1, R_2, R_3
- Určete hodnoty odporu R_1, R_2, R_3 pro $I_1=12mA$, $I_2=8mA$, $I_3=5mA$
- Jaký bude celkový odběr proudu I_{CC} ze zdroje napětí U_{CC}

C1.1 Elektronický obvod a jeho prvky

Příklad CP1.1:

$U_{CC}=5V$,
 $U_{D1}=1,7V$ (red),
 $U_{D2}=2,2V$ (green),
 $U_{D3}=3,0V$ (blue)

Řešení:



a) Určete hodnoty úbytků napětí na odporech R_1, R_2, R_3

$$U_{R_1} = U_{CC} - U_{D_1} = 5 - 1,7 = 3,3 \text{ [V]}$$

$$U_{R_2} = U_{CC} - U_{D_2} = 5 - 2,2 = 2,8 \text{ [V]}$$

$$U_{R_3} = U_{CC} - U_{D_3} = 5 - 3,0 = 2,0 \text{ [V]}$$

$$-U_{CC} + U_{R_1} + U_{D_1} = 0$$

b) Určete hodnoty odporu R_1, R_2, R_3 pro $I_1=12\text{mA}$, $I_2=8\text{mA}$, $I_3=5\text{mA}$

$$R_1 = \frac{U_{R_1}}{I_1} = \frac{3,3}{12 \cdot 10^{-3}} = 257 \text{ } [\Omega], \quad R_2 = \frac{U_{R_2}}{I_2} = \frac{2,8}{8 \cdot 10^{-3}} = 350 \text{ } [\Omega], \quad R_3 = \frac{U_{R_3}}{I_3} = \frac{2,0}{5 \cdot 10^{-3}} = 400 \text{ } [\Omega]$$

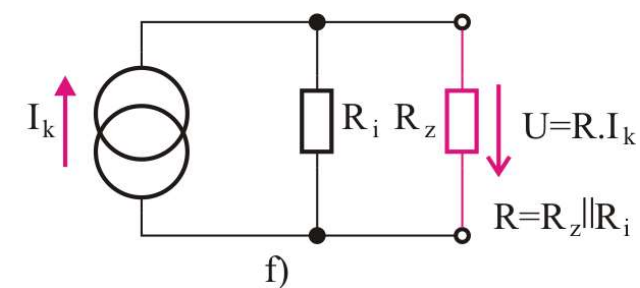
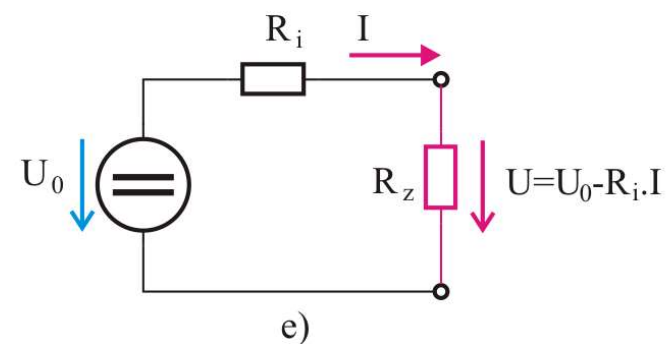
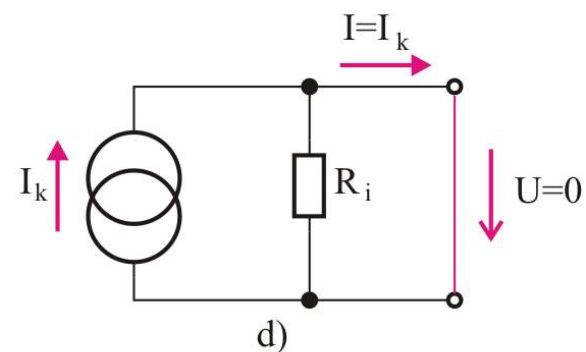
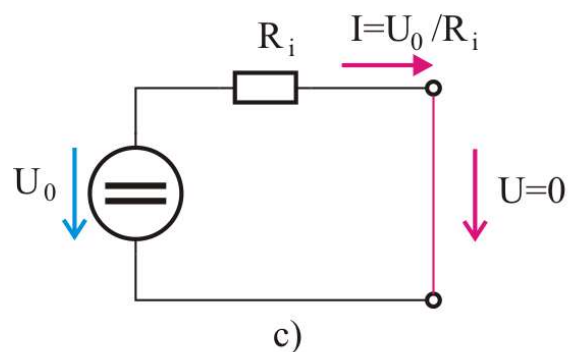
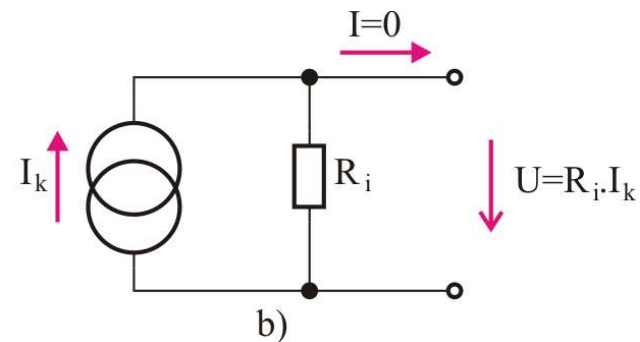
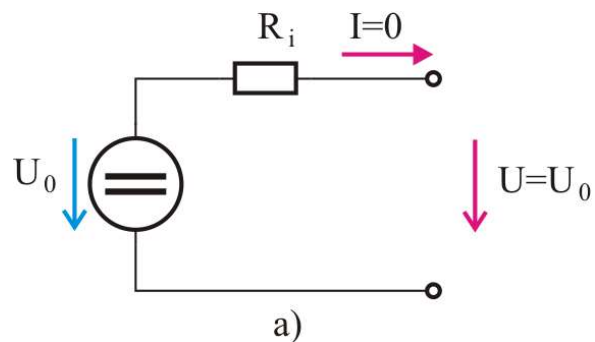
c) Jaký bude celkový odběr proudu I_{CC} ze zdroje napětí U_{CC}

$$I_{CC} - I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$I_{CC} = I_1 + I_2 + I_3 = 12 \cdot 10^{-3} + 8 \cdot 10^{-3} + 5 \cdot 10^{-3} = 25 \cdot 10^{-3} \text{ [A]}$$

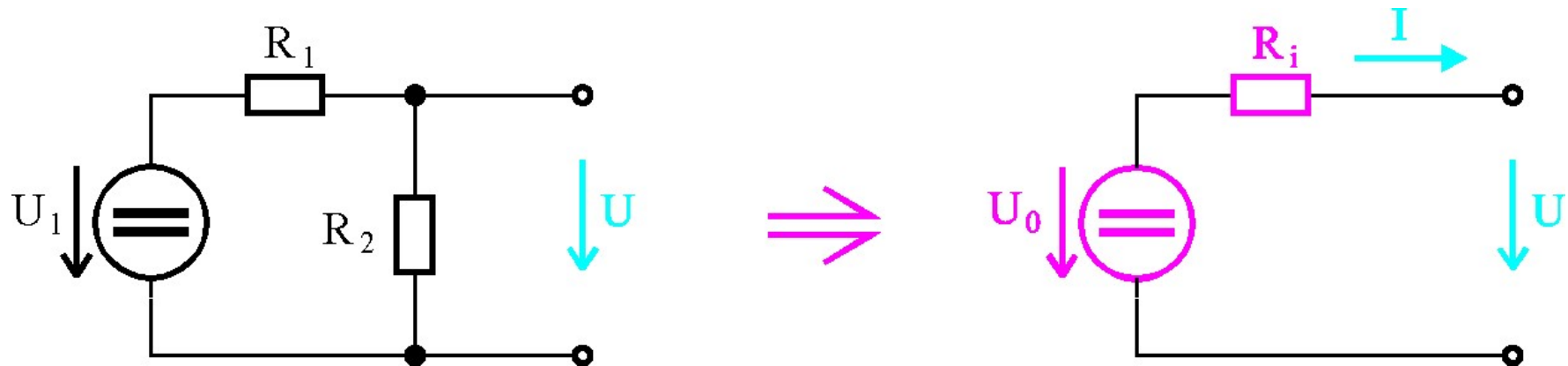
C1.1 Elektronický obvod a jeho prvky

Zdroje napětí a proudů



C1.1 Elektronický obvod a jeho prvky

Theveninův teorém



Libovolně složitý lineární aktivní dvojpól je možné z hlediska libovolných dvou svorek nahradit jedním ideálním zdrojem napětí a sériově zapojeným odporem.

$$U_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_1 \quad [V]$$

$$R_i = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad [\Omega]$$

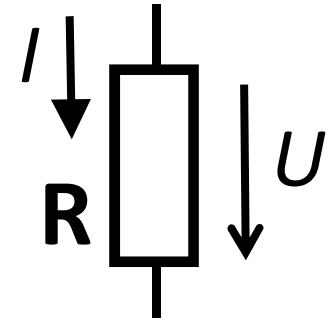
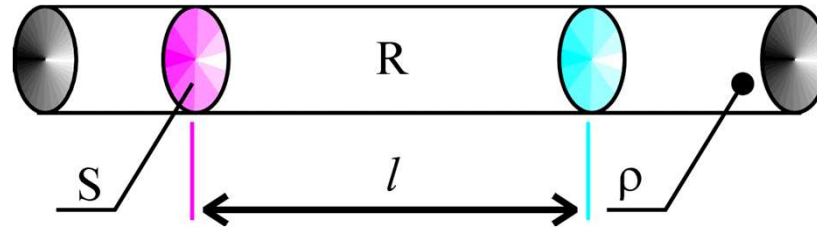
C1.2 Rezistor

Odpor materiálu:

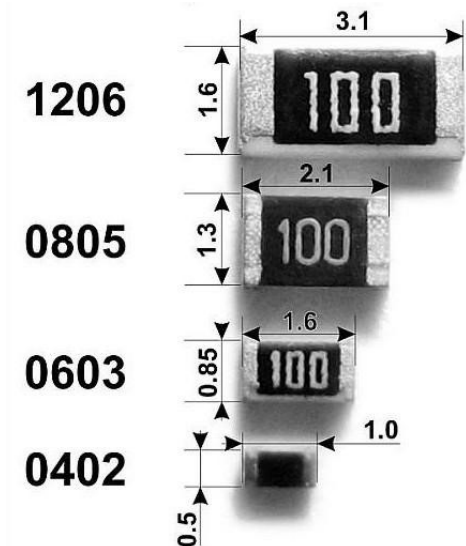
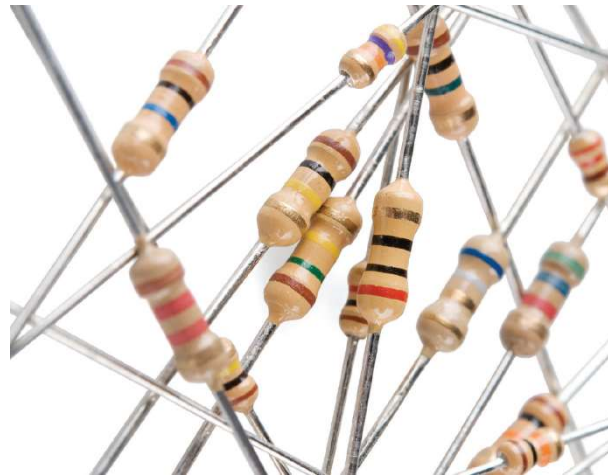
$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad [\Omega]$$

kde

ρ je měrný elektrický odpor (Ωm),
 l je délka vodiče (m),
 S plocha průřezu (m^2)



$$U = R \times I$$

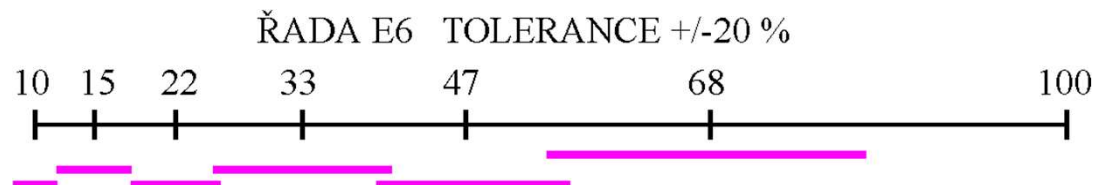
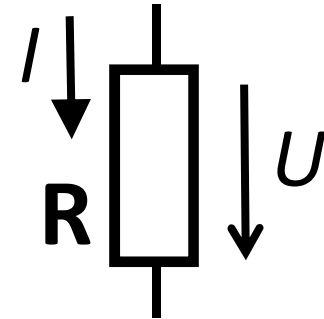


C1.2 Rezistor

Parametry rezistorů:

Řada jmenovitých hodnot

- Resistory se vyrábějí s tolerancí odporu (20%, 10% .. 0.1%...)
- Pokrytí celého rozsahu dekády (hodnota + toleranční pole)
vede k volbě **geometrické řady jmenovitých hodnot**



Řady jmenovitých hodnot

Řada E24 ±5 %											
1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0
3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1
Řada E12 ±10 %											
1,0	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8	8,2
Řada E6 ±20 %											
1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8						

C1.2 Rezistor

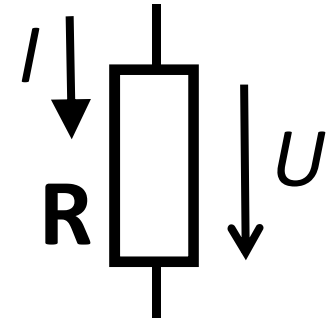
Parametry rezistorů:

Jmenovitá zatížitelnost

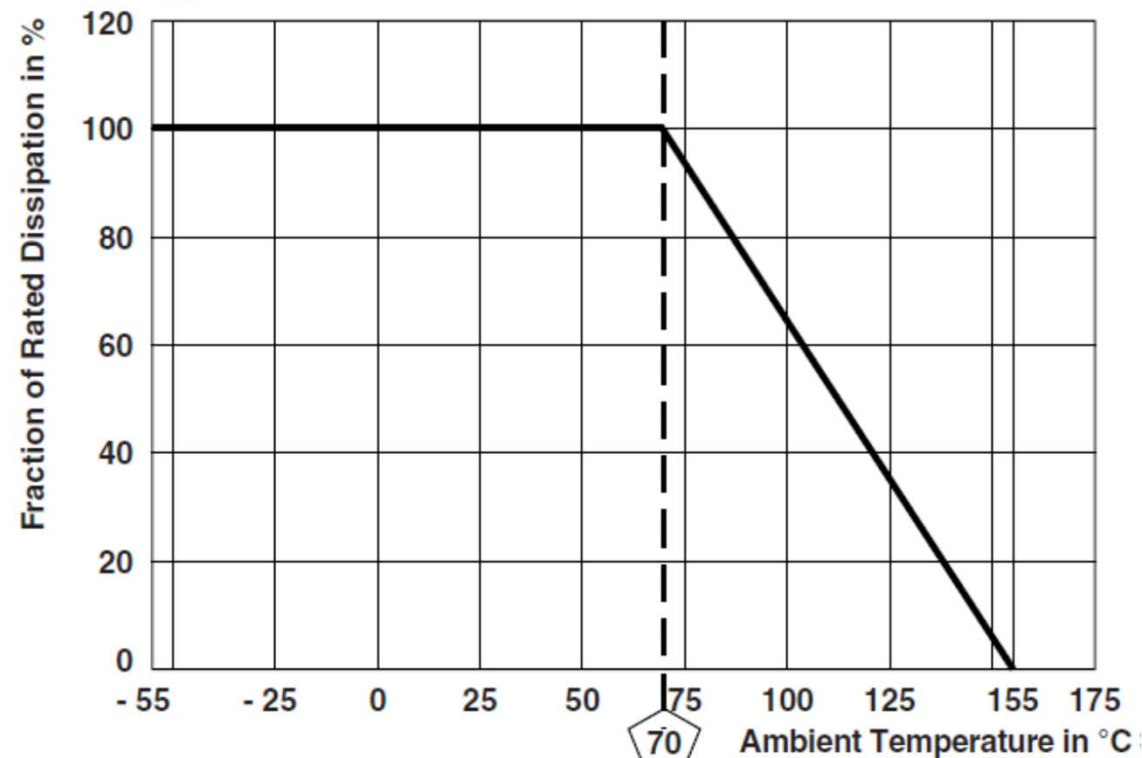
$$P = U \times I = R \times I^2 = \frac{U^2}{R} \quad [\text{W}]$$

Výkon se mění převážně na teplo

=> maximální povolený ztrátový výkon závisí na okolní teplotě



Derating



C1.2 Rezistor

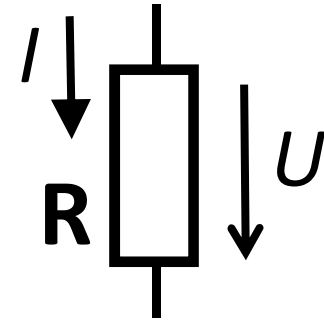
Parametry rezistorů:

Teplovní součinitel odporu

$$TK_R = \frac{\Delta R}{R \cdot \Delta \nu} \quad [K^{-1}] ,$$

kde

- ΔR je absolutní změna odporu (Ω),
 R hodnota odporu při počáteční teplotě (Ω),
 $\Delta \nu$ změna teploty rezistoru (K)

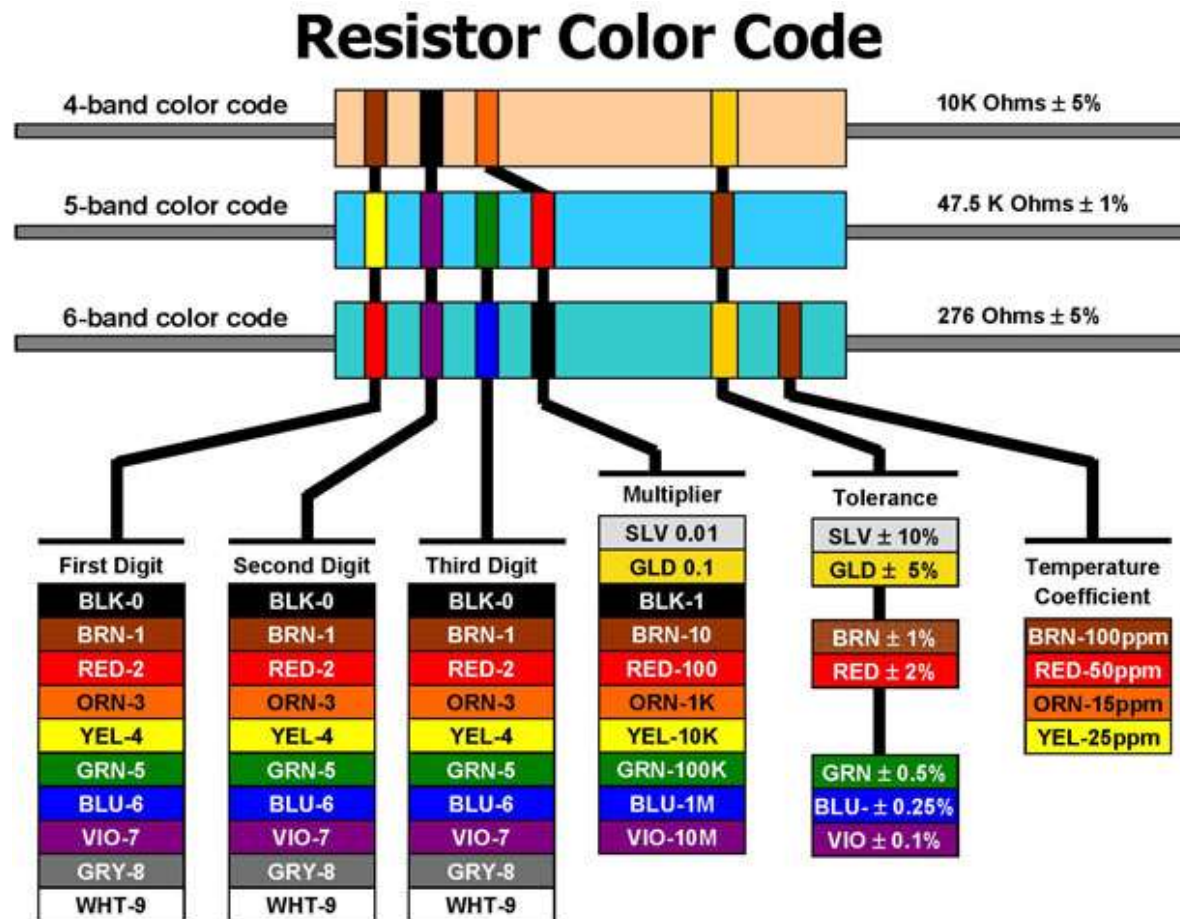


Další parametry rezistorů:

- napěťový součinitel odporu udávající závislost odporu na přiloženém napětí,
- závislost odporu na okolní vlhkosti a době používání,
- velikost nežádoucího šumu generovaného rezistorem v důsledku nenulové okolní teploty,
- velikost parazitní indukčnosti atd...

C1.2 Rezistor

Značení rezistorů:



223
223
 $= 22 \times 10^3$
 $= 22,000 \text{ Ohm}$
 $= 22K \text{ Ohm}$
Three-Digit Resistor

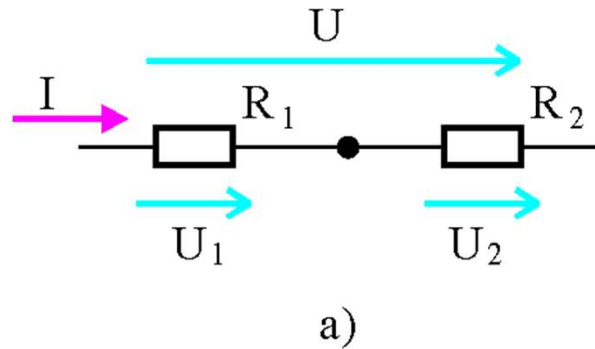
4R7
4R7
 $= 4.7 \text{ Ohm}$
Resistor With Radix Point

8202
8202
 $= 820 \times 10^2 \text{ Ohm}$
 $= 82,000 \text{ Ohm}$
 $= 82 K\text{Ohm}$
Four-Digit Resistor

0R22
0R22
 $= 0.22 \text{ Ohm}$
Resistor With Radix Point

C1.2 Rezistor

Sériové a paralelní řazení rezistorů:

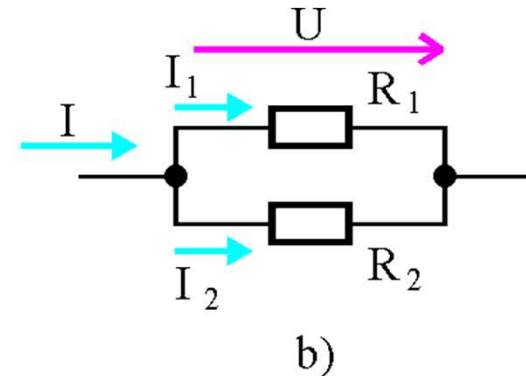


$$U = U_1 + U_2$$

$$U = I \cdot R_1 + I \cdot R_2$$

$$U = I \cdot (R_1 + R_2) = I \cdot R$$

$$R = R_1 + R_2$$



$$I = I_1 + I_2$$

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$$

$$I = U \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = U \cdot \frac{1}{R}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

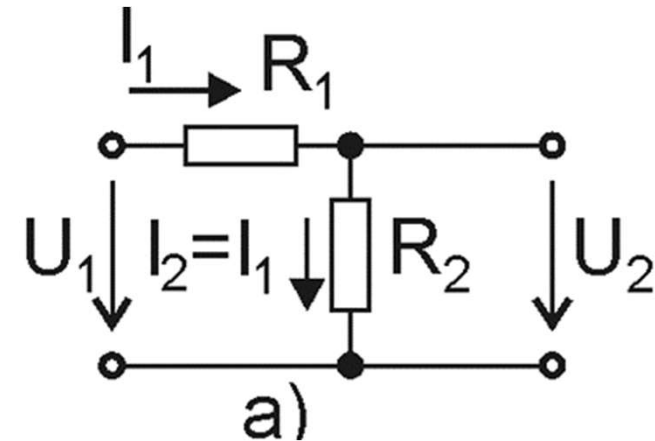
C1.2 Rezistor

Odporový dělič napětí:

a) Nezatížený odporový dělič napětí

Přenos:

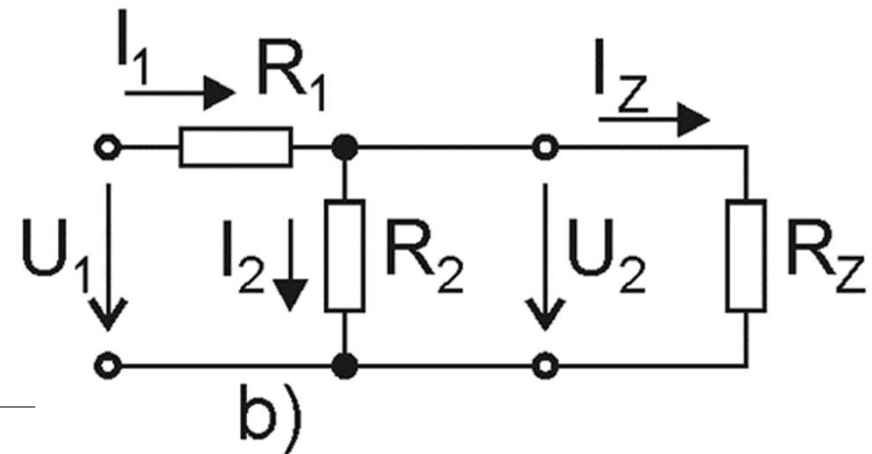
$$P = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2}}$$



b) Zatížený odporový dělič napětí

Přenos:

$$P = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2 \parallel R_Z}{R_1 + R_2 \parallel R_Z} = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R_Z}}$$



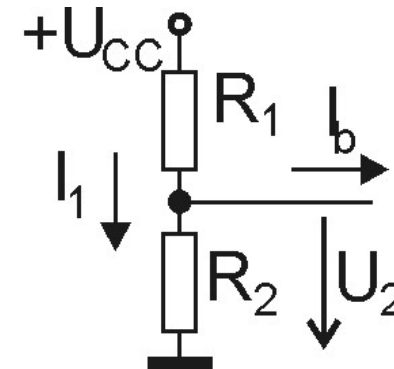
C1.2 Rezistor

Příklad CP1.2:

Nezatížený odporový dělič napětí:

Navrhněte hodnoty odporů děliče, zatíženého proudem $I_b = 50\mu\text{A}$.

$U_{CC} = 15\text{V}$, $U_2 = 3\text{V}$.



Řešení:

Zvolíme $I_1 \gg I_b$, např.: $I_1 = 1\text{mA}$ (= nezatížený dělič)

$$R_1 + R_2 = \frac{U_{CC}}{I_1} = \frac{15}{1 \cdot 10^{-3}} = 15 \text{ (k}\Omega\text{)},$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I_1} = \frac{3}{1 \cdot 10^{-3}} = 3 \text{ (k}\Omega\text{)},$$

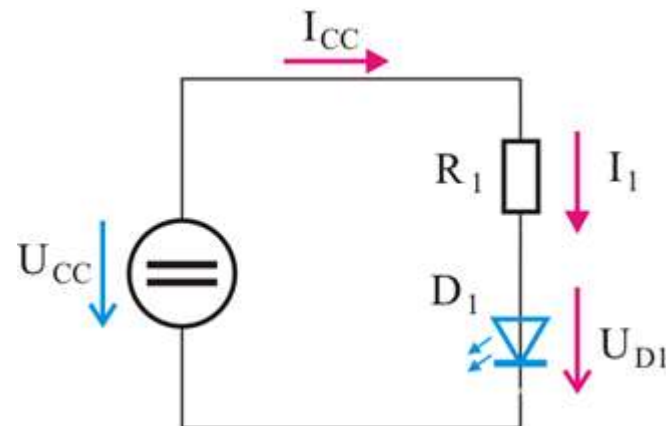
$$R_1 = 15 \cdot 10^3 - R_2 = 12 \text{ (k}\Omega\text{)}$$

C1.2 Rezistor

Příklad CP1.3:

Zvolte vhodný resistor R_1 (5%) do obvodu pro buzení výkonové modré LED. Teplotu okolí resistoru uvažujte 100 °C.

$$U_{CC}=5 \text{ V}, U_{D1}=3,6 \text{ V}, I_{CCmax}=600\text{mA}$$



Řešení:

Výpočet hodnoty odporu

$$R_1 = \frac{U_{CC} - U_{D1}}{I_{CC}} = \frac{5 - 3,6}{0,6} = 2,3 \Omega$$

Vzhledem k tomu, že zadaná hodnota proudu je maximální, budeme volit nejbližší vyšší hodnotu z řady hodnot E24, tedy 2,4Ω.

C1.2 Rezistor

Příklad CP1.3:

(pokračování) $U_{CC}=5\text{ V}$, $U_{D1}=3,6\text{ V}$, $I_{CCmax}=600\text{ mA}$

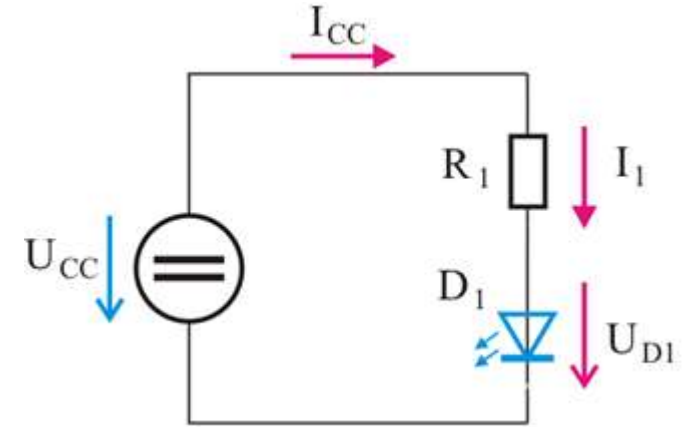
Řešení:

(pokračování)

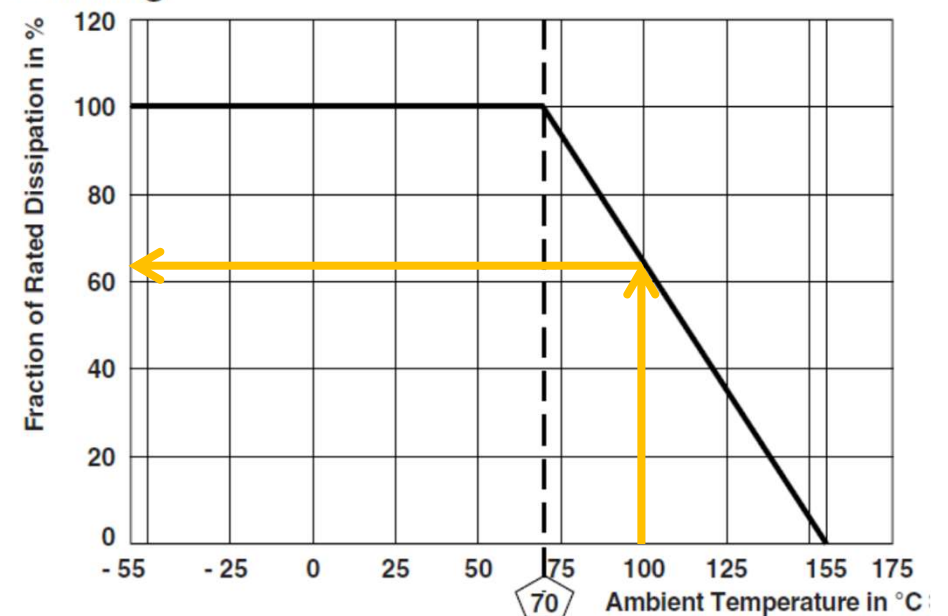
Výpočet ztrátového výkonu

$$P = \frac{(U_{CC} - U_{D1})^2}{R_1} = \frac{(5 - 3,6)^2}{2,4} = 0,82\text{ W}$$

Vzhledem k vysoké zadané okolní teplotě je přípustné zatížit resistor pouze na 60% povoleného ztrátového výkonu, musíme tedy použít součásteku, jejíž max. ztrátový výkon bude min. 1,4W.



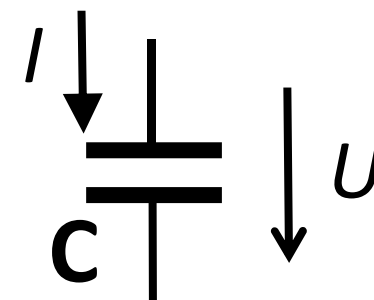
Derating



C1.3 Kondenzátor

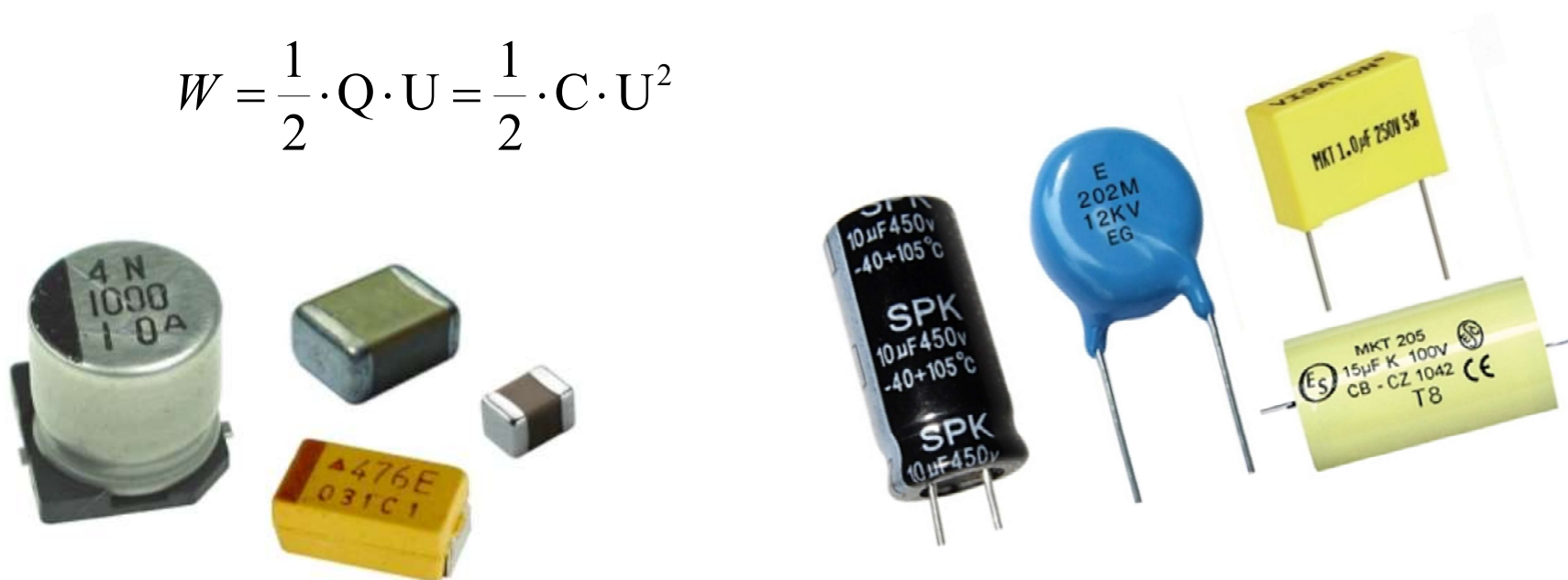
Součástka schopná akumulovat elektrický náboj Q

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad Q = C \cdot U \quad \Rightarrow \quad I = C \cdot \frac{dU}{dt}$$



Energie elektrostatického pole:

$$W = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot U = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$



C1.3 Kondenzátor

Kapacita deskového kondenzátoru:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d},$$

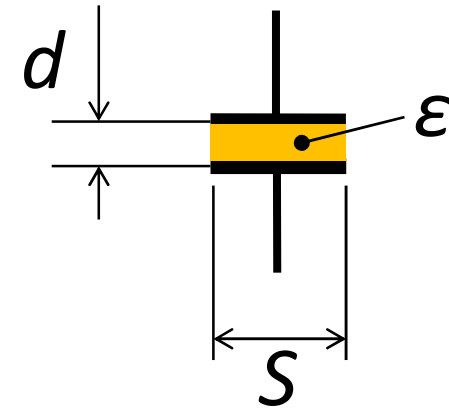
kde

ε_0 je permitivita vakua ($8,8 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$),

ε_r je relativní permitivita (materiálová konstanta),

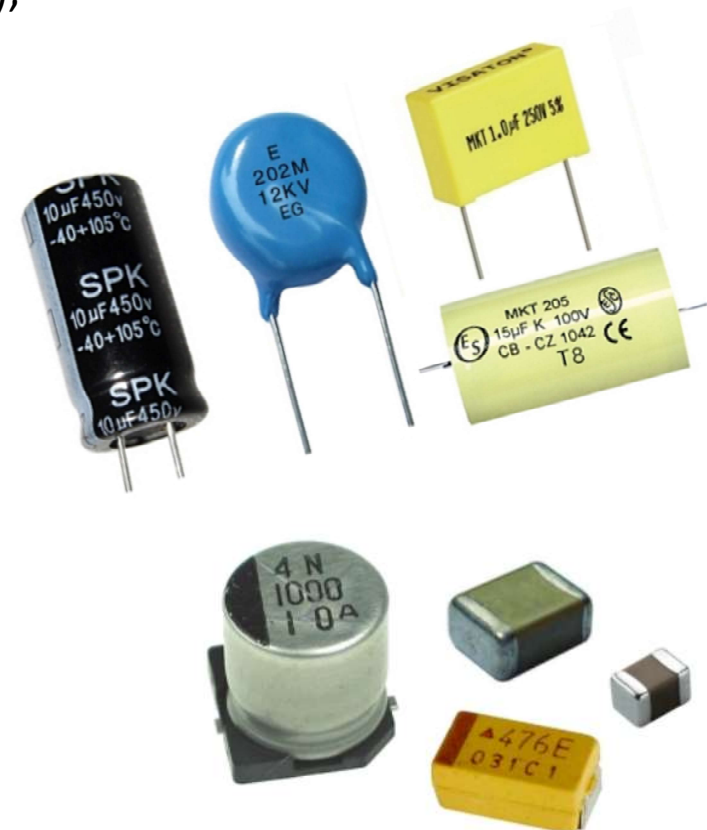
S je plocha desek a

d je jejich vzdálenost.



Parametry kondenzátorů:

- Jmenovitá hodnota kapacity
- Jmenovité napětí
- Přesnost kapacity
- Ztrátový činitel
- Teplotní součinitel kapacity
- Izolační odpor
- Rezonanční kmitočet
- Napěťová závislost kapacity...



C1.3 Kondenzátor

Konstrukční typy kondenzátorů

Svitkové s dielektrikem z umělých hmot

- Velké rozměry, přesné, dobré vf vlastnosti...

Keramické kondenzátory

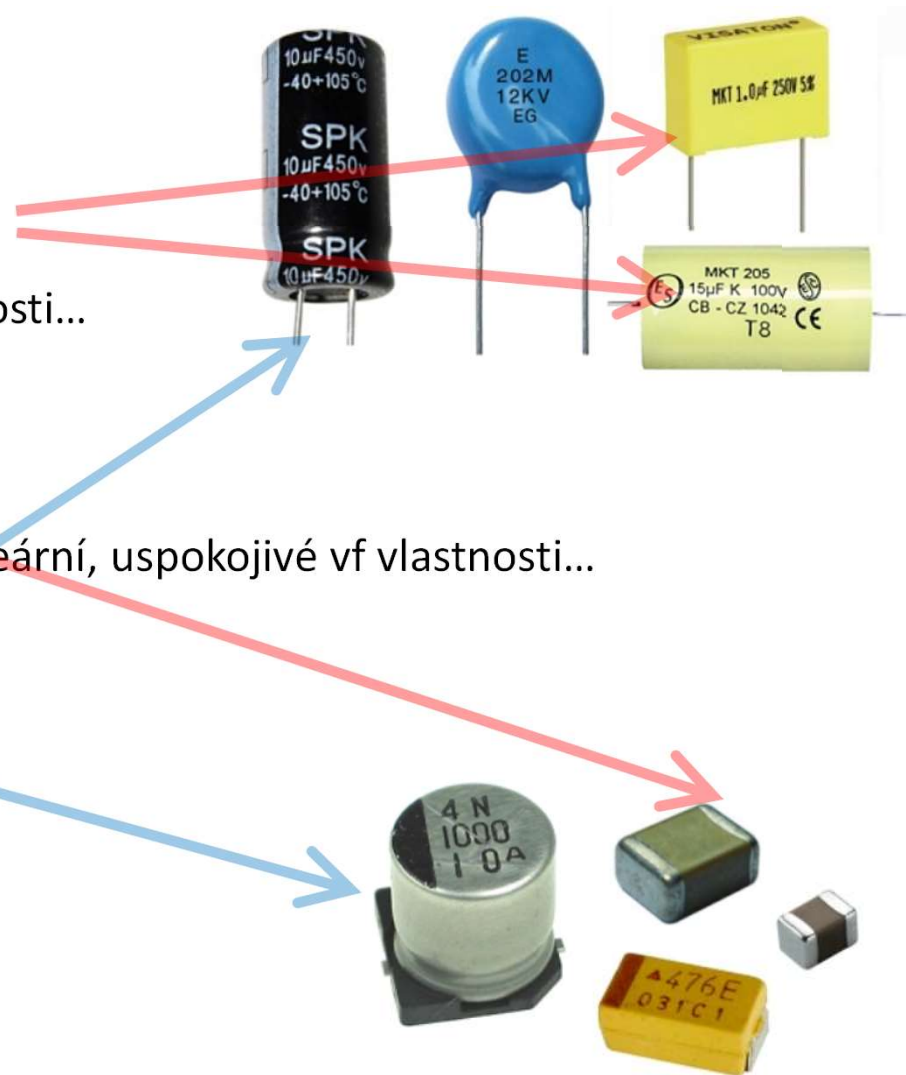
- Malé rozměry, přesné/nepřesné, nelineární, uspokojivé vf vlastnosti...

Elektrolytické kondenzátory

- Největší kapacity, nutná polarizace, špatné vf vlastnosti...

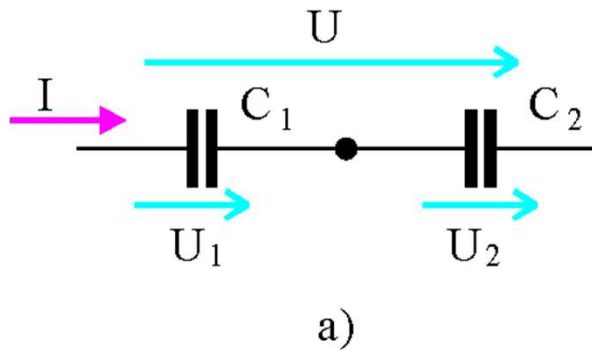
Monolitické v integrovaných obvodech

- Omezená velikost (kapacita)



C1.3 Kondenzátor

Sériové a paralelní řazení kondenzátorů

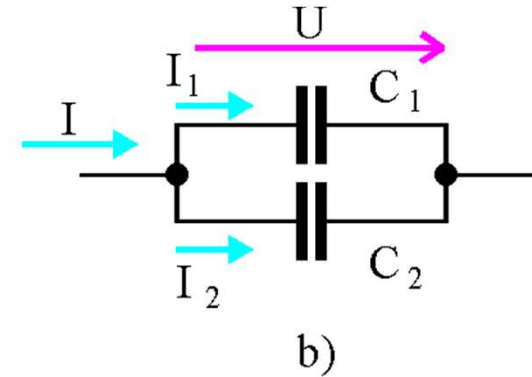


$$U = U_1 + U_2$$

$$U = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

$$U = Q \cdot \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) = Q \cdot \frac{1}{C}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$



$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q = U \cdot C_1 + U \cdot C_2$$

$$Q = U \cdot (C_1 + C_2) = U \cdot C$$

$$C = C_1 + C_2$$

C1.3 Kondenzátor

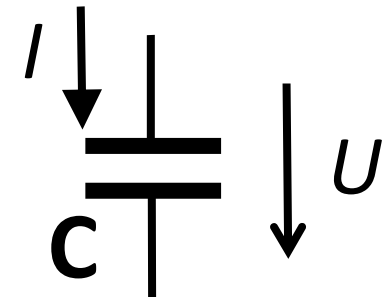
**Reaktance kondenzátoru ve střídavém obvodu
(harmonický ustálený stav – např. sinus)**

$$Q = C \cdot U$$

$$I = \frac{dQ}{dt} \Rightarrow I = C \cdot \frac{dU}{dt}$$

$$U = U_0 \cdot \sin \omega t \Rightarrow I = C \cdot \frac{dU}{dt} = C \cdot \omega \cdot U_0 \cdot \cos \omega t$$

V ideálním případě předbíhá proud napětí o 90° = *fázový posuv*



$$X_C = \frac{U}{I} = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi f \cdot C}$$

Kondenzátor \approx frekvenčně závislý „odpor“

S rostoucí frekvencí ***f*** hyperbolicky klesá jeho reaktance ***X_C***

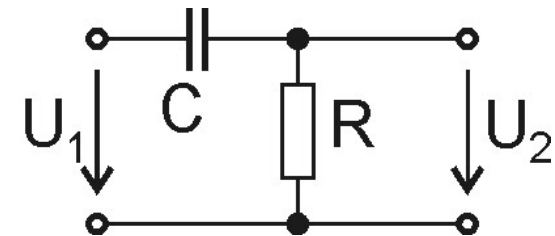
Využití jako frekvenčně závislý dělič napětí

C1.3 Kondenzátor

Příklad CP1.4:

Navrhněte hodnoty kapacity C tak, aby se obvod pro kmitočet $f = 1\text{kHz}$ choval jako frekvenčně nezávislý a přenos $U_2/U_1 \rightarrow 1$.

Hodnoty odporů: a) $R = 1\text{k}\Omega$,
 b) $R = 1\text{M}\Omega$.



Řešení:

Podmínka přenosu $U_2/U_1 \rightarrow 1$ bude splněn za předpokladu, že $X_C \ll R$
tedy například a) $X_C = 10\Omega$,
 b) $X_C = 10\text{k}\Omega$.

$$\text{a) } C = \frac{1}{2\pi f \cdot X_C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 1000 \cdot 10} = 16 \text{ } \mu\text{F}$$

Zvolíme například $22 \text{ } \mu\text{F}$.

$$\text{b) } C = \frac{1}{2\pi f \cdot X_C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 1000 \cdot 10000} = 16 \text{ nF}$$

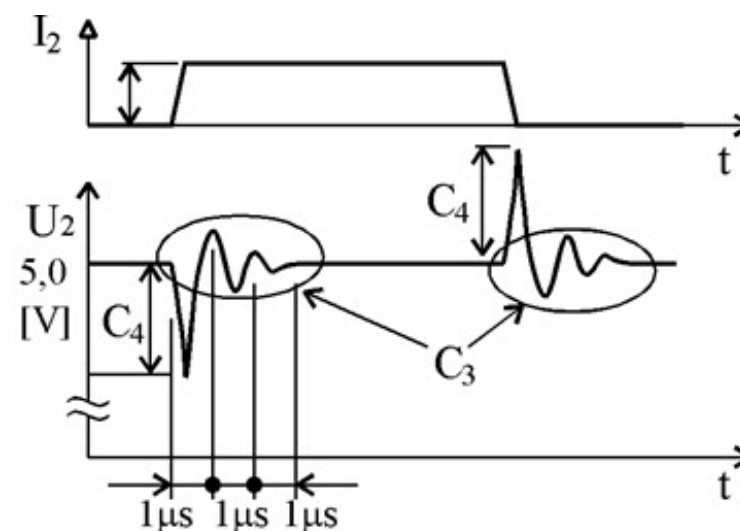
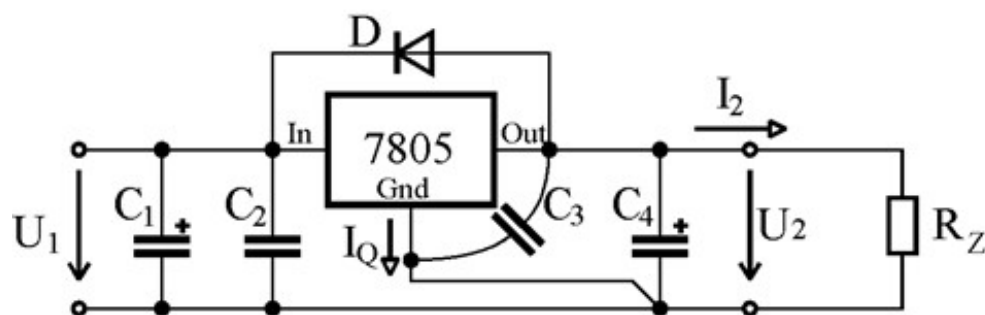
Zvolíme například 22 nF .

Uvedené výpočty využijeme při návrhu vazebních kondenzátorů zesilovačů s bipolárními tranzistory a tranzistory MOSFET a JFET.

C1.3 Kondenzátor

Příklad CP1.5:

Navrhněte výstupní kondenzátor C_4 stabilizátoru napětí typu „7805“. Kondenzátor musí být schopen dodat proud 0,1A po dobu 2 μ s při změně napětí max. 10mV. Kondenzátor bude trvale připojen na stejnosměrných 5V.



Řešení:

$$I = C \cdot \frac{dU}{dt} \Rightarrow C = \frac{I}{\frac{dU}{dt}} = \frac{0.1}{\frac{0.010}{2 \cdot 10^{-6}}} = 20 \mu F$$

C1.3 Kondenzátor

Příklad CP1.5:

(pokračování)

$$I = C \cdot \frac{dU}{dt} \Rightarrow C = \frac{I}{\frac{dU}{dt}} = \frac{0.1}{\frac{0.010}{2 \cdot 10^{-6}}} = 20 \mu F$$

Řešení:

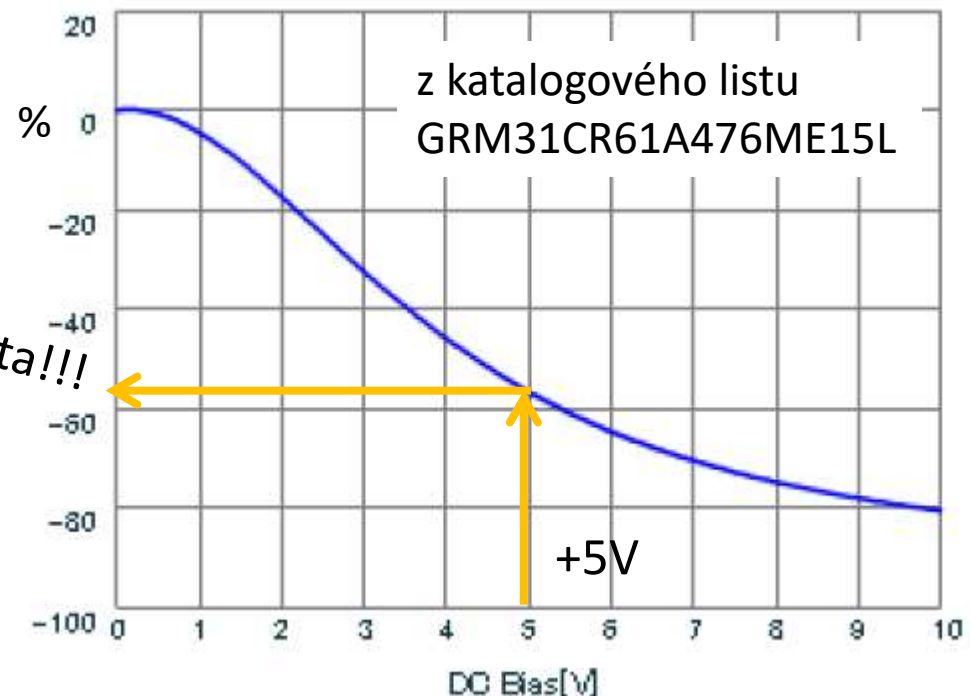
(pokračování)

Volba součástky: Keramický kondenzátor SMD 1206 řady GRM

Závislost kapacity na přiloženém napětí:

O 55% menší kapacita!!!

Zvolíme 47uF/10V
GRM31CR61A476ME15L
(efektivní kapacita **21uF**)



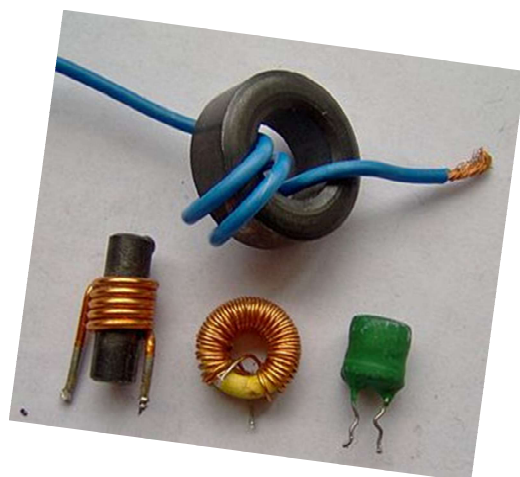
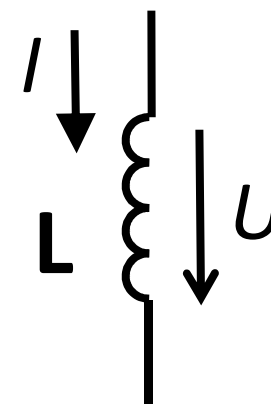
C1.4 Cívka

Součástka, která vytváří magnetické pole elektrického proudu

$$U = L \cdot \frac{dI}{dt}$$

Energie magnetického pole:

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$



C1.4 Cívka

Parametry cívek, aplikace

Parametry:

- Jmenovitá hodnota indukčnosti
- Jmenovitý proud
- Saturační proud
- Stejnoseměrný odpor
- Činitel jakosti
- Elektrická pevnost
- Rozsah pracovních teplot
- Rezonanční kmitočet...

Aplikace:

- Tlumivka - EMC filtr
- Výkonová tlumivka - spínané zdroje
- Transformátor
- Elektromotor, reproduktor...

C1.4 Cívka

Příklad CP1.6:

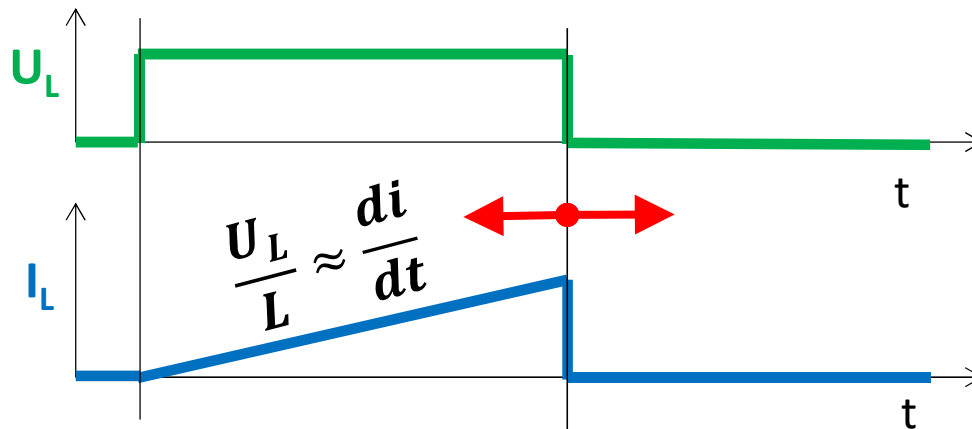
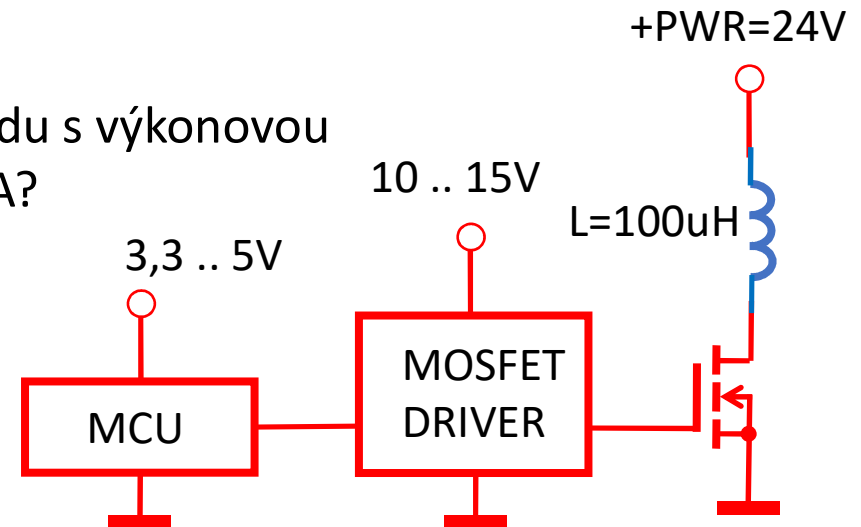
Jak dlouho může být sepnutý tranzistor v obvodu s výkonovou cívkou tak, aby nedošlo k překročení proudu 2A?

Parazitní odpor cívky a tranzistoru zanedbejte, jako počáteční podmínku uvažujte nulový proud cívkou.

Řešení:

Sepnutím tranzistoru se přiloží napětí na cívku.

Směrnice proudu je závislá na přiloženém napětí a velikosti indukčnosti.



$$U = L \cdot \frac{dI}{dt} \Rightarrow$$

$$t \approx \frac{L \cdot I}{U} = \frac{100 \cdot 10^{-6} \cdot 2}{24} = 8.3 \mu s$$

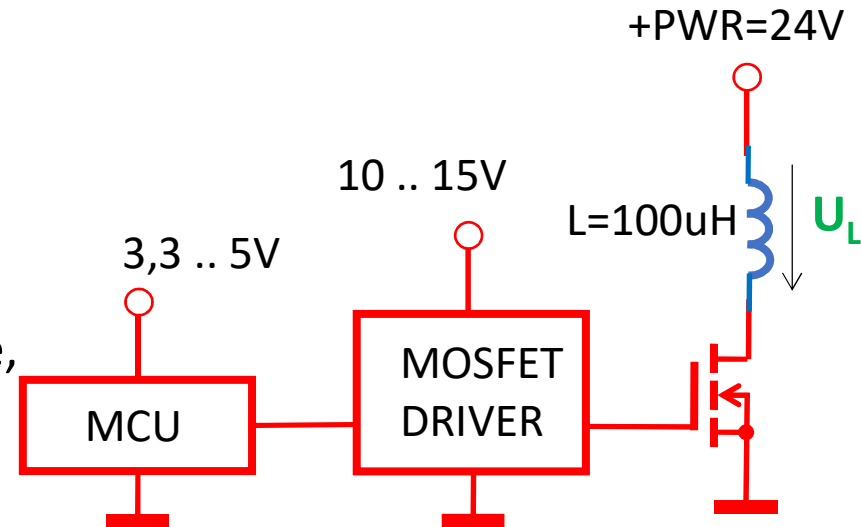
Tranzistor může být sepnutý maximálně 8us.

C1.4 Cívka

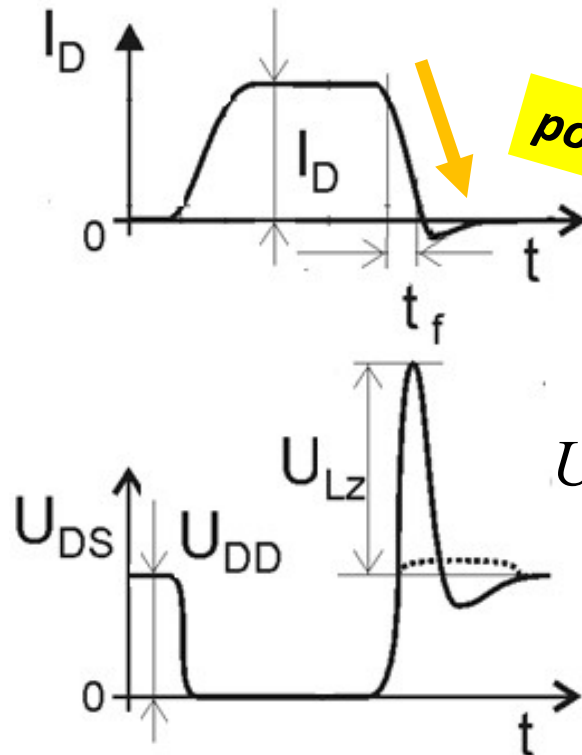
Příklad CP1.7:

Vypočtěte velikost indukovaného napětí U_L při vypnutí tranzistoru v obvodu, kterým protékal proud 2A.

Parazitní odpor cívky a tranzistoru zanedbejte, vypínací dobu tranzistoru uvažujte $dt=0,5\mu s$.



Řešení:



pokles proudu $\Rightarrow dI = -2A$

$$U_L = L \cdot \frac{dI}{dt} = 100 \cdot 10^{-6} \frac{-2}{0,5 \cdot 10^{-6}} = -400 \text{ V}$$