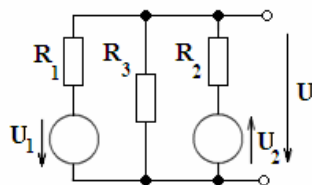


1 Elektrotechnika 1

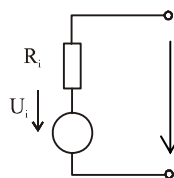
- a) Napětí stejnosměrného zdroje naprázdno je $U_0 = 15 \text{ V}$. Při proudu 10 A je svorkové napětí 11 V . Vytvořte napěťový a proudový model tohoto reálného zdroje.
- b) Pomocí přepočtu napěťových zdrojů na proudové určete výstupní napětí U .



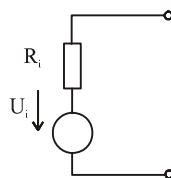
$$\begin{aligned} R_1 &= 10 \Omega & U_1 &= 50 \text{ V} \\ R_2 &= 10 \Omega & U_2 &= 20 \text{ V} \\ R_3 &= 20 \Omega \end{aligned}$$

Řešení

a)

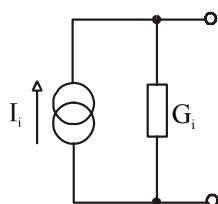


$$\begin{aligned} U &= U_i - R_i I \\ 11 &= 15 - R_i \cdot 10 \Rightarrow R_i = 0,4 \Omega \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} R_i &= 0,4 \Omega \\ U_i &= U_0 = 15 \text{ V} \end{aligned}$$

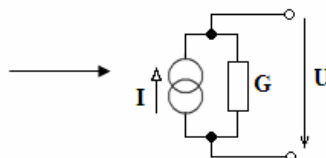
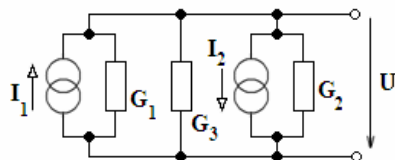
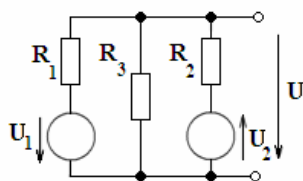
2 body



$$\begin{aligned} G_i &= \frac{1}{R_i} = 2,5 \text{ S} \\ I_i &= \frac{U_i}{R_i} = 37,5 \text{ A} \end{aligned}$$

2 body

b)



$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = 5 \text{ (A)} \quad I_2 = \frac{U_2}{R_2} = 2 \text{ (A)}$$

$$G_1 = G_2 = 1/R_1 = 0,1 \text{ (S)}$$

$$G_3 = 1/R_3 = 0,05 \text{ (S)}$$

3 body

$$I = I_1 - I_2 = 5 - 2 = 3 \text{ (A)}$$

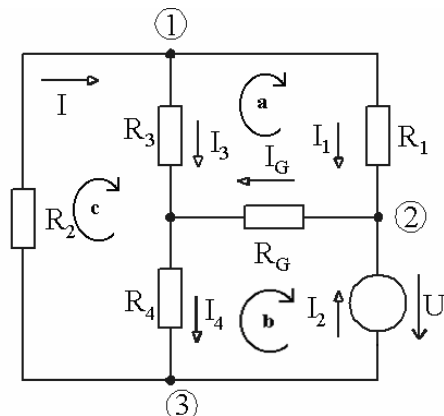
$$G = G_1 + G_2 + G_3 = 0,25 \text{ (S)}$$

$$U = \frac{I}{G} = \frac{3}{0,25} = 12 \text{ (V)}$$

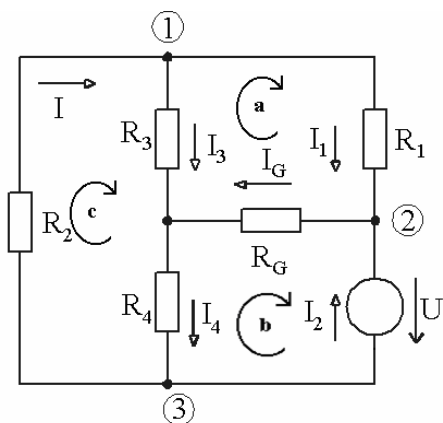
3 body

2 Elektrotechnika 1

Určete počet nezávislých rovnic pro uzly a smyčky a uvedený obvod popište soustavou Kirchhoffových rovnic. Soustavu uveďte i v maticovém tvaru $\mathbf{R} \cdot \mathbf{I} = \mathbf{U}$.



Řešení



$$N = n - 1 = 4 - 1 = 3$$

1 bod

$$S = v - n + 1 = 6 - 4 + 1 = 3$$

1 bod

1. UZEL: $-I + I_1 + I_3 = 0$

SMYČKA a: $R_1 I_1 + R_G I_G - R_3 I_3 = 0$

2. UZEL: $-I_1 - I_2 + I_G = 0$

SMYČKA b: $-R_4 I_4 - R_G I_G + U = 0$

3. UZEL: $I_2 - I_4 + I = 0$

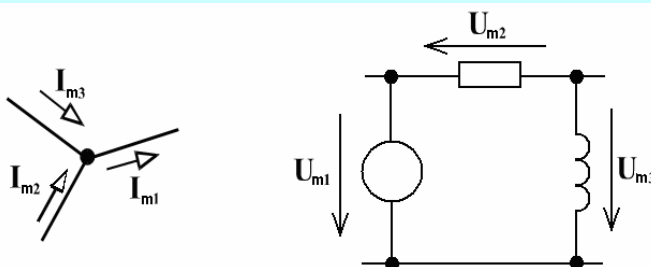
SMYČKA c: $R_3 I_3 + R_4 I_4 + R_2 I = 0$

Za každou správně zapsanou rovnicí 1 bod

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ R_1 & 0 & -R_3 & 0 & R_G & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -R_4 & -R_G & 0 \\ 0 & 0 & R_3 & R_4 & 0 & R_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_G \\ I \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -U \\ 0 \end{pmatrix}$$

2 body

3 Elektrotechnika 2



- a) Fázory proudů z obrázku jsou: $\mathbf{I}_{m3} = 2+3j$ (A), $\mathbf{I}_{m1} = 5+7j$ (A). Vypočítejte velikost fázoru proudu \mathbf{I}_{m2} , amplitudu proudu I_{m2} a vyjádřete vztah pro okamžitou hodnotu proudu $i_2(t)$.
- b) Fázory napětí z obrázku jsou: $\mathbf{U}_{m1} = 30+30j$ (V), $\mathbf{U}_{m2} = 10-60j$ (V). Vypočítejte velikost fázoru napětí \mathbf{U}_{m3} , amplitudu napětí U_{m3} a vyjádřete vztah pro okamžitou hodnotu napětí $u_3(t)$.

Řešení

- a) Z 1. Kirchhoffova zákona:

$$-\mathbf{I}_{m3} + \mathbf{I}_{m1} - \mathbf{I}_{m2} = 0, \text{ odtud } \mathbf{I}_{m2} = \mathbf{I}_{m1} - \mathbf{I}_{m3} \quad \mathbf{2 \text{ body}}$$

$$\mathbf{I}_{m2} = 5 + 7j - (2 + 3j) = 3 + 4j \text{ (A)} \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

$$\text{amplituda } I_{m2} = |\mathbf{I}_{m2}| = \sqrt{3^2 + 4^2} = \sqrt{25} = 5 \text{ (A)} \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

$$\text{okamžitá hodnota } i_2(t) = I_{m2} \sin(\omega t + \psi) = 5 \cdot \sin(\omega t + \arctg(4/3)) \text{ (A)} \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

- b) Z 2. Kirchhoffova zákona:

$$\mathbf{U}_{m2} + \mathbf{U}_{m1} - \mathbf{U}_{m3} = 0, \text{ odtud } \mathbf{U}_{m3} = \mathbf{U}_{m1} + \mathbf{U}_{m2} \quad \mathbf{2 \text{ body}}$$

$$\mathbf{U}_{m3} = 30 + 30j + 10 - 60j = 40 - 30j \text{ (V)} \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

$$\text{amplituda } U_{m3} = |\mathbf{U}_{m3}| = \sqrt{40^2 + 30^2} = \sqrt{2500} = 50 \text{ (V)} \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

$$\text{okamžitá hodnota } u_3(t) = U_{m3} \sin(\omega t + \psi) = 50 \cdot \sin(\omega t + \arctg(-3/4)) \text{ (V)} \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

4 Elektrotechnika 2

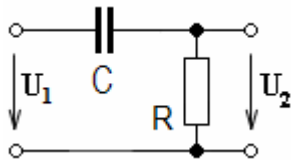
Derivační článek CR má tyto hodnoty prvků: $R = 1000 \Omega$, $C = 10 \mu\text{F}$.

- Nakreslete zapojení derivačního CR článku a odvoďte jeho napěťový přenos naprázdno $\mathbf{K}_U(j\omega)$.
- Vypočtete napěťový přenos naprázdno $\mathbf{K}_U(j\omega)$ (ve složkovém tvaru), je-li úhlový kmitočet vstupního signálu $\omega = 100 \text{ rad/s}$.
- Nakreslete hodograf derivačního CR článku, vyznačte v něm pracovní bod pro zadaný úhlový kmitočet ω .
- Vypočtete mezní úhlový kmitočet ω_m a časovou konstantu τ uvedeného článku.
- Nakreslete zapojení derivačního RL článku a odvoďte jeho napěťový přenos naprázdno $\mathbf{K}_U(j\omega)$.

Řešení

- a) Zapojení setrvačného RC článku a jeho napěťový přenos naprázdno $\mathbf{K}_U(j\omega)$.

2 body



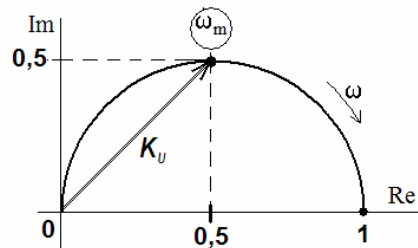
$$\mathbf{K}_U(j\omega) = \frac{U_2(j\omega)}{U_1(j\omega)} = \frac{\mathbf{Z}_2}{\mathbf{Z}_1 + \mathbf{Z}_2} = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} = \frac{j\omega\tau}{1 + j\omega\tau}$$

- b)

$$\mathbf{K}_U(j\omega) = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} = \frac{j10^2 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{1 + j10^2 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = \frac{j}{1 + j} = \frac{j(1 - j)}{(1 + j)(1 - j)} = \frac{1 + j}{2} = 0,5 + j0,5$$

3 body

- c)

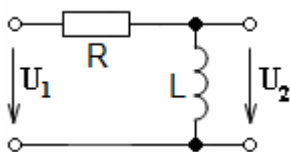


2 body

- d) $\omega_m = \frac{1}{RC} = \frac{1}{10^3 \cdot 10^{-5}} = 100 \text{ rad/s}$, $\tau = RC = 10^3 \cdot 10^{-5} = 10^{-2} = 10 \text{ ms}$

1 bod

- e)

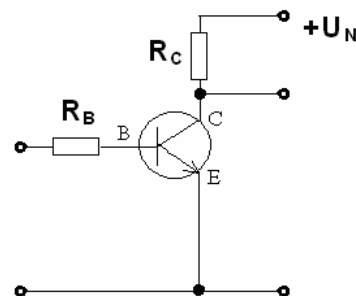


$$\mathbf{K}_U(j\omega) = \frac{U_2(j\omega)}{U_1(j\omega)} = \frac{\mathbf{Z}_2}{\mathbf{Z}_1 + \mathbf{Z}_2} = \frac{j\omega L}{R + j\omega L} = \frac{j\omega \frac{L}{R}}{1 + j\omega \frac{L}{R}} = \frac{j\omega\tau}{1 + j\omega\tau}$$

2 body

5 Elektronické součástky

- a) Jaká je funkce zapojení podle schématu?
Vysvětlete funkci odporů R_C a R_B .
Jak volíme proudy a napětí v obvodu pro jeho správnou činnost?
- b) Načrtněte výstupní charakteristiky tranzistoru FET pro obě polarity napětí U_{DS} (v 1. a 3. kvadrantu) a označte příslušné režimy tranzistoru.
- c) Stručně (!) vysvětlete pojem "bariérová kapacita diody". Jak se bariérová kapacita diody projevuje u reálných součástek?



Řešení

- a) Zapojení je spínač s bipolárním tranzistorem.

1 bod

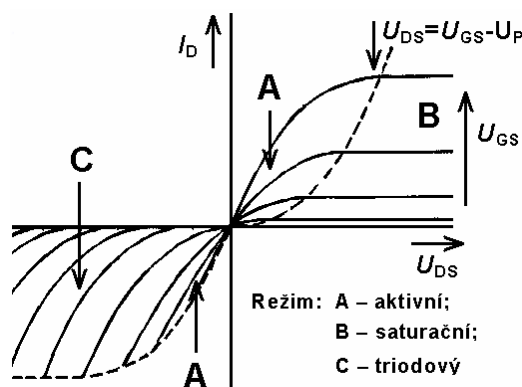
R_C je zátěž spínače, R_B slouží k nastavení optimální velikosti proudu báze pro spolehlivé sepnutí tranzistoru.

1 bod

Spínač má dva stavy. Ve stavu **sepnuto** je tranzistor v saturaci, napětí na zátěži R_C se téměř rovná napájecímu napětí a proud odebíraný kolektorem tranzistoru přes zátěž z napájecího zdroje je určen velikostí napájecího napětí a velikostí odporu zátěže. Proud báze musíme proto volit tak, aby proud kolektoru byl nastaven s dostatečnou rezervou. Ve stavu **rozepnuto** je tranzistor uzavřen (závěrný režim). Napětí na zátěži je velmi malé a zátěž protéká jen zbytkový proud tranzistoru. Zde je třeba zajistit, aby závěrné napětí tranzistoru bylo větší než je maximální možné napájecí napětí.

2 body

- b)



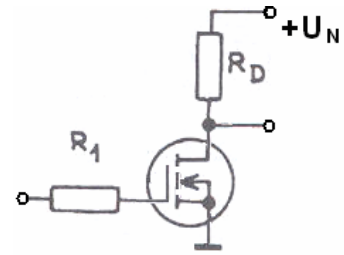
4 body

- c) Je to geometrická kapacita přechodu (oblasti prostorového náboje). Projevuje se především v závěrném směru. Představuje parazitní prvek u spínacích a usměrňovacích diod. Závislosti bariérové kapacity na napětí se využívá u kapacitních diod – varikapů a varaktorů.

2 body

6 Elektronické součástky

- a) Jaká je funkce zapojení podle schématu?
Vysvětlete funkci odporů R_D a R_1 .
Jak volíme proudy a napětí v obvodu pro jeho správnou činnost?
- b) Načrtněte do jednoho grafu charakteristiky diod: Usměrňovací křemíková dioda; Schottkyho dioda; Dioda LED pro viditelné záření; Germaniová dioda.
- c) Stručně (!) vysvětlete pojem "difúzní kapacita diody". Jak se difúzní kapacita projevuje u reálných součástek?



Řešení

- a) Zapojení je spínač s tranzistorem MOOSFET (IGFET) s indukovaným kanálem. **1 bod**

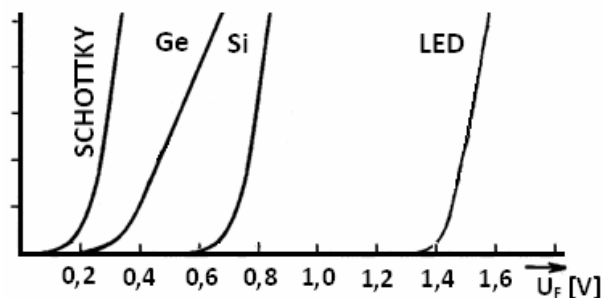
R_D je zátěž spínače, R_1 slouží k omezení proudu odebíraného ze zdroje řídicího signálu.

1 bod

Spínač má dva stavy. Ve stavu **sepnuto** je tranzistor v aktivním režimu, napětí na zátěži R_D se téměř rovná napájecímu napětí a proud odebíraný kolektorem tranzistoru přes zátěž z napájecího zdroje je určen velikostí napájecího napětí a velikostí odporu zátěže. Napětí U_{GS} musí být u standardních MOSFET větší než 10 V. Ve stavu **rozepnuto** je tranzistor uzavřený, obvodem zátěže neprotéká žádný proud, a napětí na zátěži je nulové. Závěrné napětí tranzistoru musí být větší než je maximální možné napájecí napětí.

2 body

- b)



4 body

- c) Projevuje se především v propustném směru. Difúzí majoritních nosičů přes přechod dochází k porušení tepelné rovnováhy. Tepelná rovnováha se obnovuje rekombinací, která však probíhá s určitou časovou konstantou. Nosiče proto nerekombinují okamžitě a dochází k jejich akumulaci. Množství takto akumulovaných nosičů závisí na proudu diodou, tedy i na napětí na přechodu. Akumulace náboje v závislosti na napětí je vlastností kapacity. Difúzní kapacita způsobuje setrvačnost, která se projevuje u rychlých spínačů a usměrňovačů. Difúzní kapacitu lze výrazně zmenšit zrychlením rekombinace pomocí speciálních příměsí – rekombinačních center.

2 body

7 Signály, soustavy, systémy

Diferenční rovnice diskrétního systému je $y(k) - ay(k-1) = u(k)$, $k = 0, 1, 2, \dots$ s počáteční podmínkou $y(-1) = 0$.

- Určete operátorový přenos systému.
- Pro jaké hodnoty parametru a je systém stabilní.
- Vypočtete impulsovou charakteristiku.
- Načrtněte impulsovou charakteristiku pro prvních 5 hodnot v případě, že platí $a \in (0, 1)$. Ocejchujte osy.

Řešení

a) $y(k) - ay(k-1) = u(k) \quad / Z$

$$Y(z) - az^{-1}Y(z) = U(z)$$

2 body

$$F(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{1}{1 - az^{-1}} = \frac{z}{z - a}$$

- b) Systém má jeden pól $z_1 = a$, který musí ležet uvnitř jednotkové kružnice, aby byl systém stabilní tj. $|a| < 1$.

2 body

- c) Operátorový přenos lze vyjádřit jako součet geometrické řady

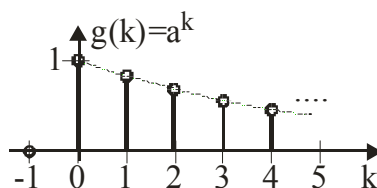
$$F(z) = \frac{1}{1 - az^{-1}} = \sum_{k=0}^{\infty} (az^{-1})^k = \sum_{k=0}^{\infty} a^k z^{-k} = Z\{g(k)\} = Z\{a^k\}$$

což je podle definice Z obraz impulsové charakteristiky, a proto

3 body

$$g(k) = \begin{cases} a^k & k \geq 0 \\ 0 & k < 0 \end{cases}$$

- d)



3 body

8 Signály, soustavy, systémy

Určete, zda je signál $s(t)$ periodický: $s(t) = 2\pi \cos(2\pi t) + 4 \cos t$

Řešení

Perioda první složky signálu $2\pi \cos(2\pi t)$: $T_1 = 1$ **3 body**

Perioda druhé složky signálu $4 \cos t$: $T_2 = 2\pi$ **3 body**

Kritérium periodicity

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{2\pi} \Rightarrow \text{iracionální číslo} \Rightarrow \text{signál } s(t) \text{ není periodický} \quad \mathbf{4 \text{ body}}$$

(Za správnou odpověď lze považovat také výrok: signál $s(t)$ je kvaziperiodický.)

9 Měření v elektrotechnice

Do obvodu magnetoelektrického ampérmetru s usměrňovačem připojíme střídavý proud harmonického průběhu $i(t) = I_M \sin \omega t$. Určete hodnotu proudu, kterou odečtete na stupnici přístroje, jestliže amplituda měřeného proudu je $I_M = 2$ A.

Řešení

Přístroj měří střední hodnotu střídavého proudu

$$I_S = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} i(t) \cdot dt = \frac{2}{\pi} \cdot I_M = 0,636 \cdot I_M = 0,636 \cdot 2 = 1,272 \text{ A} . \quad \text{4 body}$$

Za předpokladu, že přístroj bude používán jen k měření harmonických proudů, lze údaj magnetoelektrického přístroje korigovat pomocí činitele tvaru K_T .

Činitel tvaru harmonického signálu:

$$K_T = \frac{I}{I_S} = \frac{\frac{I_M}{\sqrt{2}}}{\frac{2 \cdot I_M}{\pi}} = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} = 1,11(-) . \quad \text{2 body}$$

Výchylka přístroje potom bude

$$\alpha = 1,11 \left(\frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} i(t) \cdot dt \right) = 1,11 \cdot \frac{2}{\pi} I_M = 1,11 \cdot 0,636 \cdot 2 = 1,4 \text{ A} . \quad \text{4 body}$$

10 Měření v elektrotechnice

Uveďte vztahy pro napěťové a proudové zesílení (bezrozměrné i v dB) zesilovače pro měřicí účely. Nakreslete blokové schéma zesilovače se zápornou zpětnou vazbou a odvoďte vztah pro jeho zesílení.

Řešení

Napěťové zesílení:

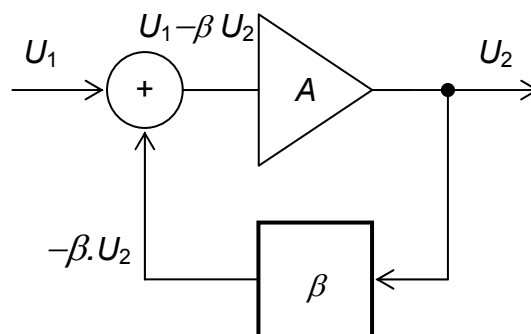
$$A_U = \frac{U_2}{U_{1P} - U_{1N}} = \frac{U_2}{U_1} (-), \quad 1 \text{ bod}$$

$$A_U = 20 \log \frac{U_2}{U_1} \text{ (dB)}. \quad 1 \text{ bod}$$

Proudové zesílení:

$$A_I = \frac{I_2}{I_1} (-), \quad 1 \text{ bod}$$

$$A_I = 20 \log \frac{I_2}{I_1} \text{ (dB)}. \quad 1 \text{ bod}$$



2 body

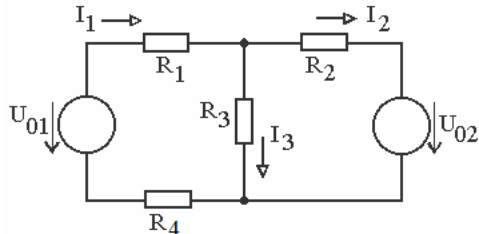
Na výstupu zesilovače se zpětnou vazbou je napětí:

$$U_2 = A \cdot (U_1 - \beta \cdot U_2) \text{ (V)}, \quad 2 \text{ body}$$

$$U_2 = \frac{A}{1 + \beta \cdot A} \cdot U_1 = A' \cdot U_1 \text{ (V)}. \quad 2 \text{ body}$$

1 Elektrotechnika 1

- a) Definujte stručně princip superpozice a uveďte, pro které obvody platí.
 b) Vypočítejte proudy větvemi uvedeného obvodu metodou superpozice.



$$U_{01} = 30 \text{ V}, \quad U_{02} = 15 \text{ V}$$

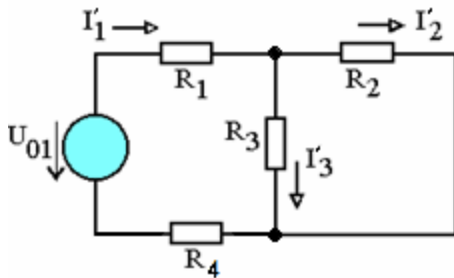
$$R_1 = R_4 = 5 \, \Omega, \quad R_2 = R_3 = 10 \, \Omega$$

Řešení

- a) Odezva na součet podnětů je rovna součtu odezev na jednotlivé podněty působící samostatně. Platí pouze pro lineární obvody. Účinky zdrojů se v lineárních obvodech lineárně sčítají.

2 body

b)

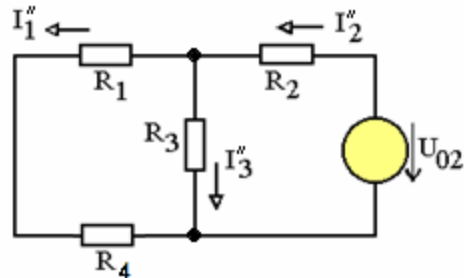


$$I'_1 = U_{01} / \left(R_1 + R_4 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} \right) = 30 / 15 = 2 \text{ A}$$

$$U'_{R3} = U_{01} - I'_1 (R_1 + R_4) = 10 \text{ V}$$

$$I'_2 = \frac{U'_{R3}}{R_2} = 1 \text{ A}, \quad I'_3 = \frac{U'_{R3}}{R_3} = 1 \text{ A}$$

3 body



$$I''_2 = U_{02} / \left(R_2 + \frac{R_3 \cdot (R_1 + R_4)}{R_1 + R_3 + R_4} \right) = 15 / 15 = 1 \text{ A}$$

$$U''_{R3} = U_{02} - I''_2 \cdot R_2 = 5 \text{ V}$$

$$I''_3 = \frac{U''_{R3}}{R_3} = 0,5 \text{ A}, \quad I''_1 = \frac{U''_{R3}}{R_1 + R_4} = 0,5 \text{ A}$$

3 body

$$I_1 = I'_1 - I''_1 = 2 - 0,5 = 1,5 \text{ A}$$

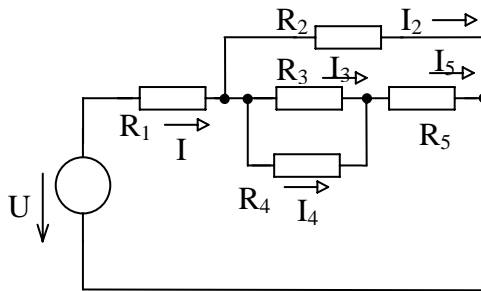
$$I_2 = I'_2 - I''_2 = 1 - 1 = 0 \text{ A}$$

$$I_3 = I'_3 + I''_3 = 1 + 0,5 = 1,5 \text{ A}$$

2 body

2 Elektrotechnika 1

Metodou postupného zjednodušování vypočtete všechny proudy větví v uvedeném obvodu.



$$\begin{aligned}R_1 &= 6 \Omega \\R_2 &= 10 \Omega \\R_3 &= 10 \Omega \\R_4 &= 15 \Omega \\R_5 &= 9 \Omega \\U &= 12 \text{ V}\end{aligned}$$

Řešení

$$R_{34} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = 6 \Omega, \quad R_{345} = R_{34} + R_5 = 15 \Omega$$

$$R_{2345} = \frac{R_2 \cdot R_{345}}{R_2 + R_{345}} = 6 \Omega, \quad R = R_1 + R_{2345} = 12 \Omega, \quad I = \frac{U}{R} = \frac{12}{12} = 1 \text{ A}$$

5 bodů

$$U_{R1} = R_1 \cdot I_1 = 6 \text{ V}, \quad U_{R2} = U - U_{R1} = 6 \text{ V},$$

$$I_2 = \frac{U_{R2}}{R_2} = 0,6 \text{ A}, \quad I_5 = I - I_2 = 0,4 \text{ A}$$

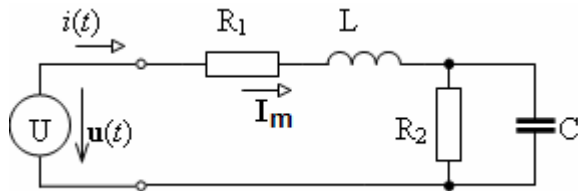
$$U_{R5} = R_5 \cdot I_5 = 3,6 \text{ V}, \quad U_{R4} = U_{R2} - U_{R5} = 2,4 \text{ V}$$

$$I_3 = \frac{U_{R4}}{R_3} = 0,24 \text{ A} \quad I_4 = \frac{U_{R4}}{R_4} = 0,16 \text{ A}$$

5 bodů

3 Elektrotechnika 2

Určete obecně i numericky celkovou impedanci obvodu \mathbf{Z} , fázor proudu \mathbf{I}_m a okamžitou hodnotu proudu $i(t)$, je-li obvod buzen harmonickým napětím $u(t) = U_m \sin(\omega t) = 200 \sin(\omega t)$.



$$\begin{aligned} R_1 &= 5 \, \Omega, \quad R_2 = 50 \, \Omega \\ \omega L &= 15 \, \Omega \\ 1/\omega C &= 50 \, \Omega \end{aligned}$$

Řešení

$$U_m = 200 + j0 \text{ (V)}$$

$$\mathbf{Z} = R_1 + j\omega L + \mathbf{Z}_{R_2C}, \quad \mathbf{Z}_{R_2C} = \frac{R_2 \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R_2 + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{R_2}{j\omega C R_2 + 1} \quad \text{2 body}$$

$$\mathbf{Z}_{R_2C} = \frac{R_2}{j\omega C R_2 + 1} = \frac{50}{1 + j} = \frac{50 \cdot (1 - j)}{(1 + j) \cdot (1 - j)} = 25 - j25 \text{ (}\Omega\text{)} \quad \text{2 body}$$

$$\mathbf{Z} = R_1 + j\omega L + \mathbf{Z}_{R_2C} = 5 + j15 + 25 - j25 = 30 - j10 \text{ (}\Omega\text{)} \quad \text{1 bod}$$

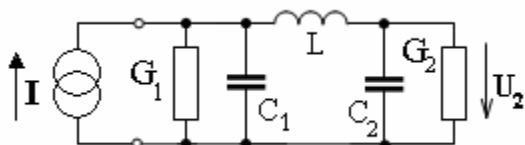
$$\mathbf{I}_m = \frac{\mathbf{U}_m}{\mathbf{Z}} = \frac{200}{30 - j10} = \frac{20}{3 - j} = \frac{20 \cdot (3 + j)}{(3 - j) \cdot (3 + j)} = \frac{20 \cdot (3 + j)}{10} = 6 + j2 \text{ (A)} \quad \text{2 body}$$

$$I_m = \sqrt{6^2 + 2^2} = \sqrt{40} = 2\sqrt{10} \text{ (A)} \quad \text{1 bod}$$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \psi_i) = 2\sqrt{10} \sin(\omega t + \arctg(1/3)) \text{ (A)} \quad \text{2 body}$$

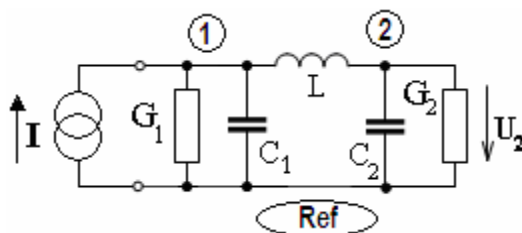
4 Elektrotechnika 2

Metodou uzlových napětí (rovnice uzlových napětí vyjádřete v maticovém tvaru) vypočítejte fázor napětí \mathbf{U}_2 , amplitudu napětí U_{m2} a vyjádřete okamžitou hodnotu napětí $u_2(t)$.



$$\begin{aligned} G_1 = G_2 &= 0,1 \text{ S} \\ \omega C_1 = \omega C_2 &= 0,1 \text{ S} \\ 1/\omega L &= 0,1 \text{ S} \\ \mathbf{I} &= 2 e^{j0} \text{ A} \end{aligned}$$

Řešení



$$\begin{bmatrix} G_1 + 1/(j\omega L) + j\omega C_1 & -1/(j\omega L) \\ -1/(j\omega L) & G_2 + 1/(j\omega L) + j\omega C_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{U}_1 \\ \mathbf{U}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} \\ 0 \end{bmatrix}$$

2 body

$$\begin{bmatrix} 0,1 & 0,1j \\ 0,1j & 0,1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{U}_1 \\ \mathbf{U}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

2 body

$$\Delta = \begin{vmatrix} 0,1 & 0,1j \\ 0,1j & 0,1 \end{vmatrix} = 0,1 \cdot 0,1 - (0,1j) \cdot (0,1j) = 0,02$$

1 bod

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 0,1 & 2 \\ 0,1j & 0 \end{vmatrix} = -0,2j$$

1 bod

$$\mathbf{U}_2 = \Delta_2 / \Delta = -0,2j / 0,02 = -10j = 10 \cdot e^{-j\pi/2} \text{ (V)}$$

1 bod

$$\text{amplituda } U_{m2} = \sqrt{2} |\mathbf{U}_2| = \sqrt{2} \cdot 10 \text{ (V)}$$

1 bod

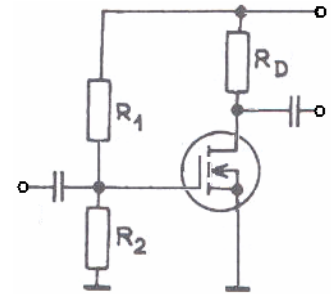
okamžitá hodnota

$$u_2(t) = U_{m2} \sin(\omega t + \psi) = \sqrt{2} \cdot 10 \cdot \sin(\omega t - \pi/2) \text{ (V)}$$

2 body

5 Elektronické součástky

- a) Jaká je funkce zapojení podle schématu?
Vysvětlete funkci odporů R_1 , R_2 a R_D .
Jak volíme proudy a napětí v obvodu pro jeho správnou činnost?
- b) Nakreslete spínací charakteristiky tyristoru pro dvě různé teploty $T_1 < T_2$.
- c) Stručně definujte lavinový průraz přechodu PN. Jaká je jeho teplotní závislost, u jakých součástek se vyskytuje?



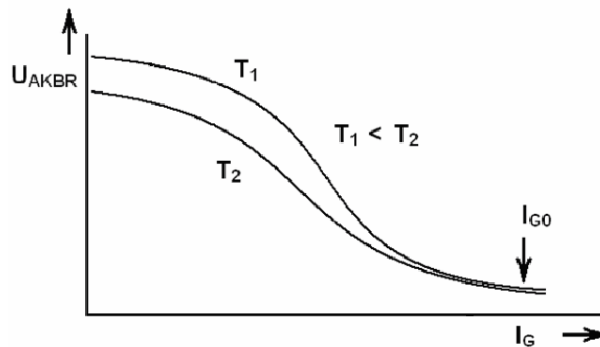
Řešení

- a) Zapojení je zesilovač s tranzistorem IGFET (MOSFET) s indukovaným kanálem typu N. **1 bod**

Odporů R_1 a R_2 tvoří dělič pro nastavení pracovního bodu, R_D je zátěž zesilovače. **2 body**

Proud tranzistorem volíme tak, aby na odporu R_D bylo napětí odpovídající přibližně polovině napájecího napětí. Napětí $U_{GS} > U_P$ nastavíme podle požadovaného proudu (odečteme z převodní charakteristiky daného tranzistoru nebo určíme výpočtem). **2 body**

- b)

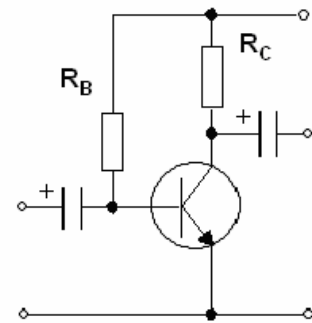


2 body

- c) Lavinový průraz nastává u širokých přechodů. Nosiče získají v elektrickém poli energii pro nárazovou ionizaci atomů krystalové mřížky a mohou generovat volné nosiče (páry elektron-díra). U širokých přechodů může dojít k několika srážkám za sebou a množství nosičů vzniklých ionizací lavinově roste.
Vliv teploty: Kmity krystalové mřížky brání pohybu nosičů. Pro získání energie k ionizaci je zapotřebí větší intenzita elektrického pole - průrazné napětí u lavinového průrazu proto s teplotou roste.
Lavinový průraz má většina polovodičových přechodů - u křemíkových součástek se vyskytuje u přechodů s průrazným napětím větším než asi 6,6 V. **3 body**

6 Elektronické součástky

- a) Jaká je funkce zapojení podle schématu?
Vysvětlete funkci odporů R_C a R_B .
Jak volíme proudy a napětí v obvodu pro jeho správnou činnost?
- b) Nakreslete výstupní charakteristiku bipolárního tranzistoru NPN. Respektujte rozsah přípustného zatížení (proud, napětí, výkon) a Earlyho jev.
- c) Jakými způsoby je možné převést tyristor z blokujícího do sepnutého stavu?



Řešení

- a) Zapojení je zesilovač s bipolárním tranzistorem NPN.

1 bod

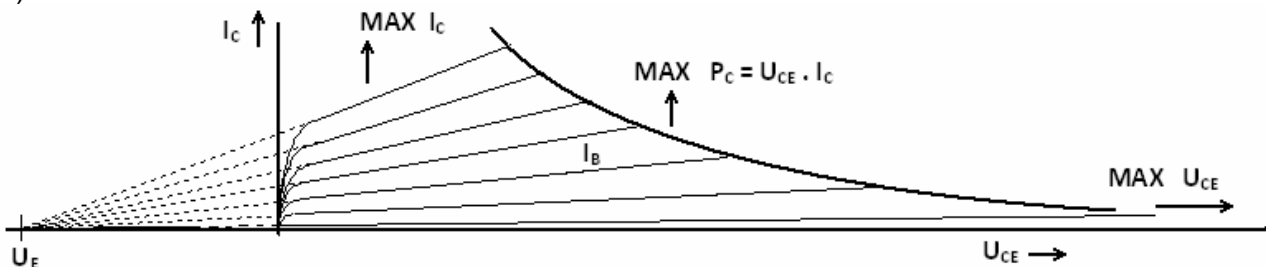
Odpor R_B slouží k nastavení pracovního bodu zesilovače. Představuje proudový zdroj, který dodává proud do báze tranzistoru. R_C je zátěž zesilovače.

1 bod

Proud I_C volíme tak, aby na odporu R_C bylo napětí odpovídající přibližně polovině napájecího napětí. Tomu odpovídá proud $I_B = I_C / \beta$, kde β je proudový zesilovací činitel v zapojení se společným emitorem.

1 bod

- b)



3 body

- c) 1. Vnucením proudu $I_G > I_{G0}$,
2. vzrůstem napětí U_{AK} nad hodnotu U_{AKBR} ,
3. vzrůstem teploty při $U_{AK} \sim U_{AKBR}$,
4. při velké strmosti vzrůstu U_{AK} .

4 body

7 Signály, soustavy, systémy

Je dán signál

$$f(t) = -3 + 4\cos(2\pi \cdot 10^2 t + 0,5\pi). \quad (1)$$

Uvedený signál lze vyjádřit Fourierovou řadou ve tvaru

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k \exp(jk\omega_1 t).$$

- Určete periodu T (tj. základní periodu) periodického signálu $f(t)$ zadaného rovnicí (1).
 - Určete koeficient c_0 tohoto signálu.
 - Určete koeficient c_1 tohoto signálu.
 - Určete koeficient c_2 tohoto signálu.
-

Řešení

- $T = 0,01$ nebo $T = 1 \cdot 10^{-2}$ **3 body**
- $c_0 = -3$ **2 body**
- $c_1 = 2\exp(j 0,5\pi)$ nebo $c_1 = 2j$ **3 body**
- $c_2 = 0$ **2 body**

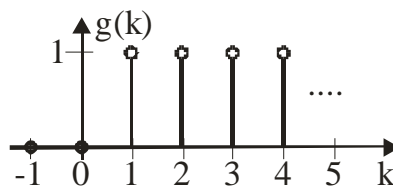
8 Signály, soustavy, systémy

Diskrétní systém je popsán svojí přechodovou charakteristikou $h(k) = k, k = 0, 1, 2, \dots$

- Určete impulsovou charakteristiku systému a načrtněte ji pro prvních 5 hodnot. Ocejchujte osy.
- Určete operátorový přenos systému.
- Napište diferenční rovnici systému.
- Rozhodněte o stabilitě systému.

Řešení

a) $g(0) = h(0) = 0, \quad g(k) = h(k) - h(k-1) = k - (k-1) = 1 \quad k = 1, 2, \dots$



3 body

b) $F(z) = Z\{g(k)\} = \sum_{k=0}^{\infty} g(k) z^{-k} = \sum_{k=1}^{\infty} 1 z^{-k} = \sum_{k=0}^{\infty} z^{-k} - 1 = \frac{1}{1-z^{-1}} - 1 = \frac{z^{-1}}{1-z^{-1}} = \frac{1}{z-1}$

3 body

c) $F(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{z^{-1}}{1-z^{-1}} \Rightarrow Y(z)(1-z^{-1}) = U(z)z^{-1} \Rightarrow y(k) - y(k-1) = u(k-1)$

2 body

- d) Systém má jeden pól $z_1 = 1$, který leží na jednotkové kružnici, a proto je systém na mezi stability.

2 body

9 Měření v elektrotechnice

Stanovte chybu v procentech při měření napětí trojúhelníkového průběhu střídavým magnetoelektrickým voltmetrem s měřicím usměrňovačem.

Řešení

Efektivní hodnota trojúhelníkového průběhu je

$$U = \frac{U_M}{\sqrt{3}} \text{ (V)}. \quad \text{2 body}$$

Střední hodnota trojúhelníkového průběhu je

$$U_s = \frac{U_M}{2} \text{ (V)}. \quad \text{2 body}$$

Magnetoelektrický přístroj s usměrňovačem v případě napětí trojúhelníkového průběhu naměří hodnotu

$$U' = 1,111 \cdot \frac{U_M}{2} \text{ (-)}. \quad \text{2 body}$$

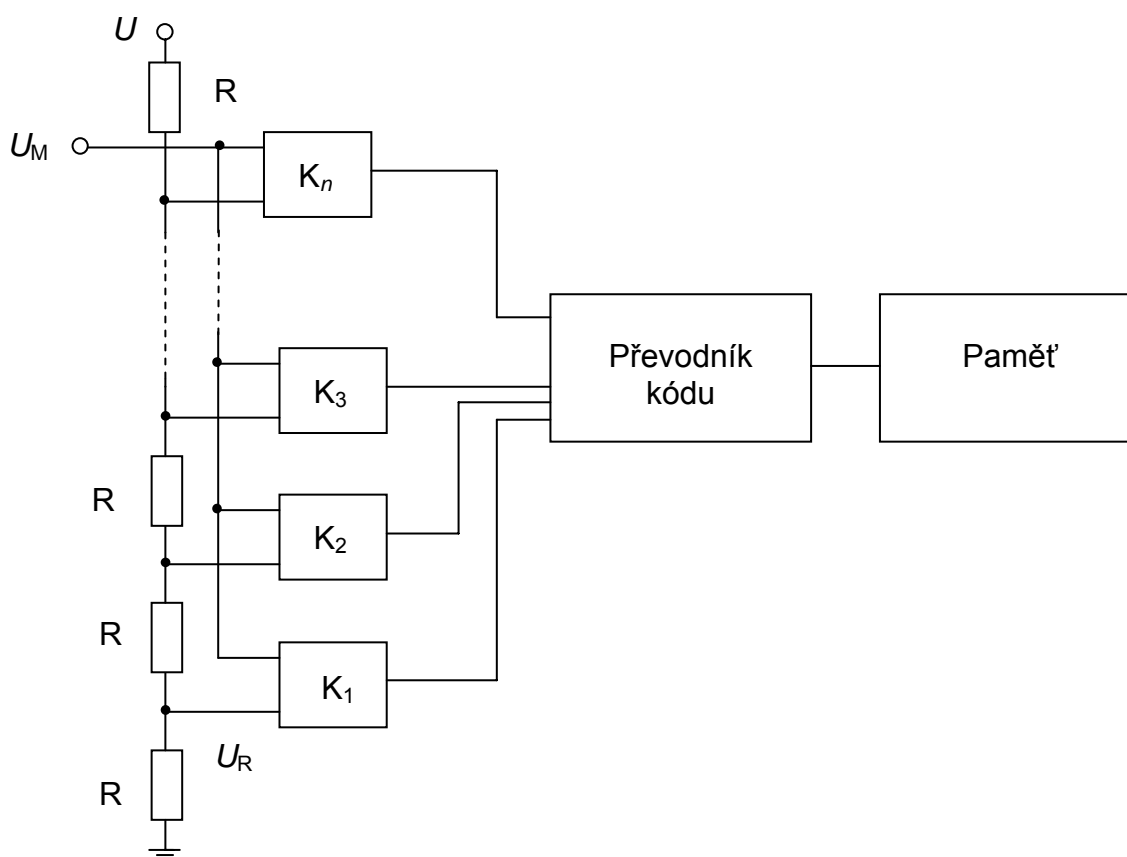
Poměrná chyba měření je tedy

$$\delta_U = \frac{U' - U}{U} \cdot 100 = \left(\frac{\frac{1,111U_M}{2} - \frac{U_M}{\sqrt{3}}}{\frac{U_M}{\sqrt{3}}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{1,111}{2} - \frac{1}{\sqrt{3}} \right) \cdot 100 \sqrt{3} = 3,8\% . \quad \text{4 body}$$

10 Měření v elektrotechnice

Nakreslete blokové schéma paralelního porovnávacího A/Č převodníku. Uveďte kolik je třeba komparátorů pro realizaci n -bitového převodníku.

Řešení



7 bodů

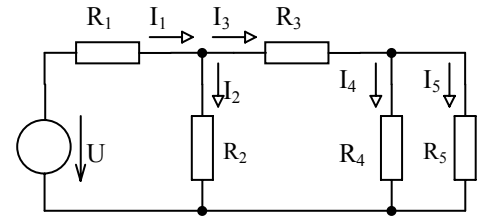
Pro realizaci n -bitového převodník je třeba $(2^n - 1)$ komparátorů.

3 body

1 Elektrotechnika 1

Metodou postupného zjednodušování vypočtete proudy všech větví uvedeného obvodu.

$R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, $R_3 = 1 \Omega$, $R_4 = 2 \Omega$, $R_5 = 2 \Omega$,
 $U = 60 \text{ V}$.



Řešení

$$R_{45} = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5} = 1 \Omega, \quad R_{345} = R_3 + R_{45} = 2 \Omega$$

$$R_{2345} = \frac{R_2 \cdot R_{345}}{R_2 + R_{345}} = 1 \Omega, \quad R = R_1 + R_{2345} = 6 \Omega$$

5 bodů

$$I_1 = \frac{U}{R} = \frac{60}{6} = 10 \text{ A}$$

$$U_{R1} = R_1 \cdot I_1 = 5 \cdot 10 = 50 \text{ V}, \quad U_{R2} = U - U_{R1} = 60 - 50 = 10 \text{ V},$$

$$I_2 = \frac{U_{R2}}{R_2} = \frac{10}{2} = 5 \text{ A}$$

$$I_3 = I_1 - I_2 = 5 \text{ A}$$

$$U_{R3} = R_3 \cdot I_3 = 5 \text{ V}, \quad U_{R4} = U_{R2} - U_{R3} = 5 \text{ V}$$

5 bodů

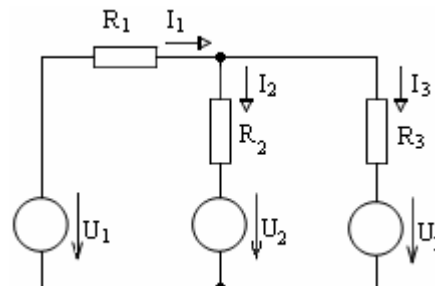
$$I_4 = \frac{U_{R4}}{R_4} = 2,5 \text{ A} \quad I_5 = \frac{U_{R4}}{R_5} = 2,5 \text{ A}$$

2 Elektrotechnika 1

a) Metodou smyčkových proudů (MSP) vypočtete proudy všech větví uvedeného obvodu.

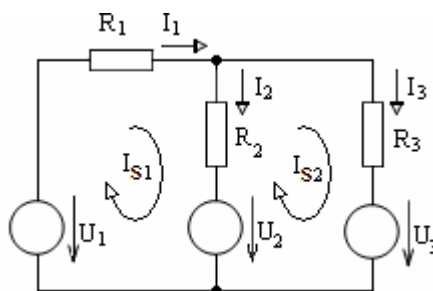
$$R_1 = 1 \Omega, \quad R_2 = 2 \Omega, \quad R_3 = 2 \Omega, \quad U_1 = 5 \text{ V}, \quad U_2 = 3 \text{ V}, \quad U_3 = 1 \text{ V}.$$

b) Uveďte obecný vztah pro výpočet počtu nezávislých smyček obvodu u metody smyčkových proudů.



Řešení

a)



$$\begin{pmatrix} R_1 + R_2 & -R_2 \\ -R_2 & R_2 + R_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{S1} \\ I_{S2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_1 - U_2 \\ U_2 - U_3 \end{pmatrix} \quad \mathbf{2 \text{ body}}$$

$$\begin{pmatrix} 3 & -2 \\ -2 & 4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{S1} \\ I_{S2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \end{pmatrix} \quad \mathbf{2 \text{ body}}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 3 & -2 \\ -2 & 4 \end{vmatrix} = 8 \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} 2 & -2 \\ 2 & 4 \end{vmatrix} = 12 \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} 3 & 2 \\ -2 & 2 \end{vmatrix} = 10$$

$$I_{S1} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{12}{8} = 1,5 \text{ A} \quad I_{S2} = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{10}{8} = 1,25 \text{ A} \quad \mathbf{2 \text{ body}}$$

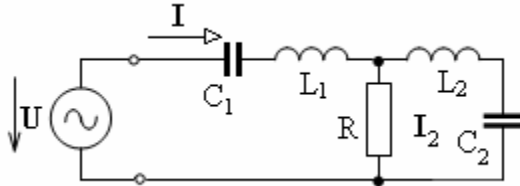
$$I_1 = I_{S1} = 1,5 \text{ A}, \quad I_2 = I_{S1} - I_{S2} = 0,25 \text{ A}, \quad I_3 = I_{S2} = 1,25 \text{ A} \quad \mathbf{3 \text{ body}}$$

(Pozn.: V případě jiné volby smyček, která **musí být při řešení vyznačena**, je třeba správné mezivýsledky s hodnotami odlišnými od vzorového řešení také adekvátně bodovat).

b) Počet nezávislých smyček: $s = v - n + 1$ (v - počet větví, n - počet uzlů obvodu). **1 bod**

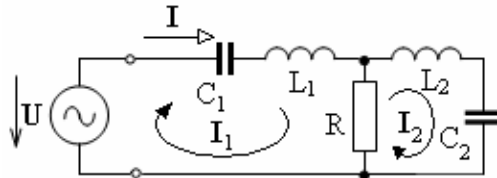
3 Elektrotechnika 2

Metodou smyčkových proudů (rovnice smyčkových proudů vyjádřete v maticovém tvaru) vypočítejte fázor proudu \mathbf{I} , amplitudu proudu I_m a vyjádřete okamžitou hodnotu proudu $i(t)$ dodávaného zdrojem do celkové zátěže.



$$\begin{aligned} R &= 10 \, \Omega \\ \omega L_1 &= 10 \, \Omega, \quad \omega L_2 = 20 \, \Omega \\ 1/\omega C_1 &= 1/\omega C_2 = 10 \, \Omega \\ U &= 20 e^{j0} \, \text{V} \end{aligned}$$

Řešení



$$\begin{bmatrix} R + j\omega L_1 + 1/(j\omega C_1) & -R \\ -R & R + j\omega L_2 + 1/(j\omega C_2) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{I}_1 \\ \mathbf{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{U} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \mathbf{2 \text{ body}}$$

$$\begin{bmatrix} 10 & -10 \\ -10 & 10 + j10 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{I}_1 \\ \mathbf{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 20 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \mathbf{2 \text{ body}}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 10 & -10 \\ -10 & 10 + j10 \end{vmatrix} = 100 + 100j - 100 = 100j \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 20 & -10 \\ 0 & 10 + j10 \end{vmatrix} = 200 + 200j \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

$$\mathbf{I} = \Delta_1 / \Delta = \frac{200 + 200j}{100j} = \frac{2 + 2j}{j} = 2 - 2j \, (\text{A}) \quad \mathbf{2 \text{ body}}$$

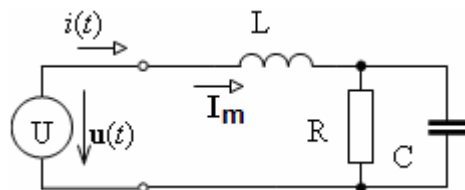
$$\text{amplituda } I_m = \sqrt{2} |2 - 2j| = \sqrt{2} \sqrt{4 + 4} = 4 \, (\text{A}) \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

okamžitá hodnota

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \psi) = 4 \cdot \sin(\omega t + \arctg(-1)) = 4 \cdot \sin(\omega t - \pi/4) \quad (\text{A}) \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

4 Elektrotechnika 2

Určete obecně i numericky celkovou impedanci obvodu \mathbf{Z} , fázor proudu \mathbf{I}_m a okamžitou hodnotu proudu $i(t)$, je-li obvod buzen harmonickým napětím $u(t) = U_m \sin(\omega t) = 100 \sin(\omega t)$.



$$\begin{aligned} R &= 50 \, \Omega \\ \omega L &= 50 \, \Omega \\ 1/\omega C &= 50 \, \Omega \end{aligned}$$

Řešení

$$U_m = 100 + j0 \text{ (V)}$$

$$\mathbf{Z} = j\omega L + \mathbf{Z}_{RC}, \quad \mathbf{Z}_{RC} = \frac{R \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{R}{j\omega CR + 1} \quad \text{2 body}$$

$$\mathbf{Z}_{RC} = \frac{R}{j\omega CR + 1} = \frac{50}{1 + j} = \frac{50 \cdot (1 - j)}{(1 + j) \cdot (1 - j)} = 25 - j25 \text{ (}\Omega\text{)} \quad \text{2 body}$$

$$\mathbf{Z} = j\omega L + \mathbf{Z}_{RC} = j50 + 25 - j25 = 25 + j25 \text{ (}\Omega\text{)} \quad \text{1 bod}$$

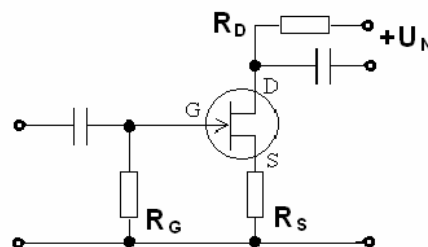
$$\mathbf{I}_m = \frac{\mathbf{U}_m}{\mathbf{Z}} = \frac{100}{25 + j25} = \frac{100}{25(1 + j)} = \frac{4 \cdot (1 - j)}{(1 + j) \cdot (1 - j)} = \frac{4 \cdot (1 - j)}{2} = 2 - j2 \text{ (A)} \quad \text{2 body}$$

$$I_m = \sqrt{2^2 + 2^2} = \sqrt{8} = 2 \cdot \sqrt{2} \text{ (A)} \quad \text{1 bod}$$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \psi_i) = 2 \cdot \sqrt{2} \sin(\omega t + \arctg(-1)) = 2 \cdot \sqrt{2} \sin(\omega t - \pi/4) \text{ (A)} \quad \text{2 body}$$

5 Elektronické součástky

a) Jaká je funkce zapojení podle schématu?
Vysvětlete funkci odporů R_G , R_S a R_D .
Jak volíme proudy a napětí v obvodu pro jeho správnou činnost?



b) Nakreslete: Vstupní charakteristiku bipolárního tranzistoru NPN, převodní charakteristiku tranzistoru J-FET kanálem typu N, převodní charakteristiku tranzistoru IGFET s trvalým kanálem typu N a převodní charakteristiku tranzistoru IGFET s indukovaným kanálem typu N.

c) Stručně definujte tepelný průraz přechodu PN. Jakým způsobem lze tepelný průraz potlačit?

Řešení

a) Zapojení je zesilovač s tranzistorem JFET s kanálem typu N.

1 bod

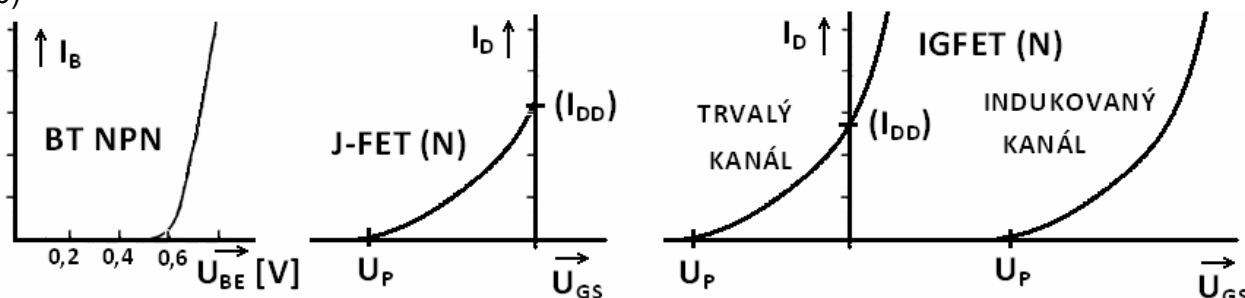
Odpor R_G zajišťuje nulové napětí na hradle z hlediska nastavení pracovního bodu. Pro střídavý signál pouze snižuje vstupní odpor. Odpor R_S slouží k nastavení pracovního bodu zesilovače. Při průchodu proudem se na R_S vytváří úbytek napětí. Protože je hradlo uzemněné, vytváří se tak záporné napětí U_{GS} . (Takto se obchází nutnost použít zdroj záporného napětí pro nastavení záporného napětí U_{GS} .)

2 body

Proud I_D volíme tak, aby na odporu R_D bylo napětí odpovídající přibližně polovině napájecího napětí. Velikost napětí U_{GS} pro tento proud se nastaví velikostí odporu R_S - určíme z převodní charakteristiky nebo vypočítáme, pokud známe parametry tranzistoru U_P a I_{DD} .

1 bod

b)



4 body

c) Tepelný průraz je lokální průraz při velkém závěrném proudě. Zvýšení teploty vede ke zvyšování proudové hustoty. Při nerovnoměrném rozdělení proudové hustoty vznikají "horká místa", kde dochází ke koncentraci proudu. Vlivem kladné zpětné vazby pak dochází k dalšímu přehřívání, zvyšování proudu a protavení přechodu. Proto je u polovodičových součástek nutné zajistit dostatečné chlazení.

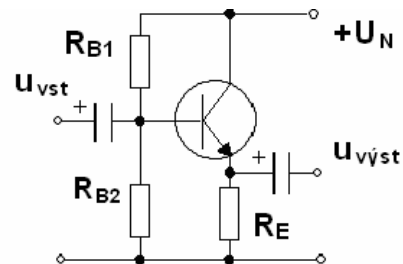
Pro potlačení náchylnosti součástek k tepelnému průrazu je nutné zajistit co nejrovnoměrnější rozložení proudové hustoty. Toho se dosáhne použitím kvalitního (homogenního) materiálu a vhodnou geometrií přechodu.

2 body

6 Elektronické součástky

- a) Pracovní bod zesilovače je nastaven tak že $U_E \sim 1/2 U_N$. Jak se změní napěťové zesílení A_U a výstupní odpor zesilovače $R_{vyst} (= R_E \parallel r_E)$ jestliže:

1. R_E se zmenší,
 2. R_{B2} se zmenší,
 3. Napájecí napětí U_N se zvětší.
- Odpovědi stručně (!) zdůvodněte.



- b) Jak určíme diferenciální odpor emitoru r_E bipolárního tranzistoru? Jaká je souvislost r_E se vstupním odporem samotného tranzistoru v zapojení SE?
- c) Proudový zesilovací činitel pro tranzistor T_1 je 45 a pro tranzistor T_2 je 190. Ostatní parametry jsou prakticky shodné. Vysvětlete pravděpodobnou příčinu tohoto rozdílu (předpokládejte, že se nejedná o vadné tranzistory).

Řešení

- a) 1. Protože má tranzistor v tomto zapojení velký vstupní odpor, představuje odporový dělič R_{B1} , R_{B2} relativně tvrdý zdroj napětí. Při zmenšení R_E se tedy napětí $U_E = U_B - U_{BE}$ výrazně nezmění a proud tranzistorem vzroste. Větší proud I_E znamená menší výstupní odpor a napěťové zesílení se více přiblíží jedné: $r_E = U_T / I_E$, $R_{vyst} = R_E \parallel r_E = r_E$, $A_U = R_E / (R_E + r_E)$. **2 body**

2. Napětí v děliči R_{B1} , R_{B2} se zmenší, proto se také zmenší i napětí $U_E = U_B - U_{BE}$. Proud tranzistorem se zmenší. Menší proud I_E znamená větší výstupní odpor a napěťové zesílení se zmenší. **2 body**

3. Napětí v děliči R_{B1} , R_{B2} se zvětší. Tím se také zvětší napětí $U_E = U_B - U_{BE}$ a proud tranzistorem vzroste. Větší proud I_E znamená menší výstupní odpor a napěťové zesílení se více přiblíží jedné. **2 body**

- b) $r_E = U_T / I_E \sim U_T / I_C$, $R_{vst} = r_B = U_T / I_B = U_T / (I_C / \beta) = \beta U_T / I_C \sim \beta U_T / I_E = \beta \cdot r_E$

2 body

- c) T_1 je pravděpodobně spínací tranzistor. Spínací tranzistory mají v bázi rekombinační centra pro zrychlení vypnutí. Jejich proudový zesilovací činitel je proto mnohem menší než pro universální transistory s jinak stejnými parametry. **2 body**

7 Signály, soustavy, systémy

Systém s diskretním časem má operátorový přenos (přenosovou funkci) $F(z) = 1 - z^{-1}$.

- Určete diferenční rovnici tohoto systému.
- Určete nulové body a póly přenosu $F(z)$ tohoto systému.
- Vypočtete impulsní charakteristiku systému pro 5 prvních hodnot diskretního času (tj. pro hodnoty $n = 0, 1, 2, 3$ a 4).

Řešení

a) $y(n) = x(n) - x(n-1)$ nebo $y(k) = u(k) - u(k-1)$.

3 body

b) $F(z) = 1 - z^{-1} = \frac{z-1}{z}$ (Tato rovnice se nevyžaduje.)

Nulový bod je 1 . **2 body**

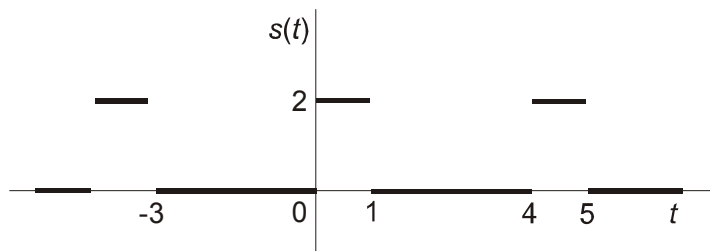
Pól je 0 . **2 body**

c) Prvními pěti hodnotami impulsové charakteristiky jsou hodnoty:

1 -1 0 0 0 . **3 body**

8 Signály, soustavy, systémy

Periodický signál $s(t)$ je zadán grafem:



- Určete periodu T (tj. základní periodu) signálu $s(t)$.
 - Vypočtete střední hodnotu (stejnosemřnou složku) signálu $s(t)$.
 - Vypočtete efektivní hodnotu signálu $s(t)$.
-

Řešení

a) $T = 4$

3 body

b) 0,5 nebo $\frac{1}{2}$

4 body

c) $\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T s^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{4} (2^2 \cdot 1 + 0^2 \cdot 3)} = 1$

3 body

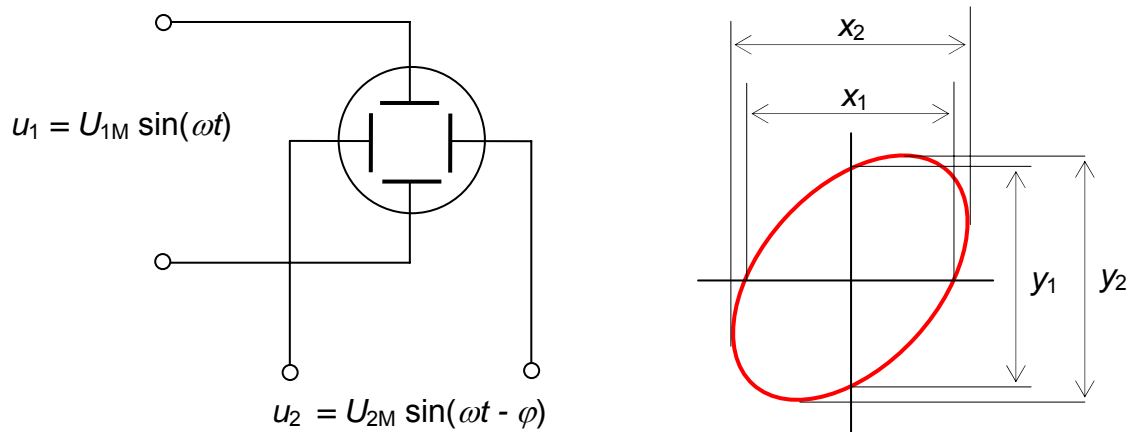
9 Měření v elektrotechnice

Uveďte možnosti měření fázového rozdílu dvou harmonických napětí analogovým osciloskopem (jednokanálovým a dvoukanálovým).

Řešení

1. Jednokanálový osciloskop, režim X-Y.

Na každý ze vstupů přivedeme jeden signál, na stínítku se zobrazí Lissajoussův obrazec.



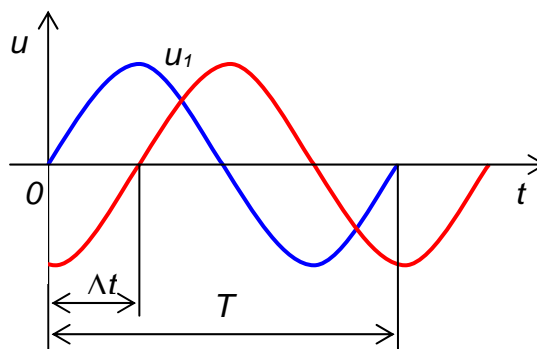
2 body

$$\varphi = \arcsin \frac{x_1}{x_2} = \arcsin \frac{y_1}{y_2}, \text{ nebo } \varphi = 2 \cdot \arctan \frac{y_2}{x_1} \text{ (rad)}$$

3 body

Nejistota je v nejlepším případě 3 %.

2. Dvoukanálový osciloskop.



2 body

$$\varphi = 2\pi \cdot f \cdot \Delta t = 2\pi \cdot \frac{\Delta t}{T} \text{ (rad)}$$

3 body

10 Měření v elektrotechnice

Uveďte definiční vztahy pro střední hodnotu, efektivní hodnotu, činitel tvaru a činitel výkyvu střídavého napětí. Nakreslete blokové schéma explicitního převodníku pro určení efektivní hodnoty střídavého napětí.

Řešení

Střední hodnota střídavého napětí

$$U_s = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \text{ (V)}. \quad \text{2 body}$$

Efektivní hodnota střídavého napětí

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \text{ (V)}. \quad \text{2 body}$$

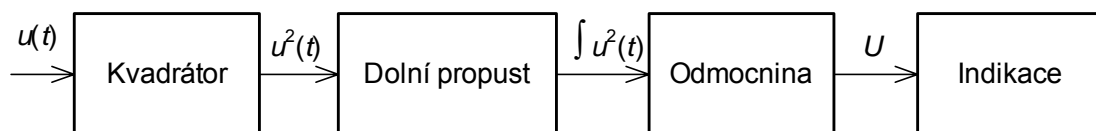
Činitel tvaru

$$K_T = \frac{U}{U_s} \text{ (-)}. \quad \text{2 body}$$

Činitel výkyvu

$$K_V = \frac{U_M}{U} \text{ (-)}. \quad \text{2 body}$$

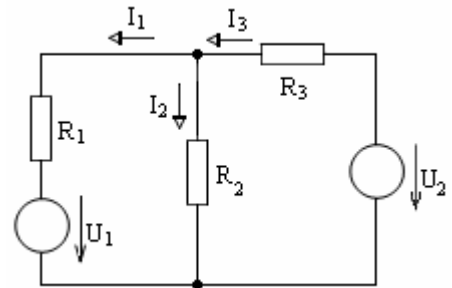
Blokové schéma převodníku



2 body

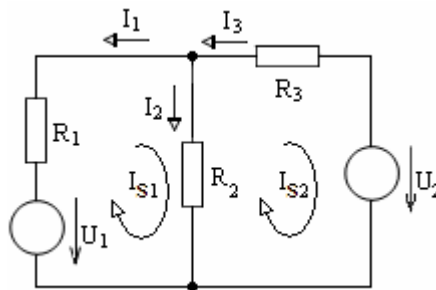
1 Elektrotechnika 1

- a) Metodou smyčkových proudů (MSP) vypočtete proudy všech větví uvedeného obvodu.
 $R_1 = 1 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, $R_3 = 2 \Omega$, $U_1 = 5 \text{ V}$, $U_2 = 3 \text{ V}$.
- b) Uveďte obecný vztah pro výpočet počtu nezávislých smyček obvodu u metody smyčkových proudů.



Řešení

a)



$$\begin{pmatrix} R_1 + R_2 & -R_2 \\ -R_2 & R_2 + R_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{S1} \\ I_{S2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_1 \\ -U_2 \end{pmatrix} \quad \mathbf{2 \text{ body}}$$

$$\begin{pmatrix} 3 & -2 \\ -2 & 4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{S1} \\ I_{S2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 \\ -3 \end{pmatrix} \quad \mathbf{2 \text{ body}}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 3 & -2 \\ -2 & 4 \end{vmatrix} = 8 \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} 5 & -2 \\ -3 & 4 \end{vmatrix} = 14 \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} 3 & 5 \\ -2 & -3 \end{vmatrix} = 1$$

$$I_{S1} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{14}{8} = 1,75 \text{ A} \quad I_{S2} = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{1}{8} = 0,125 \text{ A} \quad \mathbf{2 \text{ body}}$$

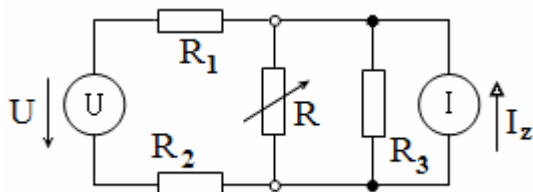
$$I_1 = -I_{S1} = -1,75 \text{ A}, \quad I_2 = I_{S1} - I_{S2} = 1,625 \text{ A}, \quad I_3 = -I_{S2} = -0,125 \text{ A} \quad \mathbf{3 \text{ body}}$$

(Pozn.: V případě jiné volby smyček, která **musí být v řešení vyznačena**, je třeba správné mezivýsledky s hodnotami odlišnými od vzorového řešení také adekvátně bodovat).

- b) Počet nezávislých smyček: $s = v - n + 1$ (v - počet větví, n - počet uzlů obvodu). **1 bod**

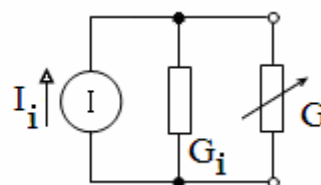
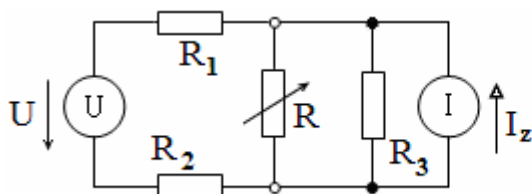
2 Elektrotechnika 1

Pomocí **Nortonovy věty** určete proud rezistorem R pro hodnoty: a) $R = 5 \Omega$, b) $R = 10 \Omega$.

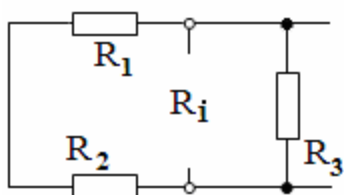


$$\begin{aligned} R_1 &= R_2 = 5 \Omega \\ R_3 &= 10 \Omega \\ U &= 10 \text{ V} \\ I_z &= 1 \text{ A} \end{aligned}$$

Řešení



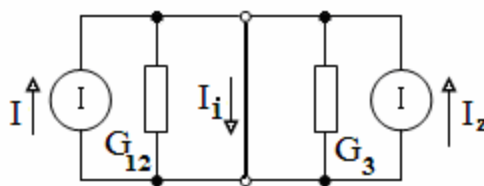
2 body



$$R_i = \frac{R_3 \cdot (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3} = 5 \Omega$$

$$G_i = \frac{1}{R_i} = 0,2 \text{ S}$$

2 body



$$I = \frac{U}{R_1 + R_2} = 1 \text{ A}$$

$$I_i = I + I_z = 2 \text{ A}$$

2 body

$I_G = I_i \frac{G}{G + G_i}$	$I_{R5} = 2 \frac{0,2}{0,2 + 0,2} = 1 \text{ A}$	$I_{R10} = 2 \frac{0,1}{0,2 + 0,1} = \frac{2}{3} = 0,6 \text{ A}$
-------------------------------	--------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------

2 body

1 bod

1 bod

3 Elektrotechnika 2

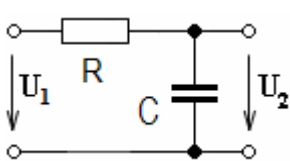
Integrační článek RC má tyto hodnoty prvků: $R = 1000 \Omega$, $C = 10 \mu\text{F}$.

- Nakreslete zapojení setrvačného RC článku a odvoďte jeho napěťový přenos naprázdno $\mathbf{K}_U(j\omega)$.
- Vypočtete napěťový přenos naprázdno $\mathbf{K}_U(j\omega)$ (ve složkovém tvaru), je-li úhlový kmitočet vstupního signálu $\omega = 100 \text{ rad/s}$.
- Nakreslete hodograf setrvačného RC článku, vyznačte v něm pracovní bod pro zadaný úhlový kmitočet ω .
- Vypočtete mezní úhlový kmitočet ω_m a časovou konstantu τ uvedeného článku.
- Nakreslete zapojení integračního LR článku a odvoďte jeho napěťový přenos naprázdno $\mathbf{K}_U(j\omega)$.

Řešení

- a) Zapojení setrvačného RC článku a jeho napěťový přenos naprázdno $\mathbf{K}_U(j\omega)$.

2 body

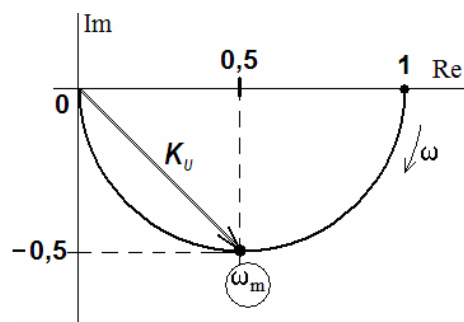


$$\mathbf{K}_U(j\omega) = \frac{\mathbf{U}_2(j\omega)}{\mathbf{U}_1(j\omega)} = \frac{\mathbf{Z}_2}{\mathbf{Z}_1 + \mathbf{Z}_2} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega RC} = \frac{1}{1 + j\omega\tau}$$

- b) $\mathbf{K}_U(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega RC} = \frac{1}{1 + j10^2 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{1 + j} = \frac{1-j}{(1+j)(1-j)} = \frac{1-j}{2} = 0,5 - j0,5$

3 body

- c)

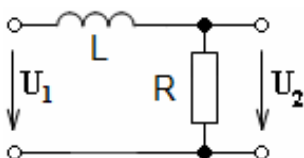


2 body

- d) $\omega_m = \frac{1}{RC} = \frac{1}{10^3 \cdot 10^{-5}} = 100 \text{ rad/s}$, $\tau = RC = 10^3 \cdot 10^{-5} = 10^{-2} = 10 \text{ ms}$

1 bod

- e)

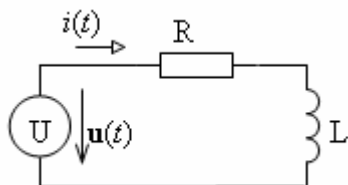


$$\mathbf{K}_U(j\omega) = \frac{\mathbf{U}_2(j\omega)}{\mathbf{U}_1(j\omega)} = \frac{\mathbf{Z}_2}{\mathbf{Z}_1 + \mathbf{Z}_2} = \frac{R}{R + j\omega L} = \frac{1}{1 + j\omega \frac{L}{R}} = \frac{1}{1 + j\omega\tau}$$

2 body

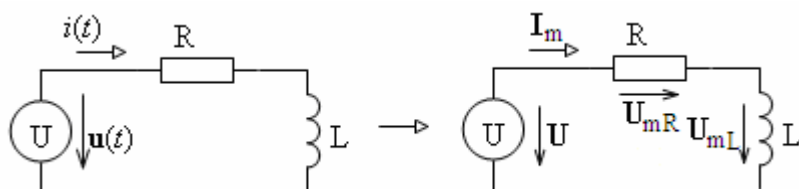
4 Elektrotechnika 2

Vypočítejte celkovou impedanci zátěže \mathbf{Z} , kterou napájí zdroj harmonického napětí $u(t) = U_m \sin(\omega t) = 100 \sin(\omega t)$. Vypočtete dále fázory napětí na jednotlivých prvcích obvodu, celkový komplexní, činný a jalový výkon dodávaný zdrojem do zátěže. (Všechny fázory udávejte jen ve složkových tvarech).



$$\begin{aligned} R &= 50 \, \Omega \\ \omega L &= 50 \, \Omega \\ u(t) &= 100 \sin(\omega t) \, \text{V} \end{aligned}$$

Řešení



$$\mathbf{U}_m = 100 + j0 \, (\text{V}) \quad \text{1 bod}$$

$$\mathbf{Z} = R + j\omega L = 50 + j50 \, (\Omega) \quad \text{1 bod}$$

$$\mathbf{I}_m = \frac{\mathbf{U}_m}{\mathbf{Z}} = \frac{100}{50 + j50} = \frac{2}{1 + j} = \frac{2 \cdot (1 - j)}{(1 + j) \cdot (1 - j)} = 1 - j \, (\text{A}) \quad \text{2 body}$$

$$\mathbf{U}_{mR} = \mathbf{I}_m \cdot R = (1 - j) \cdot 50 = 50 - j50 \, (\text{V}) \quad \text{1 bod}$$

$$\mathbf{U}_{mL} = \mathbf{I}_m \cdot j\omega L = (1 - j) \cdot j50 = 50 + j50 \, (\text{V}) \quad \text{1 bod}$$

$$\mathbf{S} = \frac{1}{2} \mathbf{U}_m \mathbf{I}_m^* = \frac{1}{2} 100(1 + j) = 50 + j50 = P + jQ \, (\text{VA}) \quad \text{2 body}$$

$$\text{činný výkon } P = 50 \, (\text{W}), \text{ jalový výkon } Q = 50 \, (\text{VA}r) \quad \text{2 body}$$

$$\text{nebo též } \mathbf{S} = \frac{1}{2} \frac{U_m^2}{\mathbf{Z}^*} = \frac{1}{2} \frac{100^2}{50 - j50} = 50 + j50 \, (\text{VA}),$$

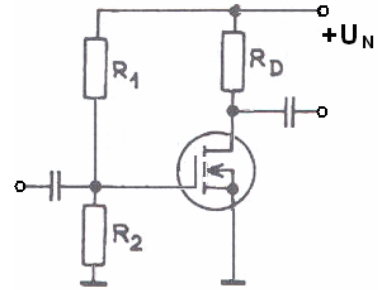
$$\text{nebo též } \mathbf{S} = \frac{1}{2} \mathbf{Z} \cdot I_m^2 = \frac{1}{2} (50 + j50) \cdot (\sqrt{2})^2 = 50 + j50 \, (\text{VA})$$

5 Elektronické součástky

a) Pracovní bod tranzistoru IGFET zapojeného podle schématu je nastaven do oblasti saturace. Jak se změní napětí U_{GS} , proud I_D , strmost tranzistoru g_m , a napětí U_{DS} a, jestliže:

1. R_2 se zmenší,
2. R_D se zmenší,
3. Napájecí napětí U_N se zmenší.

Odpovědi stručně (!) zdůvodněte.



b) Jaké zásady musí být dodrženy pro návrh a výrobu struktury bipolárního tranzistoru, aby byla zaručena správná funkce této struktury? Stručně (!) zdůvodněte.

c) Závěrný proud diody D_1 je přibližně 50x větší než závěrný proud diody D_2 . Ostatní parametry jsou prakticky shodné. Vysvětlete pravděpodobnou příčinu tohoto rozdílu (předpokládejte, že se nejedná o vadné diody.)

Řešení

a) 1. Zmenší se napětí U_{GS} na hradle tranzistoru a proud I_D klesne. Menší I_D znamená menší g_m . Napětí na odporu R_D se zmenší a napětí U_{DS} vzroste. **1 bod**

2. V saturaci se tranzistor FET chová jako proudový zdroj. Velikost proudu I_D je dána hodnotou U_{GS} . Při změně R_D se U_{GS} nemění, nezmění se tedy ani I_D a g_m . Zmenší se pouze úbytek napětí na odporu R_D a napětí U_{DS} vzroste. **1 bod**

3. Protože napětí na dělicích R_1 , R_2 je úměrné napájecímu napětí, U_{GS} klesne. Proud I_D klesne. Menší I_D znamená menší g_m . Napětí na odporu R_D se zmenší. Změna napětí U_{DS} závisí na aktuální poloze pracovního bodu - na strmosti změny proudu I_D s napětím U_{GS} a velikosti odporu R_D (může dojít k jeho zvýšení nebo snížení, může zůstat i stejné). **2 body**

b) 1. Velmi tenká báze - základní podmínka. Nosiče proniknou z emitorového přechodu do kolektorového přechodu a mohou být odsávány kolektorovým přechodem. **1 bod**

2. Koncentrace příměsí v emitoru mnohem větší než v bázi. Proud přechodu EB je potom tvořen především nosiči emitoru do báze. **1 bod**

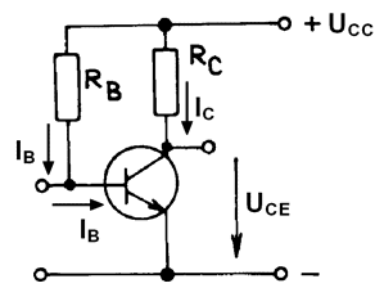
3. Kontakt báze co nejdále od přechodu EB. Difúzní proud nosičů z emitoru je odsáván kolektorovým přechodem dříve než jsou nosiče zachyceny na kontaktu báze. **1 bod**

4. Plocha kolektoru co největší. Je tak zaručeno spolehlivé odsávání difúzního proudu nosičů z emitoru. **1 bod**

c) D_1 je pravděpodobně spínací dioda. Pro potlačení akumulace nosičů a zmenšení difúzní kapacity se u rychlých a spínacích diod do přechodu PN záměrně zavádí speciální příměsí – rekombinační centra. Zmenšení doby života nosičů τ má za následek zvýšení saturačního/závěrného proudu diody. **2 body**

6 Elektronické součástky

- a) Tranzistor v zapojení podle obrázku je univerzální nízkofrekvenční tranzistor ($\beta = 180$). Proud báze tranzistoru T_1 je nastaven odporem R_B tak, aby úbytek na kolektorovém odporu R_C byl $U_{RC} = \frac{1}{2} U_{CC}$. Odpovězte na následující otázky a své odpovědi stručně zdůvodněte za použití vztahů pro výpočet pracovního bodu tranzistoru. Jak se změní:



1. vstupní odpor tohoto zesilovače zvětšíme-li napájecí napětí U_{CC} ,
2. napěťové zesílení naprázdno zvětšíme-li hodnotu R_B ,
3. proud I_C vyměníme-li univerzální tranzistor za spínací?

- b) Jak určíme diferenciální odpor emitoru r_E bipolárního tranzistoru? Jaká je souvislost r_E se zesílením tranzistorového zesilovače v zapojení SE.
- c) Jakými provozními parametry se liší normální a inverzní zapojení bipolárního tranzistoru. Vysvětlete.

Řešení

- a) 1. I_B se zvětší, protože $I_B = (U_{CC} - U_{BE}) / R_B$. R_B je mnohem větší než r_B - vstupní odpor je proto prakticky určen velikostí $r_B = U_T / I_B$. Protože I_B se při zvýšení U_{CC} zvětší, r_B a tím i vstupní odpor se zmenší. **2 body**
2. I_B se zmenší, protože $I_B = (U_{CC} - U_{BE}) / R_B$. Při menším I_B bude menší i $I_C = h_{21E} \cdot I_B$. Napěťové zesílení tohoto zapojení je $A_u = R_C / r_E$, kde $r_E = U_T / I_E$ ($I_E = I_C$). Protože při větší hodnotě R_B bude I_C menší, zvětší se r_E a napěťové zesílení klesne. **2 body**
3. Spínací tranzistory mají v bázi rekombinační centra pro zrychlení vypnutí. Jejich proudový zesilovací činitel je proto mnohem menší než pro univerzální tranzistory s jinak stejnými parametry. Při menším β bude menší také $I_C = \beta \cdot I_B$ (I_B se nezmění protože $I_B = (U_{CC} - U_{BE}) / R_B$). **2 body**
- b) $r_E = U_T / I_E \sim U_T / I_C$
 $|A_u| = \Delta U_{CE} / \Delta U_{BE} = \Delta I_C \cdot R_C / \Delta I_B \cdot r_B = \Delta I_C \cdot R_C / [(\Delta I_C / \beta) \cdot r_B] = R_C / (r_B / \beta) = R_C / r_E$ **2 body**
- c) V inverzním režimu si emitorový a kolektorový přechod vymění své funkce. V tomto případě však nejsou splněny požadavky na optimální funkci struktury bipolárního tranzistoru – emitující (kolektorový) přechod má malou koncentraci příměsí a emitor při své velmi malé ploše zachytne jen velmi málo nosičů z báze - proudový zesilovací činitel β je proto velmi malý. Závěrné napětí v inverzním zapojení je velmi malé – typicky pod 7 V, protože emitorový přechod má velkou koncentraci příměsí. Saturační napětí U_{ECsat} je velmi malé, protože bohatě dotovaný emitorový přechod má velké difúzní napětí a je schopen odsávat nosiče z báze i při velmi malém napětí U_{EC} . Využívá se toho u spínačů pro měřicí techniku. **2 body**

7 Signály, soustavy, systémy

Je dán periodický signál

$$s(t) = 3 \text{ pro } t \in \langle 0, 1 \rangle \text{ a}$$

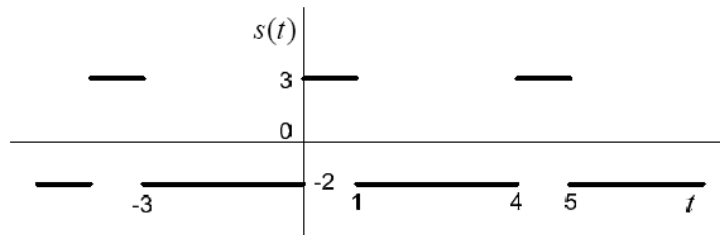
$$s(t) = -2 \text{ pro } t \in \langle 1, 4 \rangle$$

s periodou $T_1 = 4$. Určete co značí normovaný výkon signálu a vypočítejte střední normovaný výkon signálu $s(t)$.

- Načrtněte průběh signálu $s(t)$.
- Napište obecný vztah pro výkon signálu na odporu $R = 1\Omega$.
- Vypočtěte tento výkon číselně.

Řešení

- a) Průběh signálu $s(t)$



3 body

- b) Obecný vztah pro výkon signálu:

$$P = \frac{1}{T_1} \int_{T_1} s^2(t) dt =$$

4 body

- c) Číselný výsledek:

$$P = \frac{1}{4} \int_0^1 3^2 dt + \frac{1}{4} \int_1^4 (-2)^2 dt = \frac{1}{4} [9 \cdot 1 + 4 \cdot 3] = \frac{21}{4} = 5,25.$$

3 body

8 Signály, soustavy, systémy

Jsou dány následující signály $s(n)$ s diskretním časem n . Stanovte Z-obrazy $S(z)$ signálů $s(n)$.

- a) Stanovte obraz $S_a(z)$ signálu $s_a(n) = \delta(n)$
- b) Stanovte obraz $S_b(z)$ signálu $s_b(n) = \delta(n-1)$
- c) Stanovte obraz $S_c(z)$ signálu $s_c(n) = -6\delta(n-2)$
- d) Stanovte obraz $S(z)$ signálu $s(n) = \delta(n) + \delta(n-1) - 6\delta(n-2)$

Pomůcka: $F(z) = \sum_{k=0}^{\infty} f(k)z^{-k}$ nebo $S(z) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} s(n)z^{-n}$.

Řešení

a) $S_a(z) = 1$ **3 body**

c) $S_c(z) = -6z^{-2}$ **2 body**

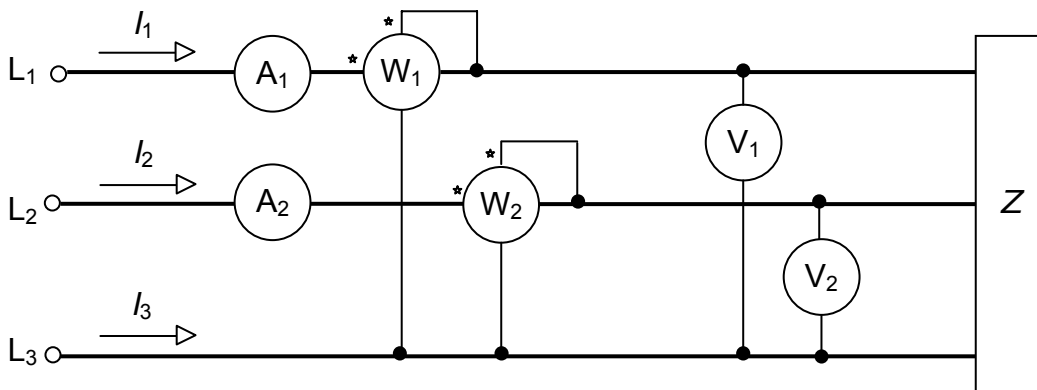
b) $S_b(z) = z^{-1}$ **3 body**

d) $S(z) = 1 + z^{-1} - 6z^{-2}$ **2 body**

9 Měření v elektrotechnice

Nakreslete Aronovo zapojení pro měření výkonu v trojfázové síti a odvoďte vztahy pro celkový výkon.

Řešení



2 body

Okamžité hodnoty výkonů měřených wattmetry jsou

$$p_1 = u_{13} \cdot i_1 = u_1 \cdot i_1 - u_3 \cdot i_1 \quad (\text{W}),$$

1 bod

$$p_2 = u_{23} \cdot i_2 = u_2 \cdot i_2 - u_3 \cdot i_2 \quad (\text{W}).$$

1 bod

Součet těchto hodnot

$$p = p_1 + p_2 = u_1 \cdot i_1 + u_2 \cdot i_2 + u_3 \cdot (-i_1 - i_2) \quad (\text{W}).$$

1 bod

Protože se jedná o třívodičovou síť, platí podle 1. Kirchhoffova zákona

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0 \Rightarrow i_3 = -i_1 - i_2 \quad (\text{A}).$$

1 bod

Dosazením dostaneme

$$p = p_1 + p_2 = u_1 \cdot i_1 + u_2 \cdot i_2 + u_3 \cdot i_3 \quad (\text{W}).$$

1 bod

Celkový činný výkon třífázové třívodičové soustavy změřený dvěma wattmetry je

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = N_1 + N_2 \quad (\text{W}),$$

1 bod

kde jsou N_1 , N_2 jsou údaje wattmetrů (W).

Údaje wattmetrů můžeme s přihlédnutím k fázorovému diagramu zapsat

$$N_1 = U_{13} \cdot I_1 \cdot \cos(\varphi_1 - 30^\circ) \quad (\text{W}),$$

1 bod

$$N_2 = U_{23} \cdot I_2 \cdot \cos(\varphi_2 + 30^\circ) \quad (\text{W}).$$

1 bod

10 Měření v elektrotechnice

Při měření magnetické indukce B ve stejnosměrném magnetickém poli byla pomocí rotující měřicí cívky naměřena efektivní hodnota napětí 2 V. Plocha cívky je 1 cm^2 , počet závitů 100. Cívka má 1500 otáček za minutu. Určete velikost B .

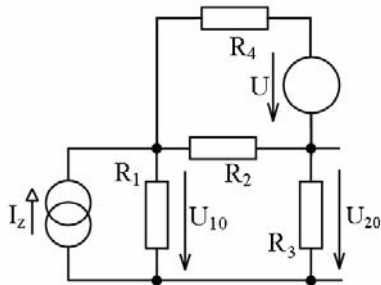
Řešení

$$B = \frac{60 \cdot U}{4,44 \cdot n \cdot N \cdot S} = \frac{60 \cdot 2}{4,44 \cdot 1500 \cdot 100 \cdot 10^{-4}} = 1,8 \text{ T}$$

10 bodů

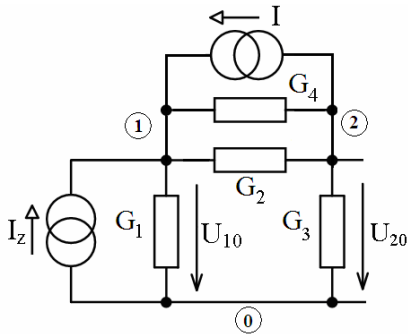
1 Elektrotechnika 1

Metodou uzlových napětí (MUN) vypočtete napětí U_{10} a U_{20} v uvedeném obvodu.



$$\begin{aligned} R_1 &= 2 \, \Omega, & R_2 &= 1 \, \Omega \\ R_3 &= 0,5 \, \Omega, & R_4 &= 1 \, \Omega \\ U &= 2 \, \text{V}, & I_z &= 2 \, \text{A} \end{aligned}$$

Řešení



$$I = \frac{U}{R_4} = 2 \, \text{A}$$

2 body

$$\begin{pmatrix} G_1 + G_2 + G_4 & -G_2 - G_4 \\ -G_2 - G_4 & G_2 + G_3 + G_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_{10} \\ U_{20} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I + I_z \\ -I \end{pmatrix}$$

2 body

$$\begin{pmatrix} 2,5 & -2 \\ -2 & 4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_{10} \\ U_{20} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 \\ -2 \end{pmatrix}$$

1 bod

$$\Delta = \begin{vmatrix} 2,5 & -2 \\ -2 & 4 \end{vmatrix} = 6 \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} 4 & -2 \\ -2 & 4 \end{vmatrix} = 12 \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} 2,5 & 4 \\ -2 & -2 \end{vmatrix} = 3$$

3 body

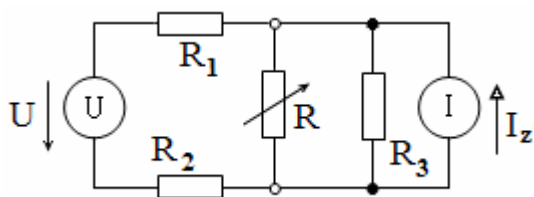
$$U_{10} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{12}{6} = 2 \, \text{V} \quad U_{20} = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{3}{6} = 0,5 \, \text{V}$$

2 body

(Pozn.: V případě jiné volby nezávislých uzlů, které **musí být v řešení vyznačené**, je třeba správné mezivýsledky s hodnotami odlišnými od vzorového řešení také adekvátně bodovat).

2 Elektrotechnika 1

Pomocí **Théveninovy věty** určete napětí na rezistoru R pro hodnoty: a) $R = 5 \Omega$, b) $R = 10 \Omega$.



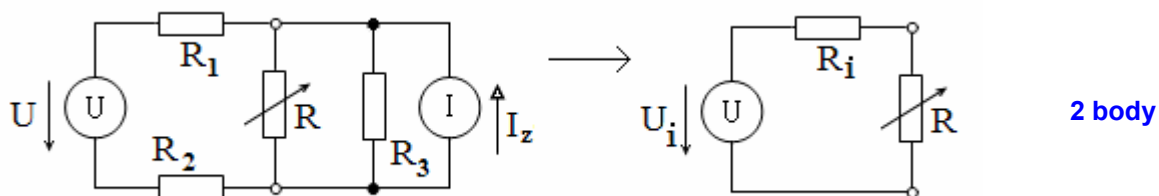
$$R_1 = R_2 = 5 \Omega$$

$$R_3 = 10 \Omega$$

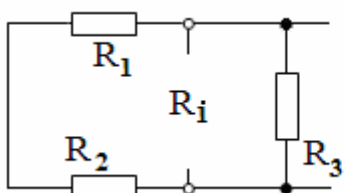
$$U = 10 \text{ V}$$

$$I_z = 1 \text{ A}$$

Řešení

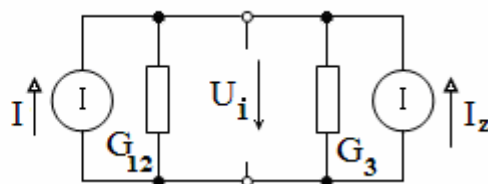


2 body



$$R_i = \frac{R_3 \cdot (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3} = 5 \Omega$$

1 bod



$$I = \frac{U}{R_1 + R_2} = 1 \text{ A}, \quad G_{12} = \frac{1}{R_1 + R_2} = 0,1 \text{ S}$$

$$(G_{12} + G_3)U_i = I + I_z$$

$$U_i = \frac{I + I_z}{G_{12} + G_3} = \frac{2}{0,2} = 10 \text{ V}$$

3 body

$U_R = U_i \frac{R}{R + R_i}$	a) $U_R = 10 \frac{5}{5+5} = 5 \text{ V}$	b) $U_R = 10 \frac{10}{10+5} = 6,6 \bar{6} \text{ V}$
-------------------------------	-------------------------------------------	-------------------------------------------------------

2 body

1 bod

1 bod

3 Elektrotechnika 2

- a) Vyjádřete impedanci \mathbf{Z} sériového RLC obvodu a odvoďte jeho rezonanční kmitočet.
 b) Je-li fázor vstupního napětí RLC sériového obvodu \mathbf{U} , odvoďte velikosti fázoru proudu \mathbf{I} , a fázorů napětí na jednotlivých prvcích obvodu (\mathbf{U}_R , \mathbf{U}_L , a \mathbf{U}_C) při rezonanci.
 c) Nakreslete fázorový diagram fázorů sériového obvodu RLC při rezonanci.
 d) Sériový obvod má prvky: $R = 100 \Omega$, $L = 0,1 \text{ H}$, $C = 1 \text{ nF}$. Vypočítejte jeho úhlový rezonanční kmitočet ω_0 a činitel jakosti Q .

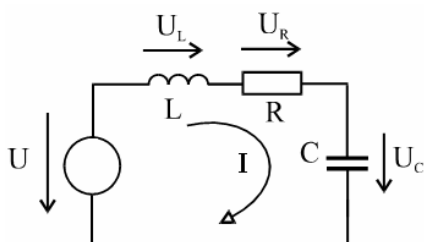
Řešení

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

$$\Rightarrow \min \mathbf{Z} = R \quad \text{pro } \omega L = \frac{1}{\omega C}, \quad \text{tj } \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}) \dots \dots \dots \text{rezonance}$$

2 body

b)



při rezonanci: $\mathbf{I}_r = \frac{\mathbf{U}}{R} \Rightarrow$

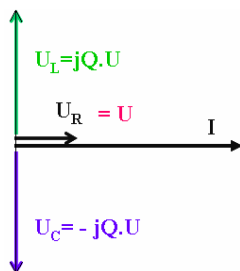
$$\mathbf{U}_{Lr} = \mathbf{I}_r \cdot j\omega_0 L = \frac{\mathbf{U}}{R} \cdot j\omega_0 L = jQ\mathbf{U},$$

$$\mathbf{U}_{Cr} = \mathbf{I}_r \cdot \frac{1}{j\omega_0 C} = \frac{\mathbf{U}}{j\omega_0 CR} = -jQ\mathbf{U},$$

$$\mathbf{U}_{Rr} = \mathbf{I}_r \cdot R = \mathbf{U}, \quad \text{kde } Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 CR} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

4 body

c)



2 body

d)

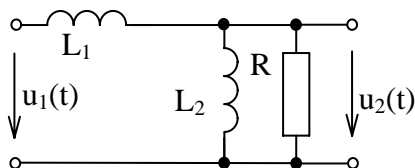
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{\sqrt{0,1 \cdot 1 \cdot 10^{-9}}} = 1 \cdot 10^5 \text{ rad/s},$$

$$Q = \frac{\omega_0 \cdot L}{R} = \frac{10^5 \cdot 0,1}{100} = 100$$

2 body

4 Elektrotechnika 2

Pro uvedený obvod odvodte obecný výraz pro obraz napětového přenosu $\mathbf{K}_U(p)$ a vyčíslete jej pro uvedené parametry obvodu. Vypočtete odezvu obvodu na jednotkový impuls $g(t)$ v číselném tvaru a uveďte její hodnoty pro $t = 0$, $t = \infty$ (zpětnou inverzi obrazu $\mathbf{G}(p)$ proveďte pomocí Heavisideova vztahu).



$$\begin{aligned}L_1 &= 1 \text{ H} \\ R &= 20 \text{ } \Omega \\ L_2 &= 4 \text{ H}\end{aligned}$$

Řešení

$$\mathbf{K}_U(p) = \frac{\frac{pL_2 \cdot R}{pL_2 + R}}{pL_1 + \frac{pL_2 \cdot R}{pL_2 + R}} = \frac{pL_2 R}{p^2 L_1 L_2 + pR(L_2 + L_1)} = \frac{80p}{4p^2 + 100p} = \frac{80}{4p + 100} \quad \mathbf{2 \text{ body}}$$

$$\mathbf{G}(p) = \mathbf{K}_U(p) \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

Inverze obrazu:

$$\mathbf{G}(p) = \frac{80}{4p + 100} = \frac{Q(p)}{P(p)}, \quad P'(p) = \frac{d}{dp} P(p) = 4 \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

kořen jmenovatele:

$$4p + 100 = 0 \Rightarrow p = -25 \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

$$Q(p) = 80, \quad P'(p) = 4 \quad \mathbf{2 \text{ body}}$$

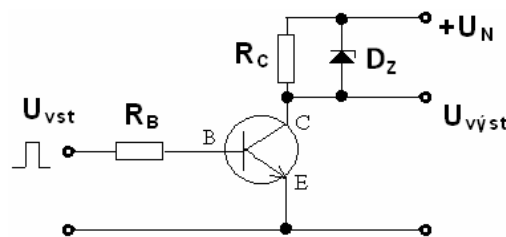
odezva na jednotkový impuls je

$$g(t) = L^{-1} \{ \mathbf{G}(p) \} = \frac{Q(p)}{P'(p)} e^{pt} = 20 \cdot e^{-25t} \quad \mathbf{2 \text{ body}}$$

$$g(0) = 20, \quad g(\infty) = 0 \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

5 Elektronické součástky

- a) Tranzistorový spínač má napájecí napětí $U_N = 10\text{ V}$, $R_B = 1\text{ k}\Omega$, $R_C = 100\ \Omega$. Závěrné napětí stabilizační diody D_Z je 5 V . Na vstup je připojen obdélníkový signál ($f = 500\text{ Hz}$) s amplitudou $u_{VST1} = \pm 0,4\text{ V}$ nebo s amplitudou $u_{VST2} = \pm 4\text{ V}$. V uvažované pracovní oblasti je proudový zesilovací činitel tranzistoru $h_{21E} = 100$. Na základě výpočtu rozhodněte, v jakém režimu tranzistor při vstupním signálu u_{VST1} a při vstupním signálu u_{VST2} pracuje.
- b) Jak určíme diferenciální odpor emitoru r_E bipolárního tranzistoru? Jaká je souvislost r_E s admitančními parametry tranzistorového zesilovače v zapojení SE?
- c) Uveďte alespoň dva rozdíly mezi spínačem s bipolárním tranzistorem a tranzistorem MOSFET. Zdůvodněte.



Řešení

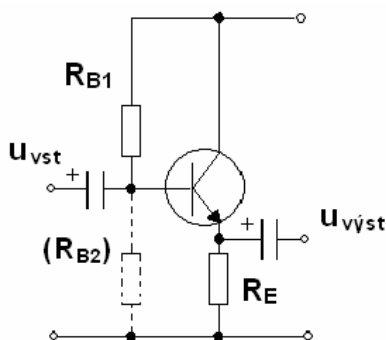
- a) $I_B = (U_{vst} - U_{BE}) / R_B$, $I_C = h_{21E} \cdot I_B$, $U_{RC} = R_C \cdot I_C$, $U_{CE} = U_N - U_{RC}$ 1 bod
- $u_{VST1} = +0,4\text{ V}$: $I_B = (0,4 - 0,6)\text{ V} / 1\text{ k}\Omega = -0,4\text{ mA}$!!! Vstupní napětí je příliš malé k otevření tranzistoru = závěrný režim. 1 bod
- $u_{VST1} = -0,4\text{ V}$: U_{BE} je záporné, $I_B \sim 0$, $I_C \sim 0$, $U_{RC} \sim 0$, $U_{CE} \sim U_N$ = závěrný režim. 1 bod
- $u_{VST1} = +4\text{ V}$: $I_B = (4 - 0,6)\text{ V} / 1\text{ k}\Omega = 3,4\text{ mA}$, $I_C = 100 \cdot 3,4 = 340\text{ mA}$,
 $U_{RC} = 100\ \Omega \cdot 340\text{ mA} = 34\text{ V}$ (!)
 U_{RC} nemůže být větší než závěrné napětí paralelně zapojené stabilizační diody D_Z !! Většinu proudu I_C proto převezme stabilizační dioda.
 Proto $U_{RC} = U_{DZ} = 5\text{ V}$ a $U_{CE} = U_{CC} - U_{DZ} = 5\text{ V}$ = aktivní režim. 2 body
- $u_{VST1} = -4\text{ V}$: U_{BE} je záporné, $I_B \sim 0$, $I_C \sim 0$, $U_{RC} \sim 0$, $U_{CE} \sim U_N$ = závěrný režim. 1 bod
- b) $r_E = U_T / I_E \sim U_T / I_C$ 1 bod
 $y_{21} = 1 / r_E$ 1 bod
- c) 1. Řídicí signál: **BT** - trvalý proud báze, $U_{BE} < 1\text{ V}$, **MOSFET** nepotřebuje v klidu žádný řídicí proud, při sepnutí i vypnutí je však nutné nabít a vybit parazitní kapacity v obvodu, $U_{GS} > 10\text{ V}$.
 2. Rychlost rozepnutí: **BT** - je zde vždy určité zpoždění dané akumulací nosičů, **MOSFET** - rychlost rozepnutí je určena schopností řídicích obvodů nabít a vybit parazitní kapacity.
 3. MOSFET pro $U_{DSmax} < 100\text{ V}$ má mnohem větší I_{Dmax} než srovnatelný BT.
 4. MOSFET pro $U_{DSmax} > 200\text{ V}$ má mnohem menší I_{Dmax} než srovnatelný BT. 2 body

6 Elektronické součástky

- a) Nakreslete příklad zapojení zesilovače tř. A v zapojení SC. Uvedte typický příklad použití tohoto zesilovače a zdůvodněte. Uvedte vztah pro výpočet jeho napěťového a proudového zesílení.
- b) Jaký parametr potřebujeme znát pro výpočet výstupního odporu bipolárního tranzistoru v zapojení SE a SB ($\sim r_C$). Uvedte vztah pro výpočet.
- c) Uvedte alespoň dva rozdíly mezi spínačem s tyristorem a s tranzistorem IGBT.

Řešení

a)



3 body

Zapojení SC je výhodné jako vstupní i výstupní obvod u zesilovačů, protože má velký vstupní a malý výstupní odpor. Proudové zesílení je rovno β , napěťové zesílení je ale menší než jedna. Napěťové zesílení celého zesilovače musí být zajištěno jiným typem zesilovače – obvykle BT v zapojení SE.

$$A_U = R_E / (R_E + r_E), \quad \text{kde } r_E = U_T / I_E \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

$$A_I = \beta \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

- b) Je třeba znát Earlyho napětí U_E – určíme jej pomocí průsečíku prodloužené části výstupní charakteristiky s osou napětí.

$$\text{S použitím } U_E \text{ vypočteme } r_C \text{ takto: } r_C = R_{CE} = (U_E + U_{CE}) / I_C .$$

2 body

- c) 1. Řídicí signál: **Tyristor** vyžaduje proudový impuls I_G , $U_{GK} \sim 2V$, tranzistor **IGBT** je řízen napětím, ale při sepnutí i vypnutí je nutné nabít a vybit parazitní kapacity v obvodu, $U_{GS} > 10V$.
2. Rozepnutí: **Tyristor** zůstává sepnutý, dokud proud tyristorem neklesne pod úroveň vratného proudu. **IGBT** vypíná bezprostředně po změně napětí na hradle.
3. Mezní kmitočet: **Tyristor** je bipolární součástka, je zde vždy akumulace nosičů a mezní kmitočet je proto omezen na několik kHz. U **IGBT** je možné vhodným rozmístěním rekombinačních center dosáhnout mezního kmitočtu přes 50 kHz.

2 body

7 Signály, soustavy, systémy

Určete, zda je signál $s(t)$ periodický: $s(t) = 2\pi \cos(2\pi t) + 4 \cos t$

Řešení

Perioda první složky signálu $2\pi \cos(2\pi t)$: $T_1 = 1$ **3 body**

Perioda druhé složky signálu $4 \cos t$: $T_2 = 2\pi$ **3 body**

Kritérium periodicity

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{2\pi} \Rightarrow \text{iracionální číslo} \Rightarrow \text{signál } s(t) \text{ není periodický} \quad \mathbf{4 \text{ body}}$$

(Za správnou odpověď lze považovat také výrok: signál $s(t)$ je kvaziperiodický.)

8 Signály, soustavy, systémy

Signály s diskretním časem. Diskrétní čas je označen symbolem k .

- a) Pro $k = 2$ určete hodnotu signálu $f_a(k) = 4 \cos(0,5\pi k + 0,5\pi)$.
- b) Pro $k = 2$ určete hodnotu signálu $f_b(k) = \delta(k + 4)$.
- c) Pro $k = 2$ určete hodnotu signálu $f_c(k) = -2\sigma(k - 1)$.
- d) Pro $k = 2$ určete hodnotu signálu $f_d(k) = 4 \cos(0,5\pi k + 0,5\pi) + \delta(k + 4) - 2\sigma(k - 1)$.

Poznámka: $\sigma(k)$ je diskretní jednotkový skok, který také bývá označován $\sigma(n)$, $1(n)$, $u(n)$.
 $\delta(k)$ je diskretní jednotkový impuls

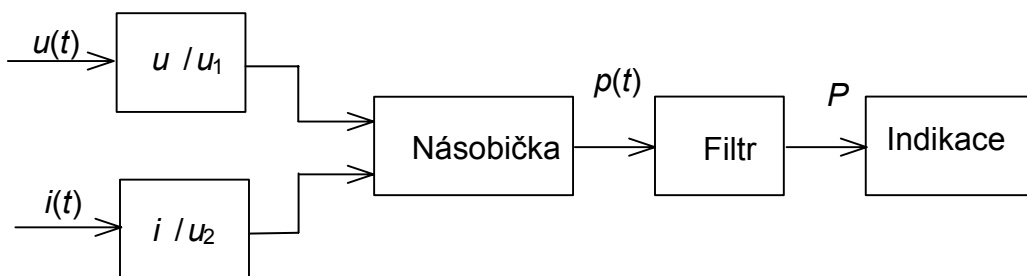
Řešení

- a) $f_a(2) = 4 \cos(0,5\pi \cdot 2 + 0,5\pi) = 4 \cos(1,5\pi) = 0$. **3 body**
(Hodnotí se pouze správnost číselného výsledku)
- b) $f_b(2) = \delta(2 + 4) = 0$. **3 body**
- c) $f_c(2) = -2\sigma(2 - 1) = -2\sigma(1) = -2$. **2 body**
- d) $f_d(2) = -2$. **2 body**

9 Měření v elektrotechnice

Nakreslete blokové schéma analogového elektronického průchozího wattmetru. Uveďte funkce jednotlivých bloků a jakými typy obvodů je lze realizovat.

Řešení



5 bodů

Základním obvodem elektronických wattmetrů je násobička, u přesných přístrojů obvykle s amplitudově šířkovou modulací, lze však použít i násobičku s Hallovou sondou.

2 body

Převod u/u_1 je nejčastěji proveden kmitočtově kompenzovaným odporovým děličem nebo měřicím transformátorem napětí. Pokud jsou místo rezistorů použity termočlánky, získáme zapojení vhodné pro měření výkonu vř proudů.

1 bod

Převod i/u_2 je obvykle realizován bočníkem nebo měřicím transformátorem, případně lze použít převodník s operačním zesilovačem.

1 bod

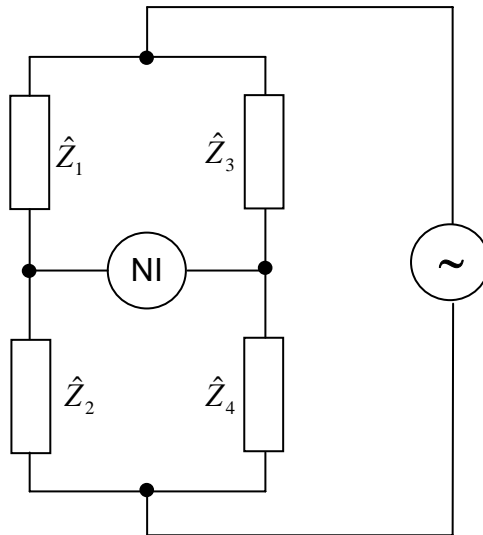
Střední hodnota je získána filtrem typu dolní propust.

1 bod

10 Měření v elektrotechnice

Nakreslete základní zapojení střídavých můstků Wheatstoneova typu a uveďte jejich podmínky rovnováhy.

Řešení



3 body

Podmínka rovnováhy $\hat{Z}_1 \cdot \hat{Z}_4 = \hat{Z}_2 \cdot \hat{Z}_3$, 2 body

kde $\hat{Z} = R + jX$. 1 bod

Oddělením reálných a imaginárních částí impedancí získáme dvě podmínky rovnováhy

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} [\hat{Z}_1 \cdot \hat{Z}_4] &= \operatorname{Re} [\hat{Z}_2 \cdot \hat{Z}_3], \\ \operatorname{Im} [\hat{Z}_1 \cdot \hat{Z}_4] &= \operatorname{Im} [\hat{Z}_2 \cdot \hat{Z}_3]. \end{aligned} \quad 1 \text{ bod}$$

Pokud zapíšeme impedance v exponenciálním tvaru, získáme komplexní podmínku rovnováhy

$$Z_1 \cdot Z_4 \cdot e^{j(\varphi_1 + \varphi_4)} = Z_2 \cdot Z_3 \cdot e^{j(\varphi_2 + \varphi_3)}, \quad 1 \text{ bod}$$

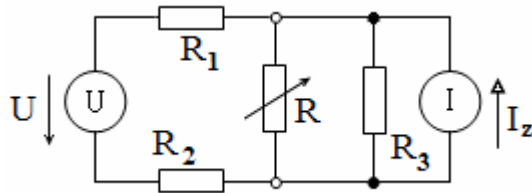
kterou můžeme rozepsat na dvě podmínky

$$\begin{aligned} Z_1 \cdot Z_4 &= Z_2 \cdot Z_3, \\ \varphi_1 + \varphi_4 &= \varphi_2 + \varphi_3. \end{aligned} \quad 2 \text{ body}$$

Pokud je v některé z podmínek rovnováhy zastoupen kmitočet, je můstek kmitočtově závislý a lze jej použít nejen k měření impedancí, ale také k měření kmitočtů.

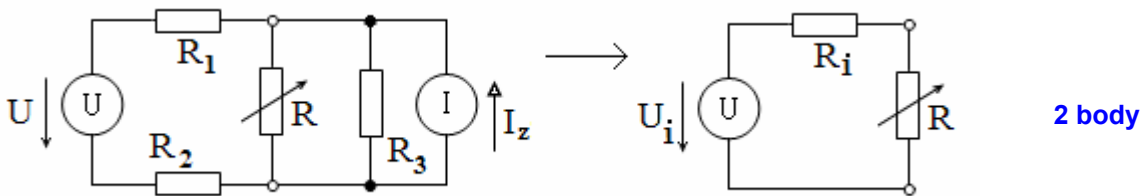
1 Elektrotechnika 1

Pomocí věty o náhradním zdroji vypočtete hodnotu rezistoru R tak, aby do něho byl ze zdroje dodáván maximální výkon. Vypočítejte pro tento případ napětí, proud a výkon rezistoru R .



$$\begin{aligned} R_1 &= R_2 = 5 \Omega \\ R_3 &= 10 \Omega \\ U &= 10 \text{ V} \\ I_z &= 1 \text{ A} \end{aligned}$$

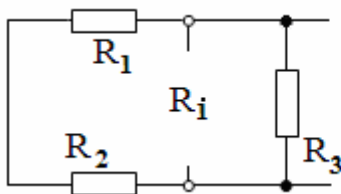
Řešení



2 body

Pro maximální přenos výkonu musí platit: $R = R_i$

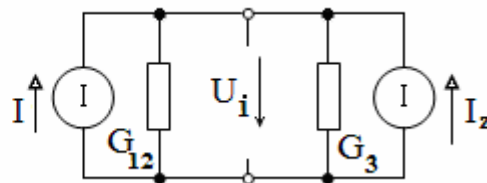
1 bod



$$R_i = \frac{R_3 \cdot (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3} = 5 \Omega$$

$$R = R_i = 5 \Omega$$

1 bod



$$I = \frac{U}{R_1 + R_2} = 1 \text{ A}, \quad G_{12} = \frac{1}{R_1 + R_2} = 0,1 \text{ S}$$

$$(G_{12} + G_3)U_i = I + I_z$$

$$U_i = \frac{I + I_z}{G_{12} + G_3} = \frac{2}{0,2} = 10 \text{ V}$$

3 body

$$I_R = \frac{U_i}{R + R_i} = \frac{10}{10} = 1 \text{ A}$$

$$U_R = R \cdot I_R = 5 \text{ V}$$

$$P_R = U_R \cdot I_R = 5 \text{ W}$$

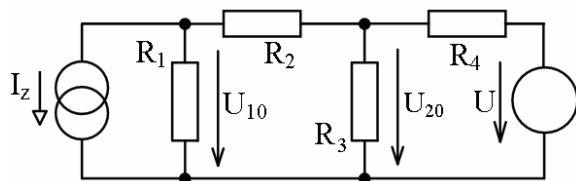
1 bod

1 bod

1 bod

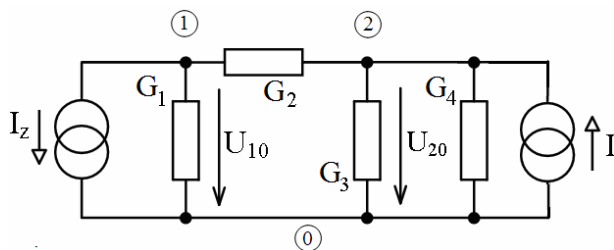
2 Elektrotechnika 1

Metodou uzlových napětí (MUN) vypočtete napětí U_{10} a U_{20} v uvedeném obvodu.



$$\begin{aligned} R_1 &= 2 \, \Omega, \quad R_2 = 1 \, \Omega \\ R_3 &= 1 \, \Omega, \quad R_4 = 0,5 \, \Omega \\ U &= 2 \, \text{V}, \quad I_z = 2 \, \text{A} \end{aligned}$$

Řešení



$$I = \frac{U}{R_4} = 4 \text{ A}$$

2 body

$$\begin{pmatrix} G_1 + G_2 & -G_2 \\ -G_2 & G_2 + G_3 + G_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_{10} \\ U_{20} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -I_z \\ I \end{pmatrix}$$

2 body

$$\begin{pmatrix} 1,5 & -1 \\ -1 & 4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_{10} \\ U_{20} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 \\ 4 \end{pmatrix}$$

1 bod

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1,5 & -1 \\ -1 & 4 \end{vmatrix} = 5 \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} -2 & -1 \\ 4 & 4 \end{vmatrix} = -4 \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} 1,5 & -2 \\ -1 & 4 \end{vmatrix} = 4$$

3 body

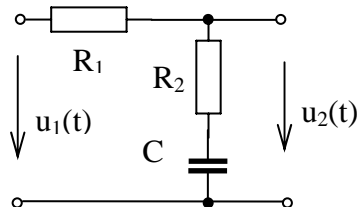
$$U_{10} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-4}{5} = -0,8 \text{ V} \quad U_{20} = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{4}{5} = 0,8 \text{ V}$$

2 body

(Pozn.: V případě jiné volby nezávislých uzlů, které **musí být v řešení vyznačené**, je třeba správné mezivýsledky s hodnotami odlišnými od vzorového řešení také adekvátně bodovat).

3 Elektrotechnika 2

Pro uvedený obvod odvodte obecný výraz pro obraz napětového přenosu $\mathbf{K}_U(p)$ a vyčíslete jej pro uvedené parametry obvodu. Vypočtete odezvu obvodu na jednotkový skok $h(t)$ v číselném tvaru a uveďte její hodnoty pro $t = 0$, $t = \infty$ (zpětnou inverzi obrazu $\mathbf{H}(p)$ proveďte pomocí Heavisideova vztahu).



$$\begin{aligned} C &= 5 \mu\text{F} \\ R_1 &= 1 \text{ k}\Omega \\ R_2 &= 3 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

Řešení

$$\mathbf{K}_U(p) = \frac{R_2 + \frac{1}{pC}}{R_1 + R_2 + \frac{1}{pC}} = \frac{pCR_2 + 1}{pC(R_1 + R_2) + 1} = \frac{1,5 \cdot 10^{-2} p + 1}{2 \cdot 10^{-2} p + 1} \quad \text{2 body}$$

$$\mathbf{H}(p) = \frac{\mathbf{K}_U(p)}{p} = \frac{1,5 \cdot 10^{-2} p + 1}{p(2 \cdot 10^{-2} p + 1)} \quad \text{1 bod}$$

Inverze obrazu:

$$\mathbf{H}(p) = \frac{1,5 \cdot 10^{-2} p + 1}{p(2 \cdot 10^{-2} p + 1)} = \frac{Q(p)}{P(p)}, \quad P'(p) = \frac{d}{dp} P(p) = 4 \cdot 10^{-2} p + 1 \quad \text{1 bod}$$

kořeny jmenovatele:

$$p(2 \cdot 10^{-2} p + 1) = 0 \Rightarrow p_1 = 0, \quad p_2 = -50 \quad \text{1 bod}$$

$$Q(p_1) = 1, \quad Q(p_2) = 0,25$$

$$P'(p_1) = 1, \quad P'(p_2) = -1 \quad \text{2 body}$$

odezva na jednotkový skok je

$$h(t) = L^{-1} \{ \mathbf{H}(p) \} = \frac{Q(p_1)}{P'(p_1)} e^{p_1 t} + \frac{Q(p_2)}{P'(p_2)} e^{p_2 t} = 1 - 0,25 e^{-50t} \quad \text{2 body}$$

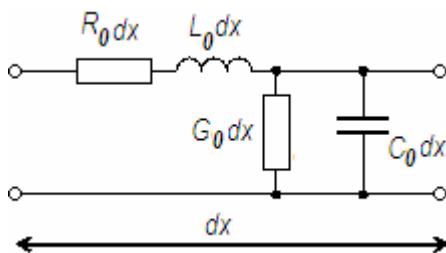
$$h(0) = 0,75, \quad h(\infty) = 1 \quad \text{1 bod}$$

4 Elektrotechnika 2

- a) Nakreslete náhradní schéma elementu vedení a charakterizujte jeho primární parametry.
 b) Vedení má uvedeny tyto parametry: $R_0 = 0$, $G_0 = 0$, $L_0 = 160$ nH/m, $C_0 = 100$ pF/m. Definujte sekundární parametry vedení Z_v a γ a vypočítejte je pro úhlový kmitočet $\omega = 10^7$ rad/s.
 c) Definujte činitel odrazu na konci vedení ρ_2 a uveďte jeho hodnoty pro vedení zakončené naprázdno a nakrátko.

Řešení

- a) Náhradní schéma elementu vedení



2 body

Primární parametry vedení:

měrná kapacita C_0 (F/m),
 měrná indukčnost L_0 (H/m),
 podélný měrný odpor R_0 (Ω /m),
 příčná měrná vodivost G_0 (S/m).

2 body

- b) Vlnová impedance

$$Z_v(\omega) = \sqrt{\frac{R_0 + j\omega L_0}{G_0 + j\omega C_0}} = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = \sqrt{\frac{160 \cdot 10^{-9}}{100 \cdot 10^{-12}}} = \sqrt{16 \cdot 10^2} = 40 \text{ } \Omega$$

2 body

Konstanta šíření $\gamma(\omega) = \sqrt{(R_0 + j\omega L_0)(G_0 + j\omega C_0)} = \beta + j\alpha$
 (β - měrný útlum, α - měrný posuv)

$$\gamma(\omega) = \sqrt{j\omega L_0 j\omega C_0} = j\omega \sqrt{L_0 \cdot C_0} = j10^7 \sqrt{160 \cdot 10^{-9} \cdot 100 \cdot 10^{-12}} = j10^7 \cdot 4 \cdot 10^{-9} = j4 \cdot 10^{-2} \text{ (1/m)}$$

2 body

- c) Činitel odrazu $\rho_2 = \frac{R_2 - R_v}{R_2 + R_v}$

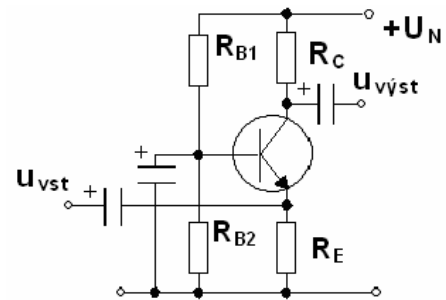
pro $R_2 = 0$ (Ω) $\rho_2 = -1$

pro $R_2 \rightarrow \infty$ (Ω) $\rho_2 = 1$

2 body

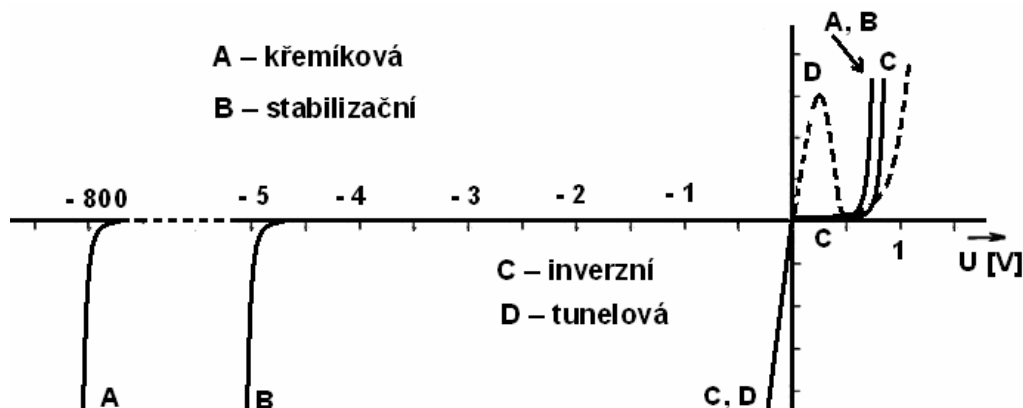
5 Elektronické součástky

- a) Jaká je funkce zapojení podle schématu?
Vysvětlete funkci odporů R_C a R_E .
Jak volíme proudy a napětí v obvodu pro jeho správnou činnost?
- b) Načrtněte do jednoho grafu charakteristik diod: usměrňovací křemíková dioda, stabilizační dioda ($U_Z = 5\text{ V}$), inverzní dioda, tunelová dioda.
- c) Stručně (!) vysvětlete pojem "rekombinace nosičů".
Jaký je její význam u polovodičových součástek?



Řešení

- a) Zapojení je zesilovač s bipolárním tranzistorem v zapojení se společnou bází (SB). **1 bod**
 R_C je zátěž zesilovače, R_E slouží k nastavení klidového proudu tranzistoru. Proud I_E je určen napětím nastaveným děličem na bázi tranzistoru a velikostí odporu R_E takto:
 $I_E = (U_B - U_{BE}) / R_E$. **1 bod**
 Proud $I_E = (U_B - U_{BE}) / R_E = I_C$ nastavíme tak, aby $U_{RC} \geq 1/3 U_N$. Odporů volíme $R_E \leq R_C$. Napětí U_B nastavíme děličem R_{B1}, R_{B2} na $U_B = U_N \cdot R_{B2} / (R_{B1} + R_{B2})$. **2 body**
- b)



4 body

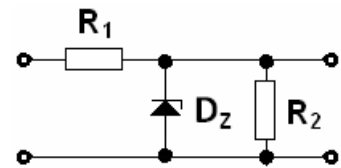
- c) Rekombinací nosičů se obnovuje tepelná rovnováha v polovodiči. Rychlost rekombinace závisí na typu polovodiče a na koncentraci nečistot a poruch, které se chovají jako rekombinační centra. Rekombinace je nežádoucí například u solárních článků, kde výrazně snižuje celkovou účinnost a u vysokonapěťových součástek, kde zhoršuje závěrné vlastnosti. U rychlých bipolárních součástek záměrně zavádíme rekombinační centra pro potlačení akumulace nosičů a zrychlení procesu vypnutí. **2 body**

6 Elektronické součástky

- a) Jaká je funkce zapojení podle schématu?

Vysvětlete funkci odporů R_1 a R_2 .

Jak volíme proudy a napětí v obvodu pro jeho správnou činnost? Polaritu napětí a proudů vyznačte do schématu.



- b) Vysvětlete pojem Lavinová dioda. Jaké je použití lavinových diod?

- c) Uveďte alespoň dva rozdíly mezi tranzistorem MOSFET a tranzistorem IGBT.

Řešení

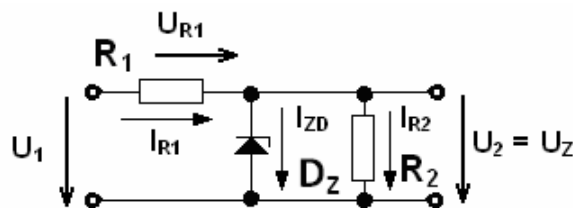
- a) Zapojení je stabilizátor se stabilizační diodou.

1 bod

R_2 je zátěž stabilizátoru. R_1 má funkci proudového zdroje pro napájení stabilizační diody a zátěže. Jeho velikostí se nastaví součet proudů do zátěže a stabilizační diody.

2 body

Při kolísání vstupního napětí proudový odběr stabilizátoru nastavíme pomocí odporu R_1 takto: při minimálním vstupním napětí $U_1 = U_{\min}$ musí být zaručeno že proud stabilizační diodou nepoklesne pod přibližně $0,1 I_{DZ\max}$: $R_1 \leq (U_{\min} - U_Z) / (0,1 I_{DZ\max} + I_{R2})$, kde $I_{R2} = U_Z / R_2$, při maximálním vstupním napětí $U_1 = U_{\max}$ nesmí být překročen maximální proud diody $I_{DZ\max}$. Z této podmínky vychází $R_1 \geq (U_{\max} - U_Z) / (I_{DZ\max} + I_{R2})$, kde $I_{R2} = U_Z / R_2$.



3 body

- b) Pro lavinové diody je charakteristické rovnoměrné rozložení proudové hustoty proudu na přechodu PN. Dosáhne se toho pomocí vhodné geometrie přechodu a použitím velmi kvalitního homogenního materiálu - bez poruch a nečistot. Lavinová dioda je proto schopná snášet velký závěrný proud bez nebezpečí tepelného průrazu. Typické použití je proto v některých typech usměrňovačů a v impulsních obvodech kde dochází k namáhání diody závěrnými proudy. Další použití je v optoelektronice – lavinová fotodiody pracující v oblasti lavinového průrazu má ve srovnání s běžnou fotodiódou mnohem větší citlivost.

2 body

- c) 1. Při velkém závěrném napětí není **MOSFET** schopen pracovat s velkým proudem, tranzistor **IGBT** ano.

2. V sepnutém stavu je napětí U_{DSON} na **IGBT** vždy větší než 1 V a to i při velmi malém proudu, napětí v sepnutém stavu U_{DSON} na **MOSFET** může být menší než 0,1 V.

3. Mezní kmitočet spínání u **MOSFET** je prakticky omezen pouze parazitními kapacitami. Mezní kmitočet spínání u **IGBT** je omezen vypínáním PNP tranzistoru ve struktuře IGBT. Mezní kmitočet spínání IGBT lze zvýšit pomocí rekombinačních center za cenu zvýšení napětí v sepnutém stavu. Maximální kmitočet je proto omezen přibližně na 50 kHz (80 kHz v rezonančních obvodech).

2 body

7 Signály, soustavy, systémy

Diskrétní Fourierova řada. Periodická posloupnost má periodu $N = 4$. Prvek $S(3)$ obrazu je dán vztahem:

$$S(3) = 2 \exp(-j0,2\pi).$$

- a) Jaká je hodnota $S(-3)$?
- b) Jaká je hodnota $S(1)$?
- c) Jaká je hodnota $S(403)$? (Pomůcka: $403 = 100 \times 4 + 3$)
- d) Jaká je hodnota $|S(3)|$?

Pomůcka:
$$S(k) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) \exp\left(-j \frac{2\pi}{N} kn\right).$$

Řešení

a) $S(-3) = S^*(3) = 2 \exp(+j0,2\pi)$ **3 body**

b) $S(1) = S^*(4-1) = S^*(3) = 2 \exp(+j0,2\pi)$ **2 body**

c) $S(403) = S(3) = 2 \exp(-j0,2\pi)$ **2 body**

d) $|S(3)| = |2 \exp(-j0,2\pi)| = 2$ **3 body**

8 Signály, soustavy, systémy

Potřebujeme digitalizovat analogový signál

$$s(t) = 3 \cos 50\pi t + 10 \sin 300\pi t + \cos 100\pi t .$$

Určete kmitočty jednotlivých složek a stanovte podmínku pro vzorkovací kmitočet f_{vz} tak, aby nedošlo k aliasingu.

Řešení

Kmitočty jednotlivých složek $\omega_1 = 50\pi$ $\omega_2 = 300\pi$ $\omega_3 = 100\pi$ **3 body**

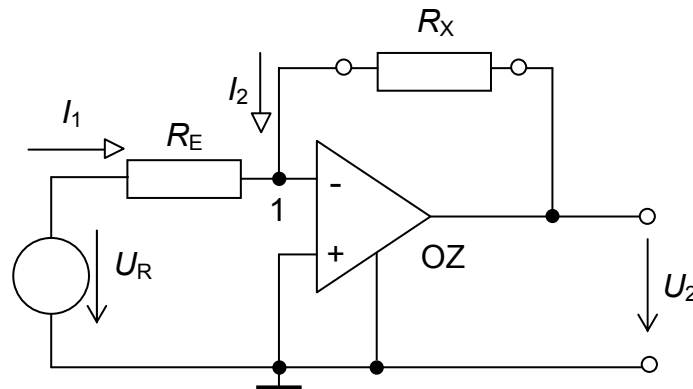
Nejvyšší kmitočet v signálu $\omega_m = 2\pi f_m = 300\pi$
 $f_m = 150 \text{ Hz}$ **3 body**

Podmínka pro vzorkování $f_{vz} \geq 2 f_m$
 $f_{vz} \geq 2 \cdot 150 = 300 \text{ Hz}$ **4 body**

9 Měření v elektrotechnice

Nakreslete schéma převodníku odpor-napětí R/U a odvoďte převodní vztah.

Řešení



4 body

$$I_1 + I_2 = \frac{U_R}{R_E} + \frac{U_2}{R_X} = 0$$

3 body

$$R_X = -\frac{R_E}{U_R} \cdot U_2 \Rightarrow U_2 = -\frac{R_X}{R_E} \cdot U_R$$

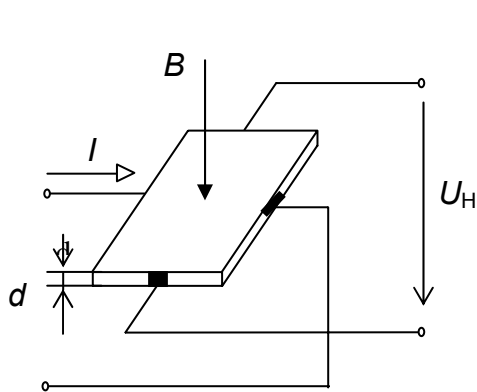
3 body

10 Měření v elektrotechnice

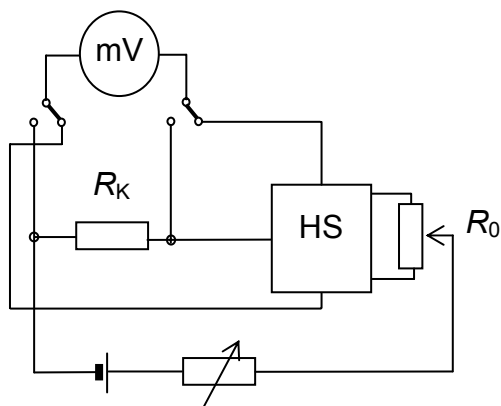
Nakreslete Hallovu sondu a její zapojení pro měření indukce magnetického pole. Uveďte vztah pro Hallovo napětí.

Řešení

Hallův jev se projevuje výrazně hlavně u polovodičů (Ge, In-As, In-Sb, Ga-As).



4 body



4 body

Hallovo napětí

$$u_H = \frac{R_H \cdot I}{d} \cdot B \quad (\text{V}),$$

2 body

- R_H Hallova konstanta ($\text{C}^{-1} \cdot \text{m}^3$),
 I proud procházející destičkou (A),
 B indukce magnetického pole (T),
 d tloušťka destičky (m).