

Základy elektroniky

kap.8a

Vybrané elektronické obvody

Linus Michaeli

1

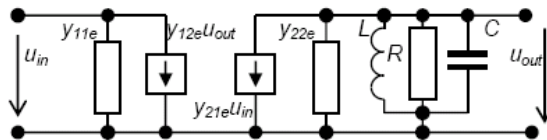
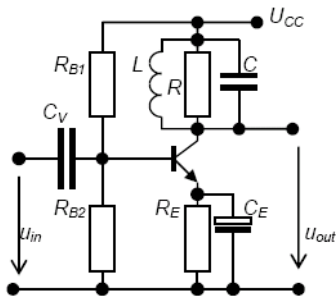
8.1 Ladené zosilňovače

Zvyšovanie zosilnenia $A \Rightarrow$ nárastom šumu na výstupe, citlivosť na externé rušiacie signály prenikajúce cez väzobné impedancie (kapacitná väzba) a možnosti vytvárania parazitných väzieb ohrozujúcich jeho stabilitu.

Nepriaznivé javy sa dajú potlačiť zúžením frekvenčného pásma Δf spracovávaného signálu.

$$A \cdot \Delta f = \text{Konšt.}$$

Veľkosť konštanty sa dá zvýšiť zvýšeným úsilím pri návrhu zapojenia, sofistikovanejšou technológiou, spojené s vyššími investíciami a vyšším ľudským potenciálom



Každý z y-parametrov možno vyjadriť rozkladom do Taylorového radu

$$y = g + j\omega_0 C + j(\omega - \omega_0) c' \quad c' = \left. \frac{\partial \text{Im}\{y\}}{\partial \omega} \right|_{\omega=\omega_0}$$

Potom

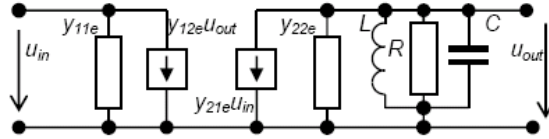
$$y_{22e} = g_{22e} + j\omega_0 C_{22e} + j(\omega - \omega_0) c'_{22e}$$

2

8.1 Ladené zosilňovače

Zosilnenie

$$A_u(\omega) = \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{-y_{21e}}{y_{22e} + j\omega C + \frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L}}$$



$$A_u(\omega) = \frac{-y_{21e}}{g_{22e} + j\omega(C + c_{22e}) + j\omega_0(c_{22e} - c'_{22e}) + \frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L}}$$

Stred frekvenčného pásma určený podmienkou nulovej imaginárnej časti menovateľa

Zosilnenia pri tej frekvencii

$$\omega_0(C + c_{22e}) = \frac{1}{\omega_0 L} \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L(C + c_{22e})}}$$

$$|A_u(\omega_0)| = A_0 = \frac{y_{21e}}{g_{22e} + \frac{1}{R}}$$

Šírka frekvenčného pásma $BW = 2\Delta\omega$.

Predpoklad $\Delta\omega = \omega - \omega_0 \ll \omega_0$ platí

$$A_u(\omega) = \frac{-y_{21e}}{g_{22e} + \frac{1}{R} + j(\Delta\omega + \omega_0)(C + c_{22e}) + \frac{1}{j(\Delta\omega + \omega_0)L}} \approx \frac{1}{j(\Delta\omega + \omega_0)L} \equiv j(\Delta\omega - \omega_0)(C + c_{22e})$$

Potom zosilnenie

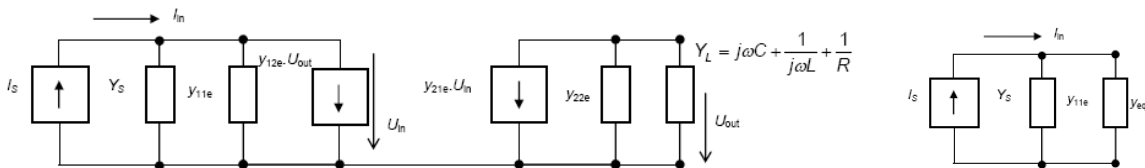
a šírka frekvenčného pásma s pokleom o 3 dB je

$$A_u(\omega) = \frac{-y_{21e}}{g_{22e} + \frac{1}{R} + j\Delta\omega(2C + c_{22e} + c'_{22e})}$$

$$\Delta\omega = \pm \frac{g_{22e} + \frac{1}{R}}{2C + c_{22e} + c'_{22e}} \Rightarrow \omega_2 - \omega_1 = \Delta\omega = BW = \frac{g_{22e} + \frac{1}{R}}{C + \frac{(c_{22e} + c'_{22e})}{2}}$$

8.1 Frekvenčná stabilita ladeného zosilňovača

Vstupná admitancia môže ovplyvniť frekvenčnú stabilitu



Výstupné napätie od vstupného

Ním vyvolaný prúd na vstupných svorkách

Náhrada ekv. vodivosťou

$$U_{out} = \frac{-y_{21e} U_{in}}{y_{22e} + Y_L}$$

$$I_a = \frac{-y_{21e} U_{in}}{y_{22e} + Y_L} y_{12e}$$

$$y_{eq} = \frac{-y_{21e} y_{12e}}{y_{22e} + Y_L} = \frac{I_a}{U_{in}}$$

Pre frekvencie $\omega < \omega_0$ reálna časť vstupnej impedancie je záporná ak spätnoväzobný činiteľ y_{12e} je reaktívny a dopredná vodivosť $y_{21e} = g_{21e}$ je aktívna.

$$y_{eq} = \frac{j\omega C_{12e} g_{21e}}{g_{22e} + \frac{1}{R} - j \left[\frac{1}{j\omega L} - \omega(C + c_{22e}) + \omega_0(c_{22e} - C_{0e}) \right]}$$

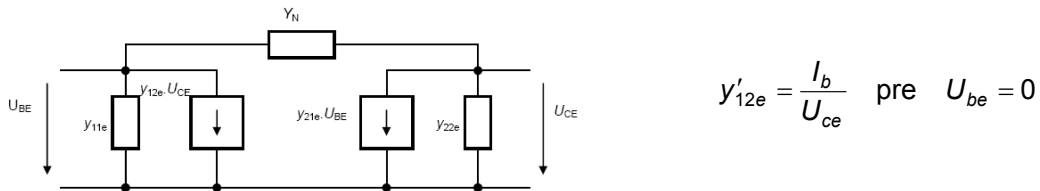
$$y_{eq} = \frac{j\omega C_{12e} g_{21e}}{G_A - jB} = \left| \frac{kde}{G_A, B > 0} \right| = \frac{-\omega C_{12e} g_{21e} B}{G_A^2 + B^2} + \frac{j\omega C_{12e} g_{21e} G_A}{G_A^2 + B^2}$$

Môže viesť k autoosciláciám lebo $(y_{11e} + y_{eq})$ môže byť záporná

$$U_{in} = \frac{I_S}{Y_S + y_{11e} + y_{eq}} = \frac{I_S}{G_D + jB_D}$$

8.1 Neutralizácia

Nepriaznivá spätná väzba vnesená vodivosťou y_{12e} a impedanciou záťaže Y_L môže byť potlačená prídavným spätnoväzobným signálom rovnakej veľkosti a opačného znamienka.

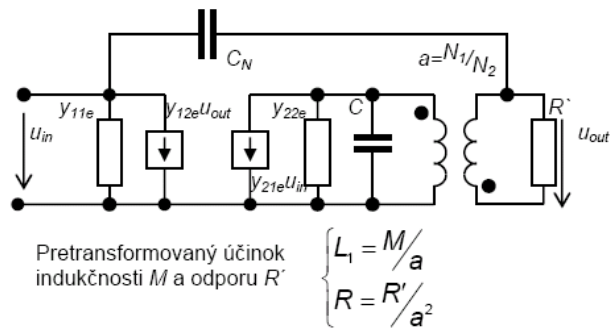


Hodnota vstupného prúdu a z toho vyplývajúcej spätnoväzobnej admitancie je

$$I_b = y'_{12e} U_{ce} - Y_N U_{ce} \Rightarrow y'_{12e} = y_{12e} - Y_N$$

Hodnota admitancie, ktorá neutralizuje prienik signálu z výstupu na vstup je

$$Y_N = y_{12e} = -j\omega C_{12e}$$



5

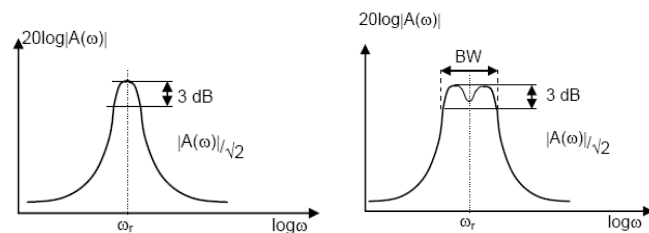
8.1 Mnohostupňové ladené zosilňovače

Prenosová funkcia viazaného rezonančného obvodu

$$A_U = \frac{-g_{21e} / C_a}{(j\omega - p_1)(j\omega - p_2)}$$

$$p_1, p_2 = -\frac{1}{R_a C_a} \pm \sqrt{\left(\frac{1}{R_a C_a}\right)^2 - \frac{1}{LC_a}} = -\alpha + j\beta;$$

$$\alpha = \frac{1}{2R_a C_a}; \omega_0^2 = \frac{1}{LC_a}; \beta^2 = \omega_0^2 - \alpha^2$$



6

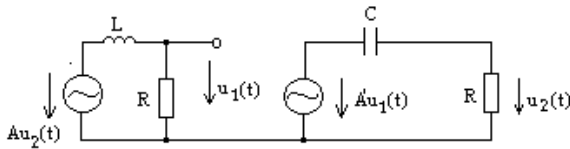
8.2 Oscilátory

Hlavnými princípmi používanými pre generovanie signálov sú:

- Zosilňovač s kladnou spätnou väzbou v spínacom režime (preklápacie obvody)
- Zosilňovač s kladnou spätnou väzbou s premenným zosilnením pri malom skreslení (LC a RC oscilátory)
- Syntetické vytváranie signálov a následná transformácia na harmonický signál pomocou nelineárneho tvarovacieho obvodu (trojuholníkový priebeh na harmonický).
- Zapamätané údaje v pamäti a ich následný prevod na analógovú hodnotu v číslicovo-analógovom prevodníku.

Harmonické skreslenie

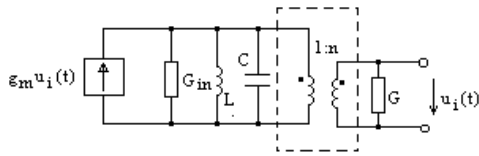
$$k = \frac{\sqrt{U_{2har}^2 + U_{3har}^2 + \dots}}{U_{1har}}$$



Podmienky pre vznik oscilácií

$$\operatorname{Re}\{A_U(\omega_0)\beta(\omega_0)\} = 1; \quad \operatorname{Im}\{A_U(\omega_0)\beta(\omega_0)\} = 0 + k \cdot 2\pi$$

$$A_L(p) = \frac{A^2 \left(\frac{R}{L}\right) p}{\left(\frac{R}{L} + p\right) \left(\frac{1}{RC} + p\right)}$$

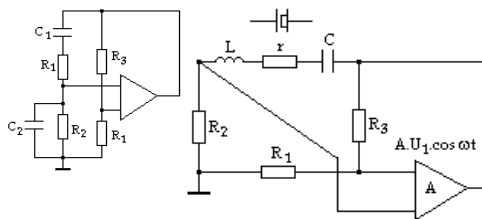


$$A_L(p) = \frac{g_n n (2\alpha p)}{p^2 + 2\alpha p + \omega_0^2} \quad \omega_0 = \frac{+1}{\sqrt{LC}} \quad \alpha = \frac{G_T}{C}$$

7

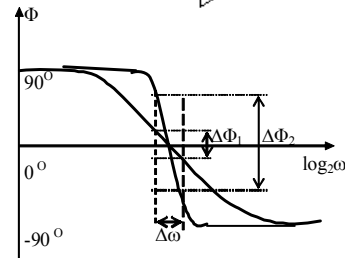
8.2 Oscilátory

Wienov mostík



Frekvenčná stabilita

$$S_F = \frac{\Delta\phi}{\Delta\omega / \omega_0} \cong \omega_0 \left. \frac{d\phi}{d\omega} \right|_{\omega = \omega_0} \quad \Delta\omega = -\frac{\omega_0 \Delta\phi}{S_F}$$



Priame zmeny frekvencie spôsobené zmenami parametrov priamo určujúcich rezonančný kmitočet napr. L, C v rezonančnom obvode

Nepriame zmeny frekvencie sú výsledkom parazitných reaktancií, ktoré spôsobia dodatočné póly a nuly s neznámou polohou. Mnohé z nich sú funkciou teploty a zmien napájacieho napätia. (napr. výstupná kapacita tranzistora...)

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{1}{\omega_0} \left(\frac{\delta\omega_0}{\delta L} \Delta L + \frac{\delta\omega_0}{\delta C} \Delta C \right) = \left| \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \right| = -\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta C}{C} \right)$$

8

8.1 Neutralizácia

9

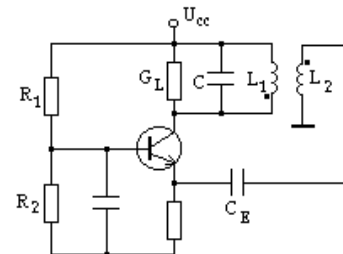
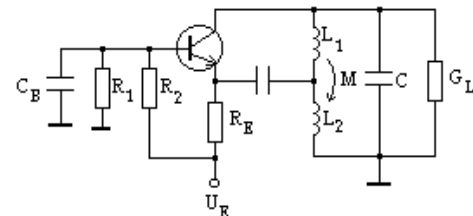
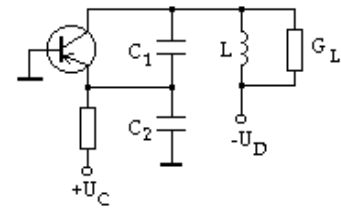
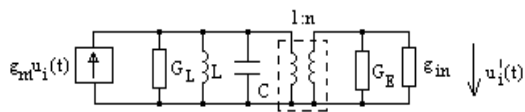
Samoobmedzujúci jednotranzistorový oscilátor

- Kapacitného deliča (Colpittsov oscilátor - ekvivalentné pôsobenie ako pri transformátore)
- Induktívneho deliča (Hartleyov oscilátor-autotransformátor)
- Sekundárom transformátora

Analyzujte:

1. Nastavenie pracovného bodu
2. Signálová náhradná schéma
3. Bloky určujúce vznik oscilácií
4. Mechanizmus stabilizácie ampl.
5. Možná frekvenčná stabilita

Spoločná náhradná schéma



Oscilátory riadené kryštálom

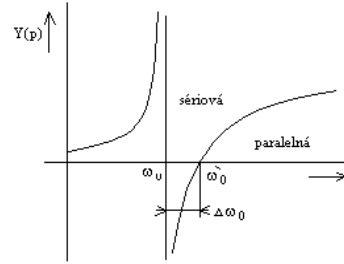
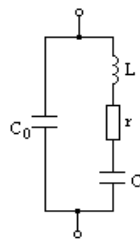
Admitancia kryštálu

$$Y(p) = \frac{pC_0 \left[p^2 + p \frac{r}{L} + \left(1 + \frac{C}{C_0} \right) \omega_0^2 \right]}{p^2 + p \frac{r}{L} + \omega_0^2}$$

Sériová a paralelná rezonancia

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}; Q_L = \frac{\omega_0 L}{r}$$

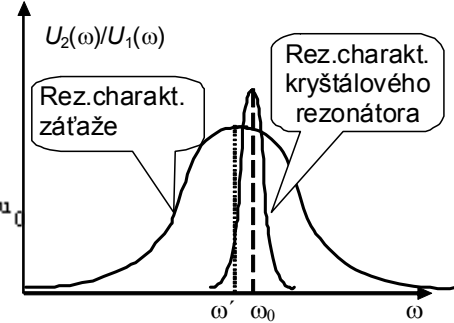
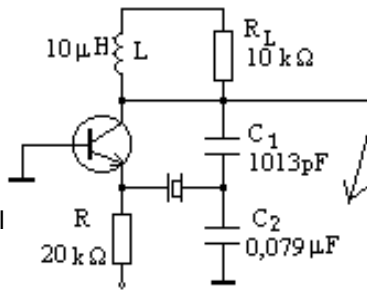
$$\Delta\omega = \omega_0 \frac{C_0 + C}{C_0} - \omega_0 = \omega_0 C / C_0$$



Trojbodové zapojenie s kryštálom stabilizovanou frekvenciou

Analýzujte:

1. Nastavenie pracovného bodu
2. Signálová náhradná schéma
3. Bloky určujúce vznik oscilácií
4. Mechanizmus stabilizácie ampl
5. Možná frekvenčná stabilita

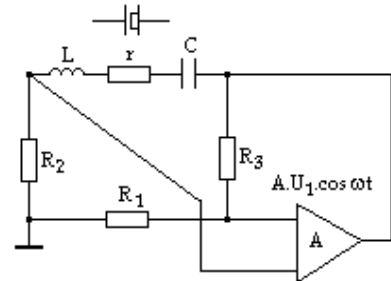
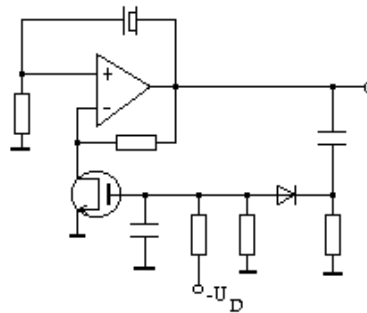


Mostíkové oscilátory

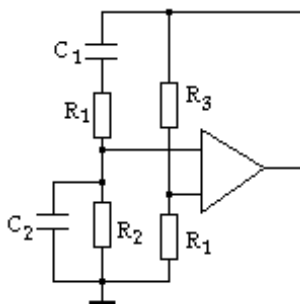
Meachamov mostík

Analýzujte:

1. Nastavenie pracovného bodu
2. Signálová náhradná schéma
3. Bloky určujúce vznik oscilácií
4. Mechanizmus stabilizácie ampl.
5. Možná frekvenčná stabilita



Wienov mostík

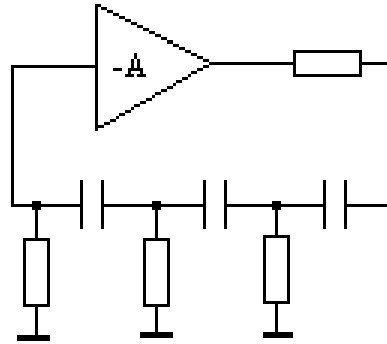


$$A_L(p) = \frac{R_1 A}{R_1 + R_3} \cdot \frac{p^2 + p \left(\frac{1}{R_4 C_4} + \frac{1}{R_2 C_2} - \frac{R_3}{R_1 R_4 C_2} \right) + \frac{1}{R_4 R_2 C_2 C_4}}{p^2 + p \left(\frac{1}{R_4 C_4} + \frac{1}{R_2 C_2} + \frac{1}{R_4 C_2} \right) + \frac{1}{R_4 R_2 C_2 C_4}}$$

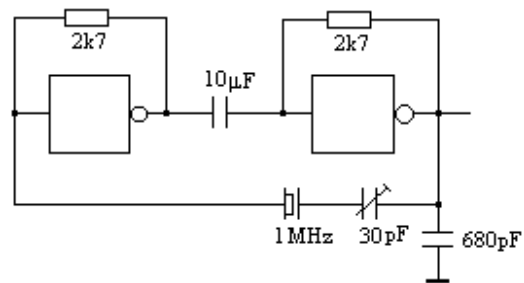
RC oscilátory

Analyzujte:

1. Nastavenie pracovného bodu
2. Signálová náhradná schéma
3. Bloky určujúce vznik oscilácií
4. Mechanizmus stabilizácie ampl.
5. Možná frekvenčná stabilita



Použitie NAND hradla ako zosilňovača vďaka hodnote odporu v spätnej väzbe



13

Výkonové zosilňovače

- Servo zosilňovače pohon JS motorov a mechanických aktuátorov alebo ST motorov riedenných napr. frekvenčne
- Lineárne zosilňovače ktoré majú malé skreslenie THD a Intermodulačné skreslenie
- Širokopásmové zosilňovače pre veľké výkony. Šírka pásma na úkor účinnosti, skreslenia a pod.
- VF zosilňovače využívajú radio frekvenčné pásmo vyladené na želaný frekvenčný rozsah.
- Audio výkonové zosilňovače. Požiadavka na minimálne THD
- Špeciálne typy výkonových zosilňovačov Operračné zosilňovače s veľkým výstupným výkonom

14

Väzba na záťaž

- RC väzba
- LC väzba
- Priama väzba
- Transformátorová väzba

Frekvenčný rozsah:

- DC – maximálna požadovaná frekvencia
- Dolná medzná akustická frekvencia 20 Hz – maximálna akustická frekvencia 20 kHz
- Do MHz špecifický obvodový návrh
- Niekoľko 100 MHz, ťažké použiť diskkrétne prvky

15

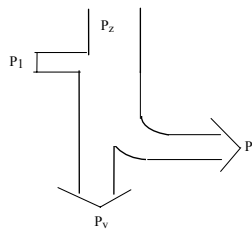
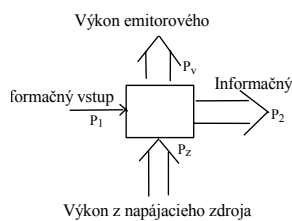
Základné charakteristiky

Požiadavky na výkonové stupňe

- malá výstupná a veľká vstupná impedancia
- veľké výstupné napätie a (alebo) veľký výstupný prúd
- malá spotreba (vysoká účinnosť)
- odolnosť voči skratu

Účinnosť

$$\eta = \frac{P_2}{P_1 + P_z} \cong \frac{P_2}{P_z}$$



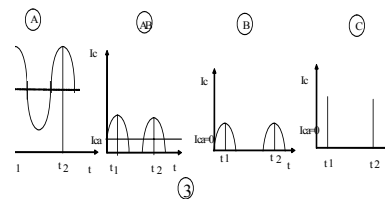
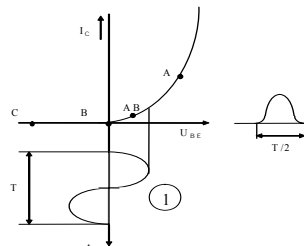
Skreslenie

Koeficient harmonického skreslenia

$$k = \frac{\sqrt{\sum_{i=2} U_{ef}^2(i)}}{U_{ef}(1)}$$

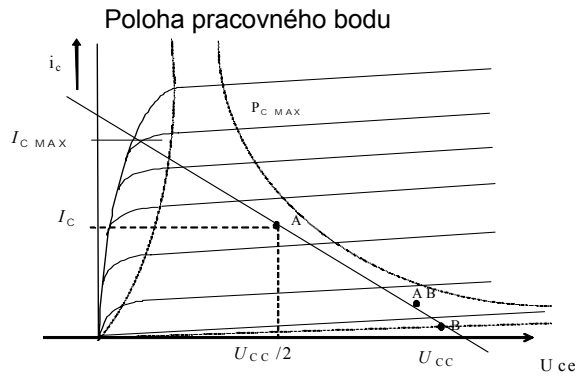
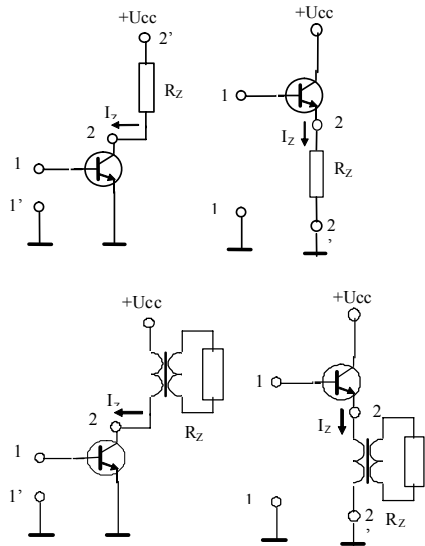
Podľa princípu činnosti sa rozlišujú spojité (tr. A, B, BC, C) zosilňovače (poloha prac. bodu)

a nespojitý (tr.D), spínacie koncové stupne.



16

Zosilňovače tr.A, AB



Výkon signálu

$$P_{amax} = \frac{U_{cc} I_c}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{2}} = \frac{U_{cc} I_c}{4} = \frac{U_{cc}^2}{8 R_c}$$

Účinnosť pri odporovej záťaži

$$\eta = \frac{P_{amax}}{P} 100\% = \frac{U_{cc} I_c}{4 U_{cc} I_c} 100\% = 25\%$$

Výkon odoberaný zo zdroja

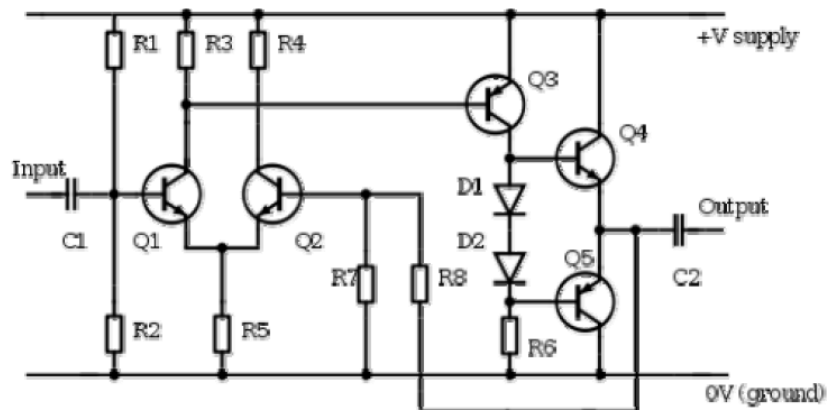
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T U_{cc} (I_c + i_{cm} \sin \omega t) dt = U_{cc} I_c$$

Pri transformátorom oddelenej záťaži sa zvýši amplitúda napätia na primári na hodnotu U_{cc} . Za predpokladu $N_1/N_2=1$ Účinnosť bude dvojnásobná 50%.

Pre menší budiaci signál účinnosť sa zníži.

17

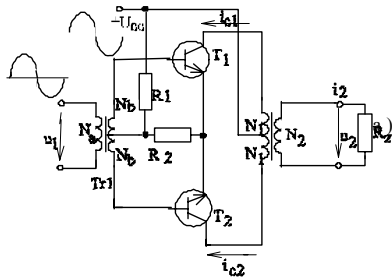
Zosilňovače tr.B



18

Dvočinné zosilňovače tr.B

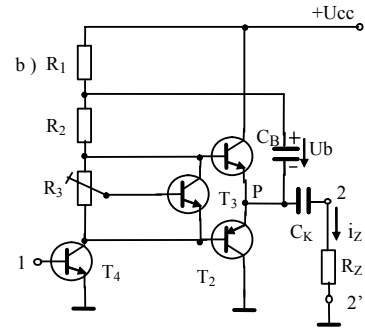
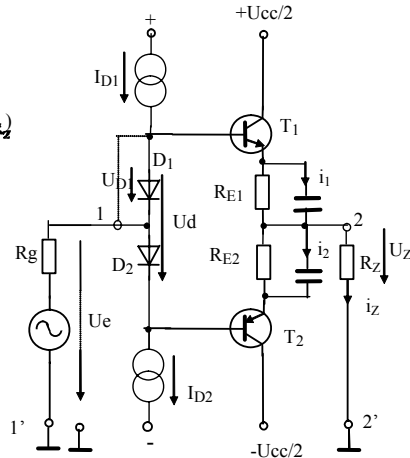
Transformátorová väzba



Výkon signálu

$$P_{a\max} = \frac{U_{cc} I_c}{2 \cdot \sqrt{2} \sqrt{2}} = \frac{U_{cc}^2}{4 R_c}$$

Komplementárna dvojica



Výkon odoberaný zo zdroja počas

$$P = \frac{U_{cc} I_{str1}}{2} + \frac{U_{cc} I_{str2}}{2} = 2 \frac{U_{cc} I_c}{2 \pi}$$

Výsledná účinnosť nemenná pre ľubovoľný signál na vstupe

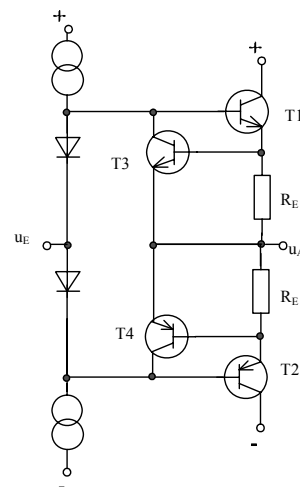
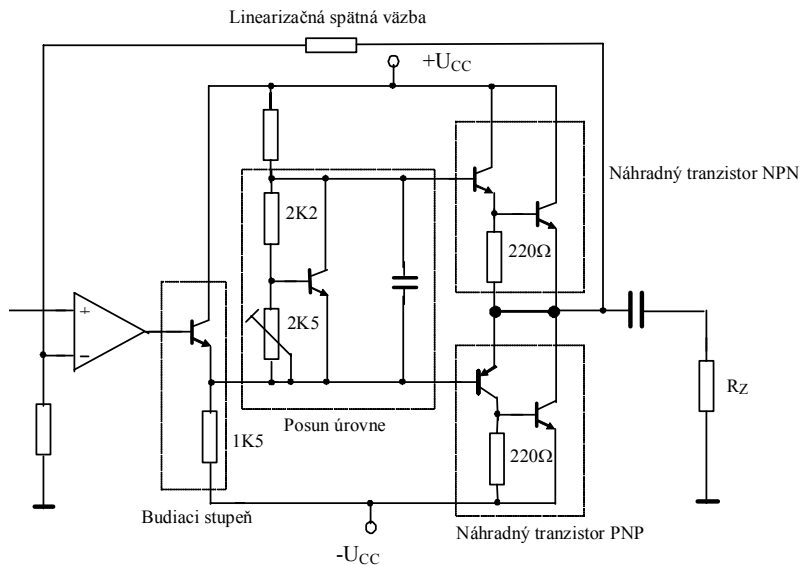
$$\eta = \frac{P_{a\max}}{P} 100\% = \pi \frac{U_{cc} I_c}{U_{cc} I_c} 100\% = 78,5\%$$

19

Dvočinné zosilňovače tr.B

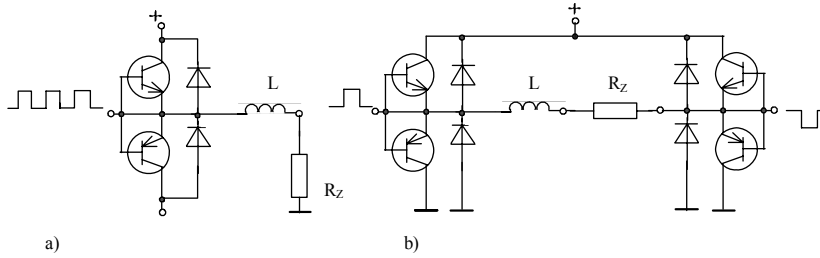
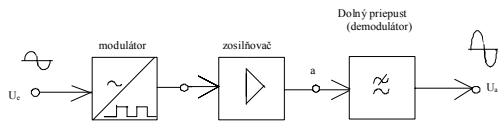
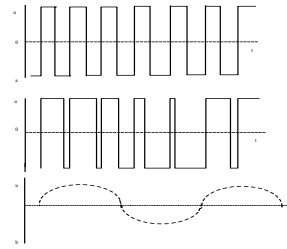
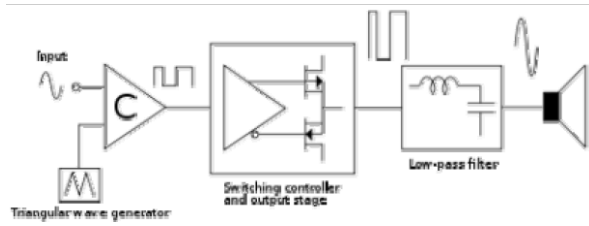
Kvazikomplementárna dvojica TDA2020

Prúdové obmedzenie



20

Zosilňovače tr.D



Účinnosť: Výkon zo zdroja znížený len o straty v spínačoch. Pre rýchle tranzistory $P_{spinač}=0$

$$\eta = \frac{P_{amax}}{P} 100\% = \frac{P - P_{spinač}}{P} 100\% \leq 100\%$$

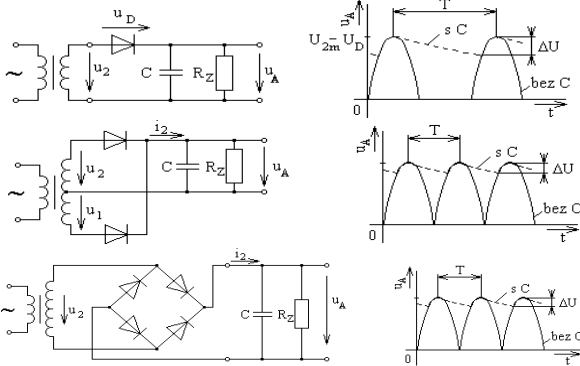
21

8.1 Neutralizácia

Druhy zdrojov

1. Sieťové zdroje (Vstup striedavé napätie - Výstup jednosmerné napätie)
2. Striedače (Vstup-jednosmerné napätie; Výstup-striedavé napätie)
3. Transformátor (Vstup a výstup striedavé napätie)
4. Jednosmerný menič (Vstup a výstup jednosmerné napätie)

$$N_1 = \frac{U_{1ef}}{4,44 \cdot f \cdot S B_{\max}}$$



Zvlnenie

$$\Delta U \cong \frac{\Delta Q}{C} \cong \frac{T U_{AS}}{C R_Z}$$

Objem transformátora

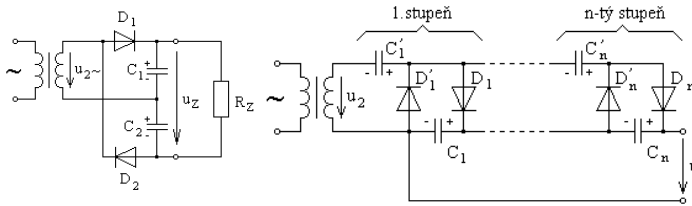
$$P = V_T w_E \cdot f; \Rightarrow V_T = \frac{P}{w_E \cdot f}$$

$$w_E = \frac{B_{\max} H}{2} = \frac{B_{\max} N I}{2 R_{mg}}$$

Tendencia:

- zvyšovať frekvenciu na vstupe meničom
- jadro s vyšším syténím a nižším mg odporom.
- Väčší kondenzátor alebo ten istý pri vyššej frekvencii

Zdvojovač napätia a napätový násobič

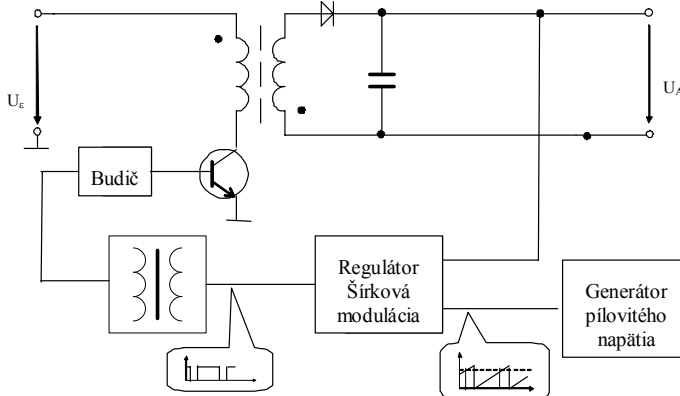


23

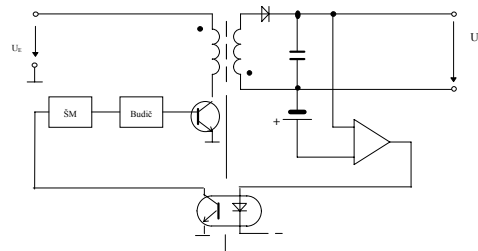
Spínacie sieťové zdroje

Výhodou je aj použitie spínacej frekvencie v pásme nad 50 kHz, ktorá zníži nároky na vyhladzovací filter a objem oddeľovacieho transformátora.

Využitie šírkovkej modulácie na stabilizáciu výstupného napätia.



Využitie šírkovkej modulácie cez optoizolátor



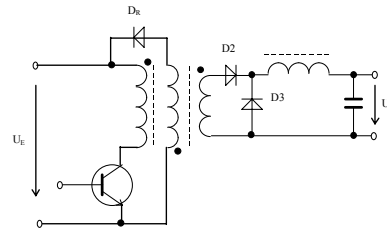
24

Priepustný menič

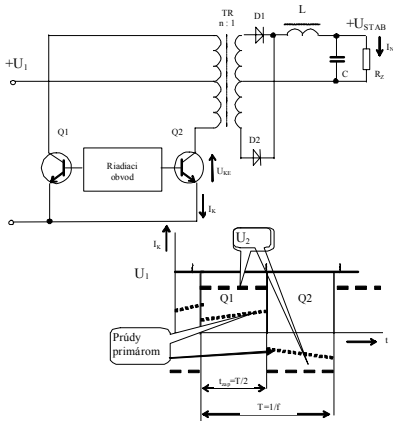
Šírková modulácia ako prostriedok na reguláciu výstupného jednosmerného napätia.

Budiaci prúd musí byť v nenasýtenej oblasti magnetického jadra transformátora

Priepustný menič



- 1.) t_p – tranz.otv.
- 2.) $U_E = L_1 \frac{di_1}{dt} \Rightarrow i_1, i_2 \dots$ lineárne rastie, $\frac{i_2}{i_1} = \frac{n_3}{n_1}$
nabíjanie C_2
- 3.) $T - t_p$ – tranz.zatv.
- 4.) $i_2 \dots$ lineárne klesá, vybijanie magnetickej en.



Dvojčinný menič

Pomer výstupného napätia k vstupnému daný závitovým pomerom. Počas jednej polperiódy nesmie dôjsť k magnetickému nasýteniu jadra.

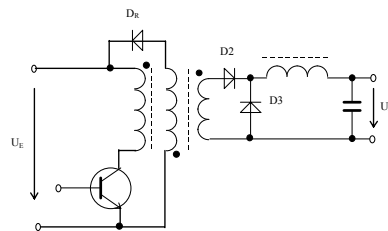
25

Menič JS napätia na striedavé Invertor

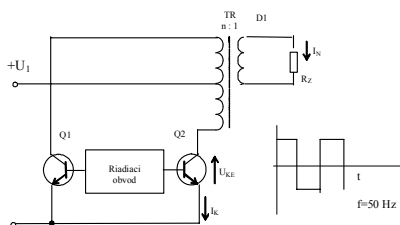
Šírková modulácia ako prostriedok na reguláciu výstupného jednosmerného napätia.

Budiaci prúd musí byť v nenasýtenej oblasti magnetického jadra transformátora

Priepustný menič



- 1.) t_p – tranz.otv.
- 2.) $U_E = L_1 \frac{di_1}{dt} \Rightarrow i_1, i_2 \dots$ lineárne rastie, $\frac{i_2}{i_1} = \frac{n_3}{n_1}$
nabíjanie C_2
- 3.) $T - t_p$ – tranz.zatv.
- 4.) $i_2 \dots$ lineárne klesá, vybijanie magnetickej en.



Dvojčinný menič

Pomer výstupného napätia k vstupnému daný závitovým pomerom. Počas jednej polperiódy nesmie dôjsť k magnetickému nasýteniu jadra.

26

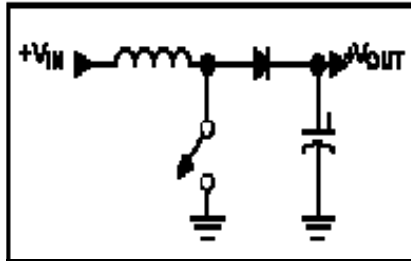
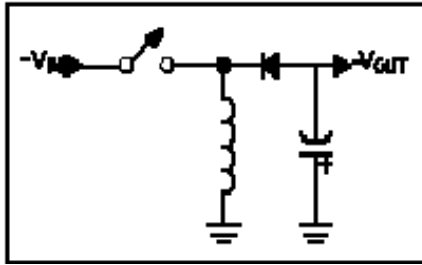
Meniče bez transformátora

Šírková modulácia ako prostriedok na reguláciu výstupného jednosmerného napätia.

Náhrada trasformátora nabíjacou indukčnosťou

S inverziou vstupného napätia

Bez inverzie vstupného napätia

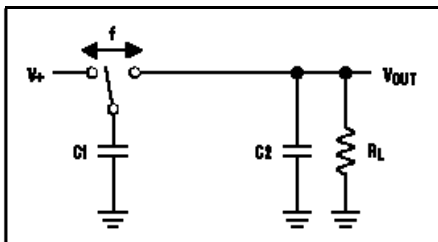


$$T_2 V_L = T_1 V_{IN};$$

$$V_{OUT} = V_{IN} + V_L = V_{IN} \left(1 + \frac{T_1}{T_2} \right)$$

Preнос náboja cez spínaný kapacitor

Výstupné napätie len nižšie

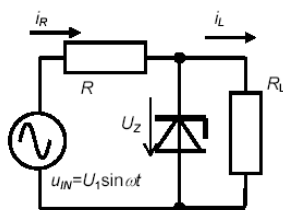


$$V_{OUT} = \frac{V_{IN} C_1}{C_1 + C_2}$$

27

Spojité stabilizátory jednosmerného napätia

Pasívny stabilizátor so Zenerovou diódou



$$R = \frac{u_{IN} - U_Z}{i_R} = \frac{u_{IN} - U_Z}{i_Z + i_L}$$

$$R_{min} = \frac{u_{INmin} - U_Z}{i_{Zmin} + i_{Lmax}}$$

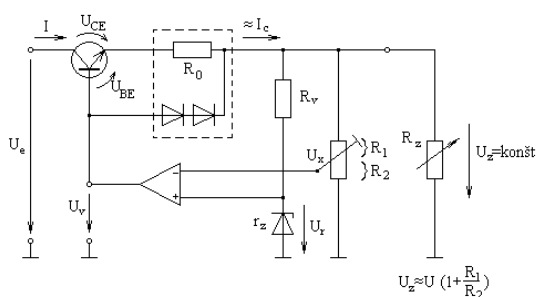
$$R_{max} = \frac{u_{INmax} - U_Z}{i_{Zmax} + i_{Lmin}}$$

Sériový

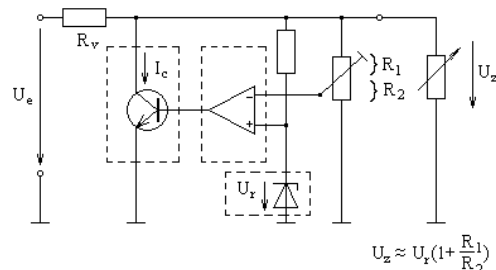
Paralelný

vymeniť

Sériový stabilizátor s elektrickou pískou



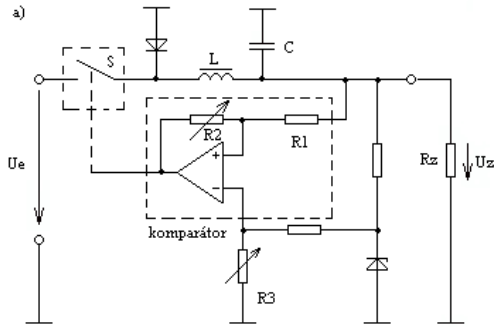
$$U_z \approx U \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$



$$U_z \approx U_r \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

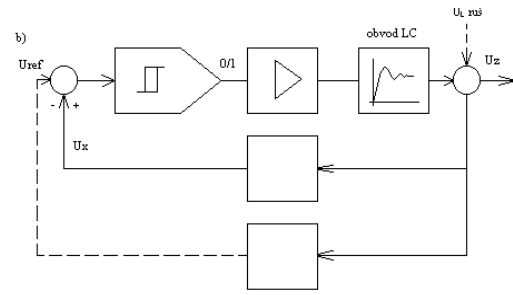
28

Impulzná stabilizácia



Vysvetlite činnosť

- LC filter – trojuholníkový priebeh napätia na kondenzátore
- Komparátor s hysteréziou
- Spínací tranzistor
- Priebehy napätia



Skupinová schéma

