

Základy elektroniky

kap.8

Vybrané elektronické obvody

Linus Michaeli

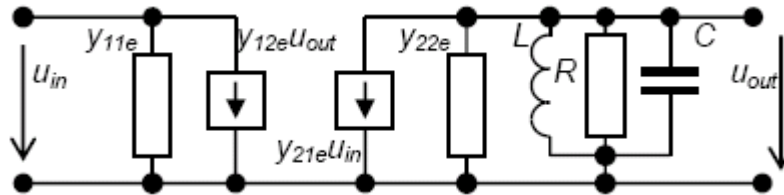
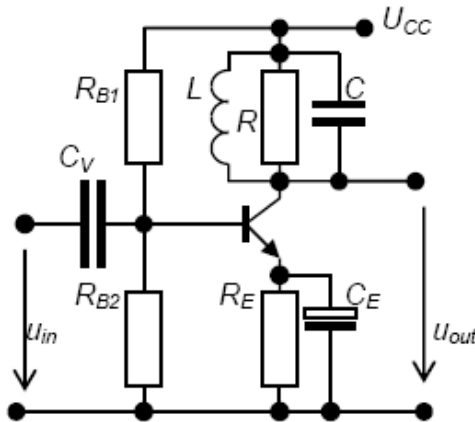
8.1 Ladené zosilňovače

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 zvýšením úsilím pri návrhu zapojenia, sofistikovanejšou technológiou, spojené s vyššími investíciami a vyšším ľudským potenciálom



Každý z y -parametrov možno vyjadriť rozkladom do Taylorového radu

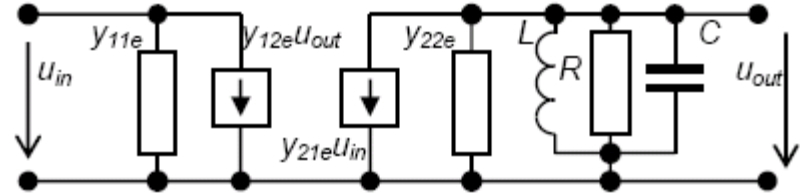
$$y = g + j\omega_0 C + j(\omega - \omega_0) c' \quad c' = \left. \frac{\partial \text{Im}\{y\}}{\partial \omega} \right|_{\omega=\omega_0}$$

Potom

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

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

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

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

Zosilnenia pri tej frekvencii

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

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

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

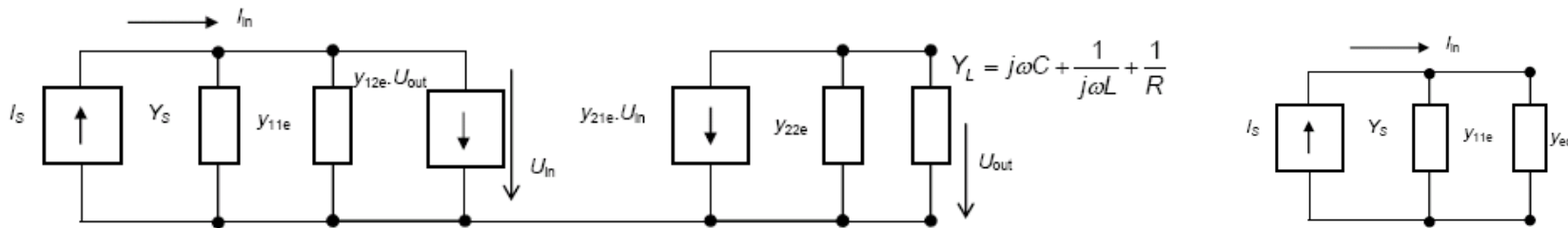
Potom zosilnenie

a šírka frekvenčného pásma s pokleom o 3 dB je

$$A_u(\omega) = \frac{-y_{21e}}{g_{22e} + \frac{1}{R} + j\Delta\omega(2C + c'_{22e} + c_{22e})} \quad \Delta\omega = \pm \frac{g_{22e} + \frac{1}{R}}{2C + c'_{22e} + c_{22e}} \Rightarrow \omega_2 - \omega_1 = \Delta\omega = BW = \frac{g_{22e} + \frac{1}{R}}{C + \frac{(c'_{22e} + c_{22e})}{2}}$$

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.

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

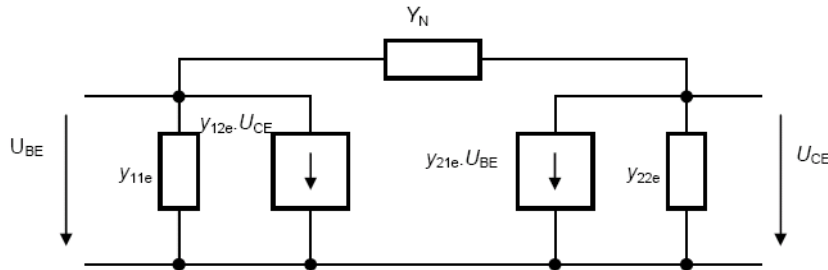
$$y_{eq} = \frac{j\omega C_{12e} g_{21e}}{G_A - jB} = \left| \begin{matrix} kde \\ G_A, B > 0 \end{matrix} \right| = \frac{-\omega C_{12e} g_{21e} B}{G_A^2 + B^2} + \frac{j\omega C_{12e} g_{21e} G_A}{G_A^2 + B^2}$$

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

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

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.



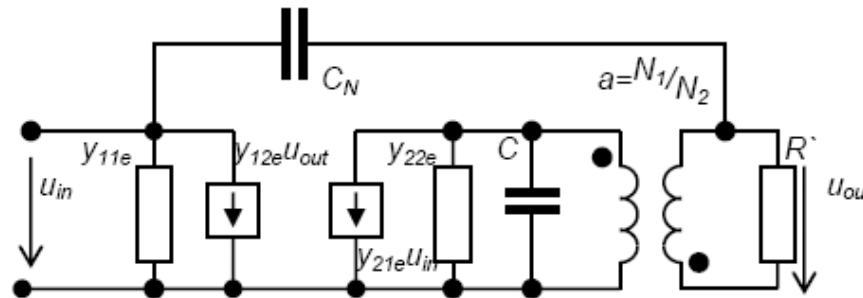
$$y'_{12e} = \frac{I_b}{U_{ce}} \quad \text{pre} \quad U_{be} = 0$$

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

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



Pretransformovaný účinok indukčnosti M a odporu R'

$$\begin{cases} L_1 = M/a \\ R = R'/a^2 \end{cases}$$

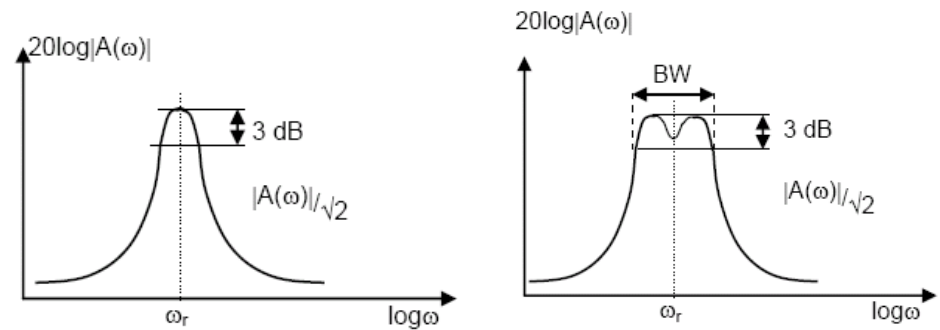
8.1 Mnohostupňové ladené zosilňovače

Prenosová funkcia viazaného rezonančného obvodu

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

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

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



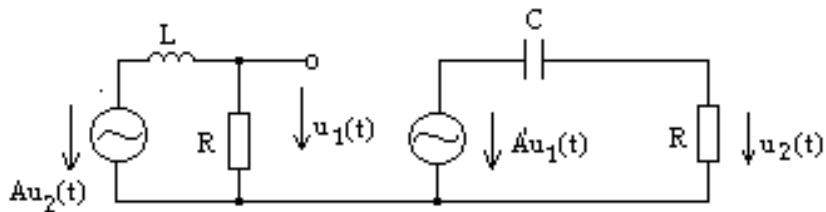
8.2 Oscilátory

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

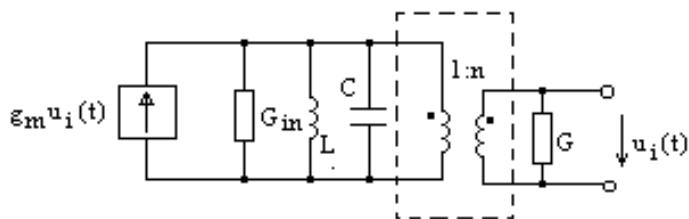
$$k = \frac{\sqrt{U_{2har}^2 + U_{3har}^2 + \dots}}{U_{1har}}$$



Podmienky pre vznik oscilácií

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

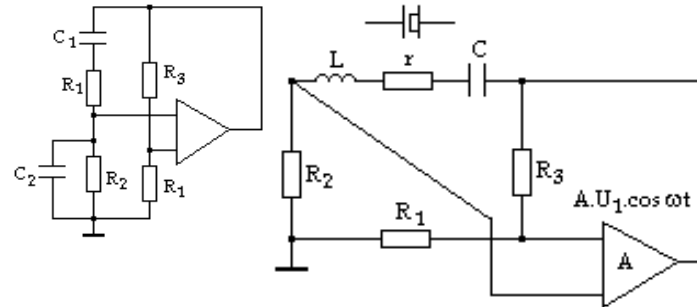
$$A_L(p) = \frac{A^2 \left(\frac{R}{L}\right) p}{\left(\frac{R}{L} + p\right) \left(\frac{1}{RC} + p\right)}$$



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

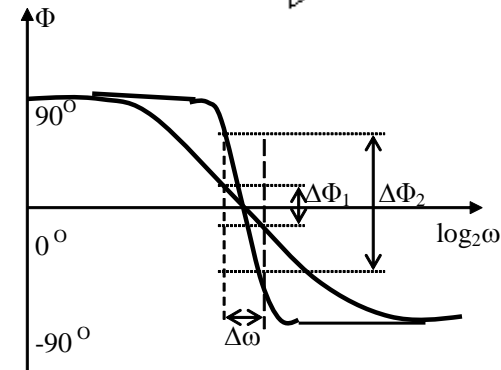
8.2 Oscilátory

Wienov mostík



Frekvenčná stabilita

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



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...)

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

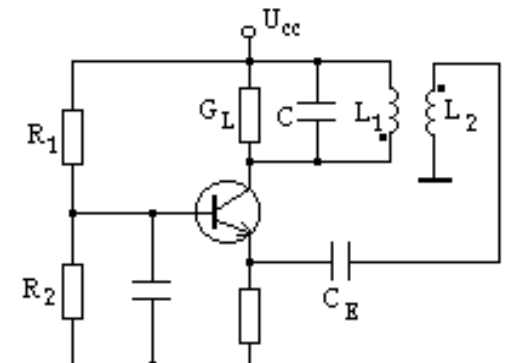
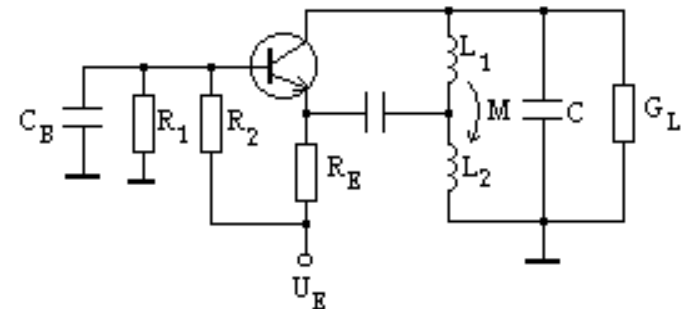
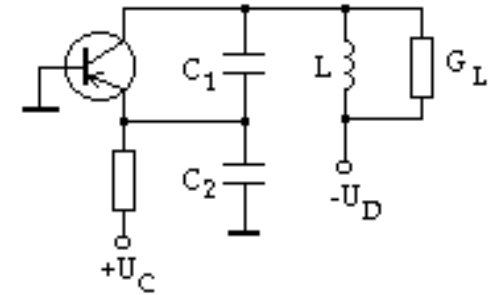
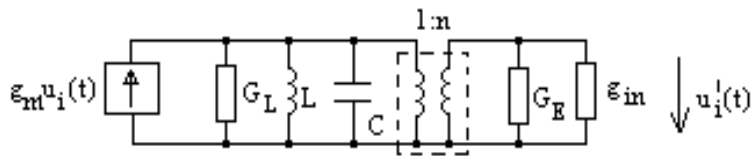
Samoobmedzujúci jednotranzistorový oscilátor

- 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

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

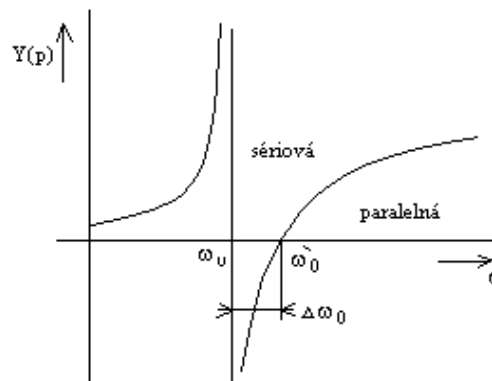
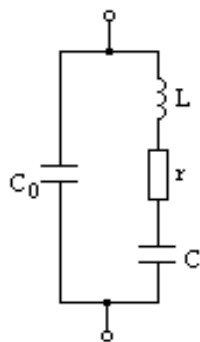
Sériová a paralelná rezonancia

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

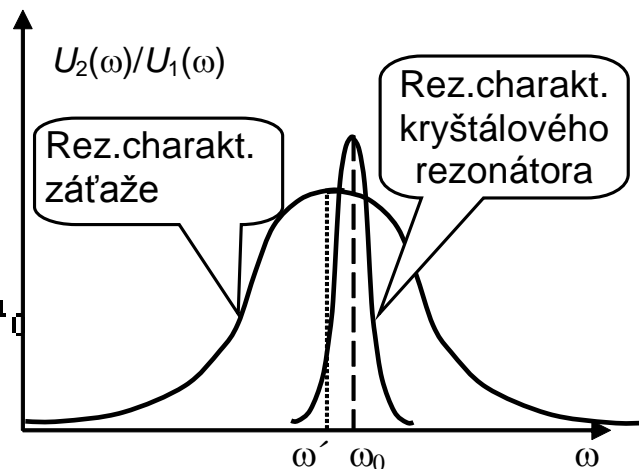
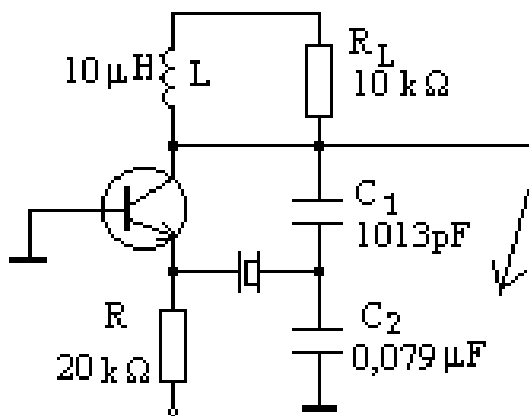
$$\Delta\omega = \omega_0 \frac{C_0 + C}{C_0} - \omega_0 = \omega_0 C / C_0$$

Analýzujte:

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



Trojbodové zapojenie s kryštálom stabilizovanou frekvenciou

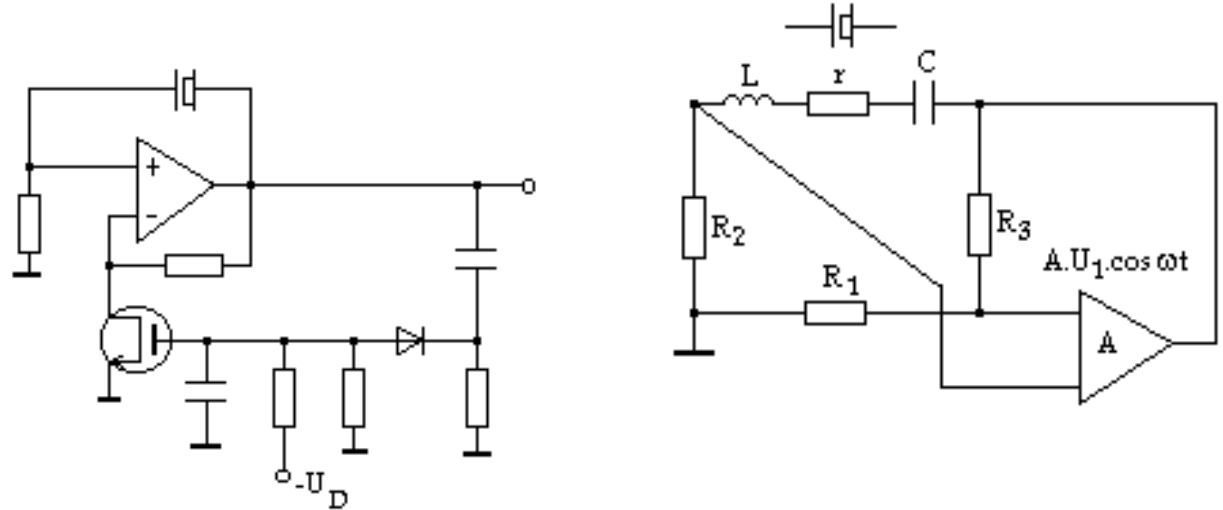


Mostíkové oscilátory

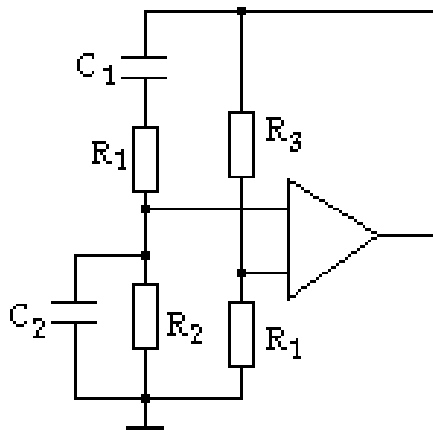
Meachamov mostík

Analyzujte:

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



Wienov mostík

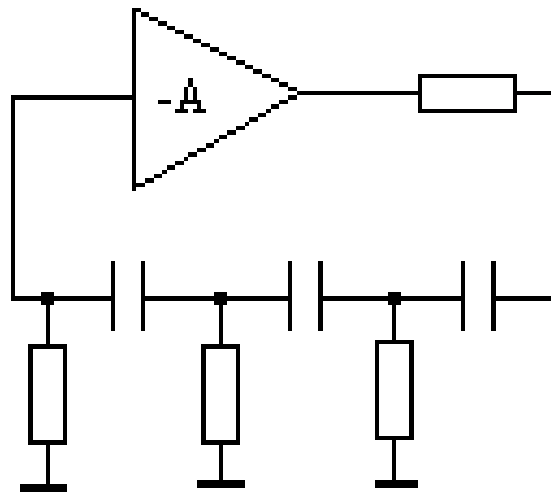


$$A_L(p) = \frac{R_1 A}{R_1 + R_3} \cdot \frac{p^2 + p \left(\frac{1}{R_4 C_4} + \frac{1}{R_2 C_2} - \frac{R_3}{R_1 R_4 C_2} \right) + \frac{1}{R_4 R_2 C_2 C_4}}{p^2 + p \left(\frac{1}{R_4 C_4} + \frac{1}{R_2 C_2} + \frac{1}{R_4 C_2} \right) + \frac{1}{R_4 R_2 C_2 C_4}}$$

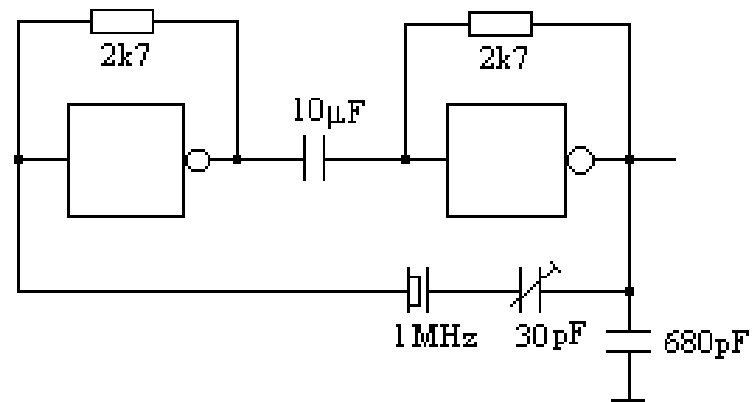
RC oscilátory

Analýzujte:

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



Výkonové zesilňovače

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

Väzba na zät'až

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

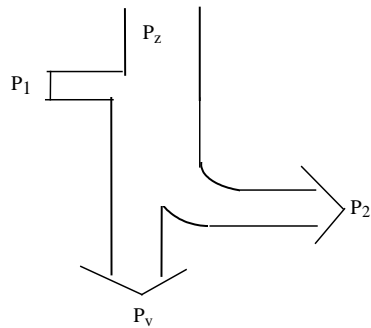
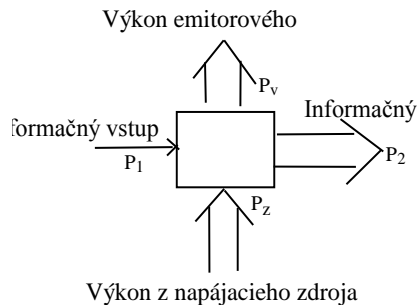
Frekvenčný rozsah:

- 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

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

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

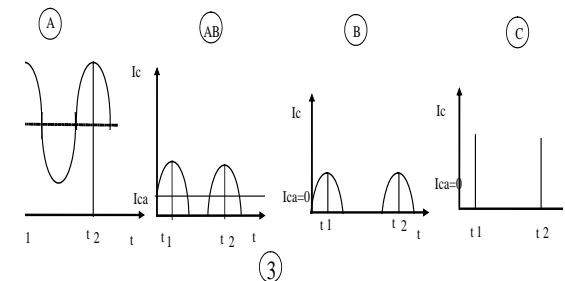
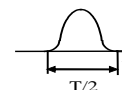
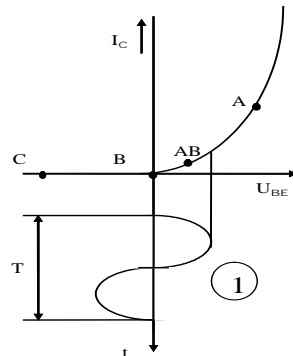
Skreslenie

Koeficient harmonického skreslenia

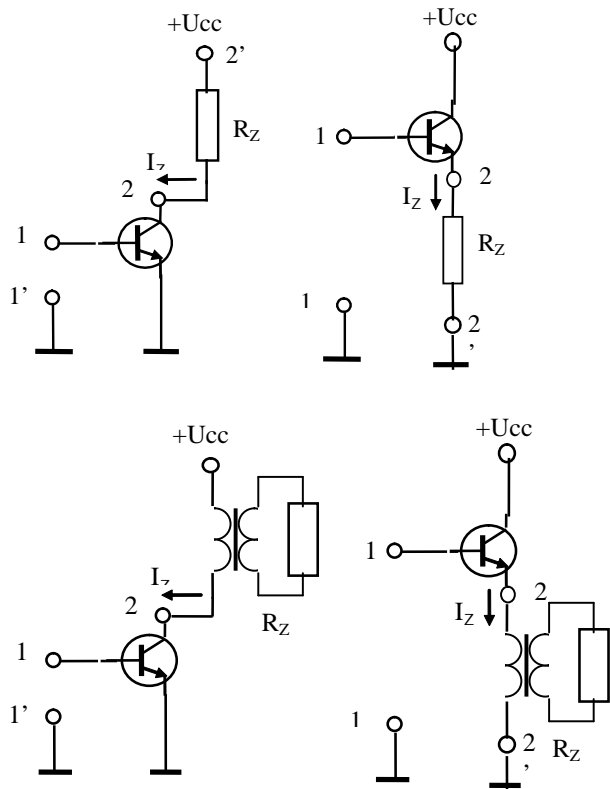
$$k = \frac{\sqrt{\sum_{i=2} U_{ef}^2(i)}}{U_{ef}(1)}$$

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

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



Zosilňovače tr.A, AB



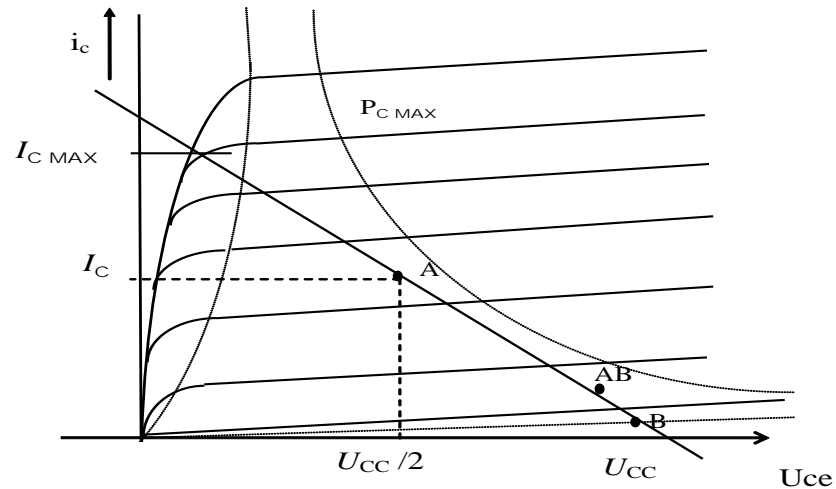
Výkon signálu

$$P_{amax} = \frac{U_{CC}}{2\sqrt{2}} \frac{I_C}{\sqrt{2}} = \frac{U_{CC} I_C}{4} = \frac{U_{CC}^2}{8R_C}$$

Výkon odoberaný zo zdroja

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

Poloha pracovného bodu



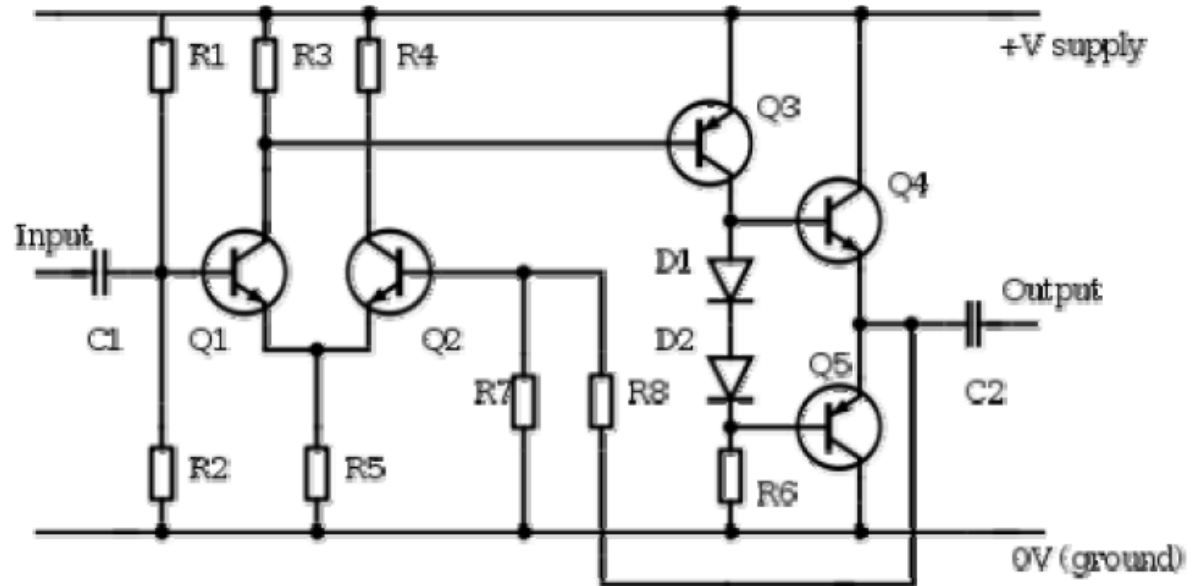
Účinnosť pri odporovej záťaži

$$\eta = \frac{P_{amax}}{P} 100\% = \frac{U_{CC} \frac{I_C}{4}}{U_{CC} I_C} 100\% = 25\%$$

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%.

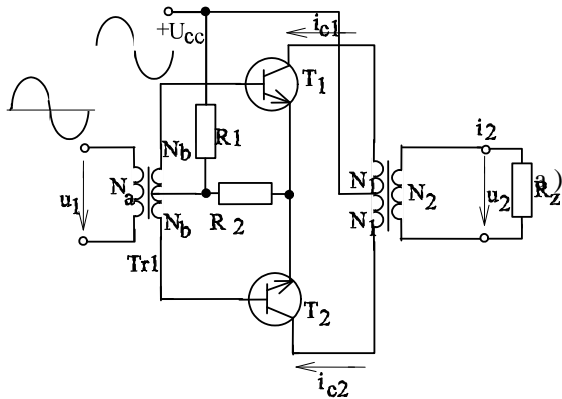
Pre menší budiaci signál účinnosť sa zníži.

Zosilňovače tr.B



Dvočinné zosilňovače tr.B

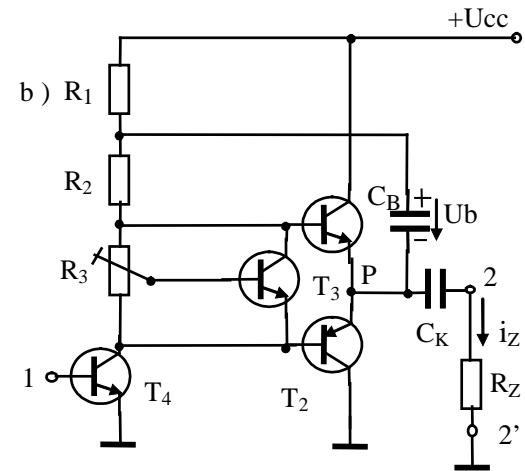
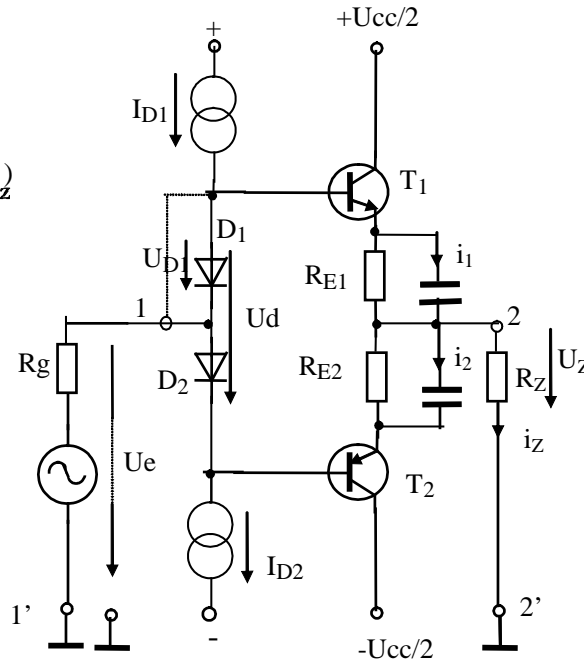
Transformátorová väzba



Výkon signálu

$$P_{amax} = \frac{U_{CC} I_C}{2 \cdot \sqrt{2} \sqrt{2}} = \frac{U_{CC}^2}{4 R_C}$$

Komplementárna dvojica



Výkon odoberaný zo zdroja počas

$$P = \frac{U_{CC}}{2} I_{str1} + \frac{U_{CC}}{2} I_{str2} = 2 \frac{U_{CC} I_C}{2 \pi}$$

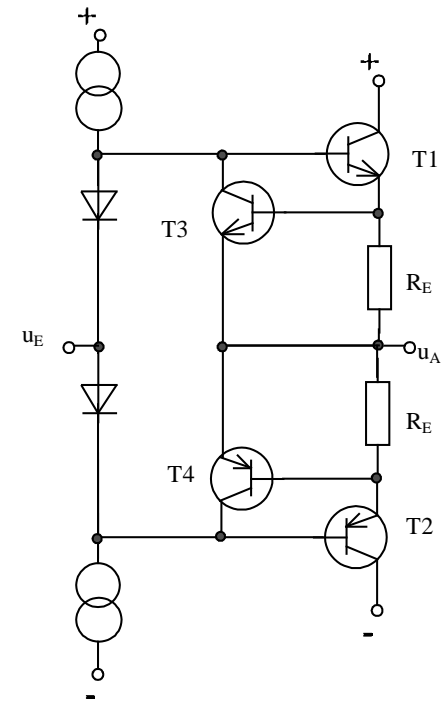
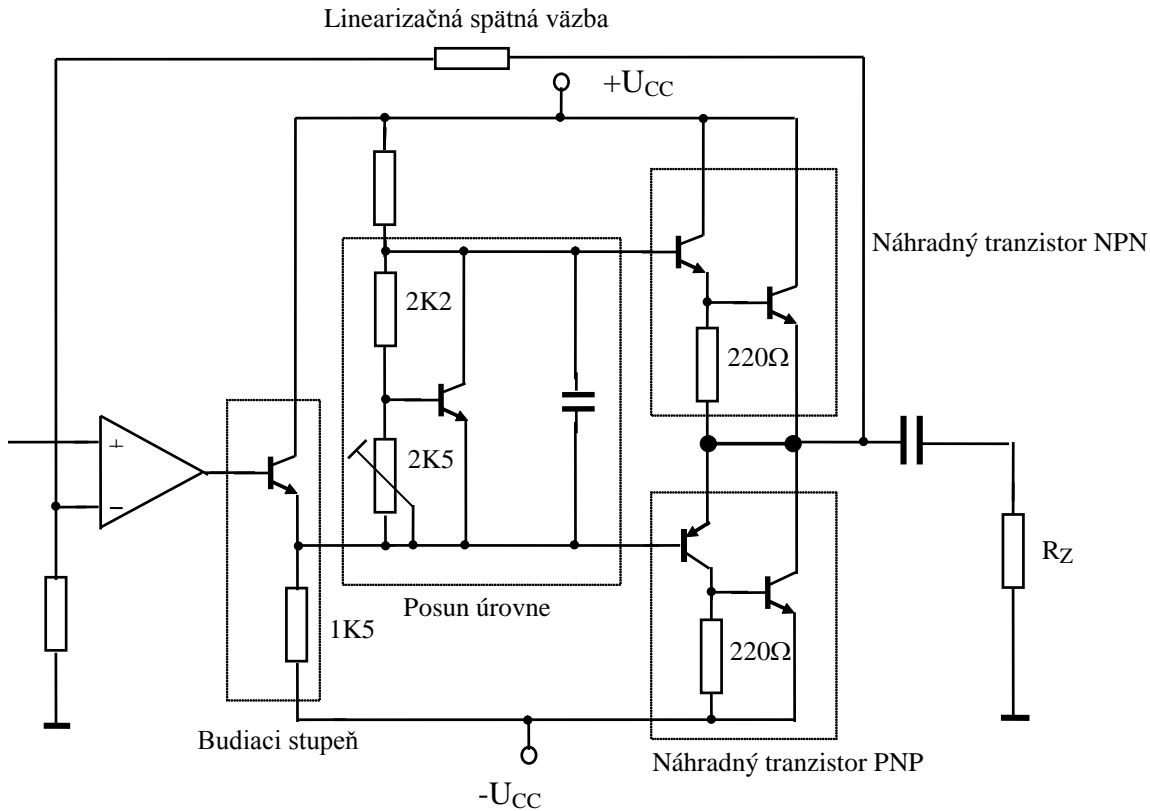
Výsledná účinnosť nemenná pre ľubovoľný signál na vstupe

$$\eta = \frac{P_{amax}}{P} 100\% = \pi \frac{U_{CC} I_C}{4 U_{CC} I_C} 100\% = 78,5\%$$

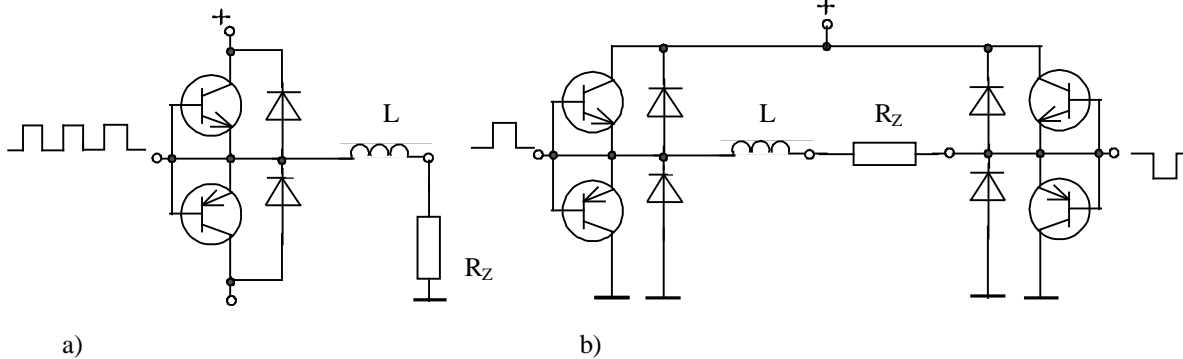
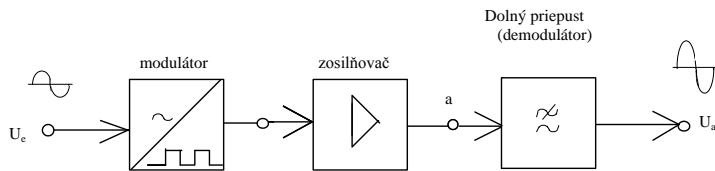
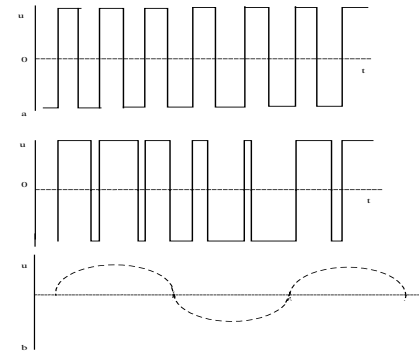
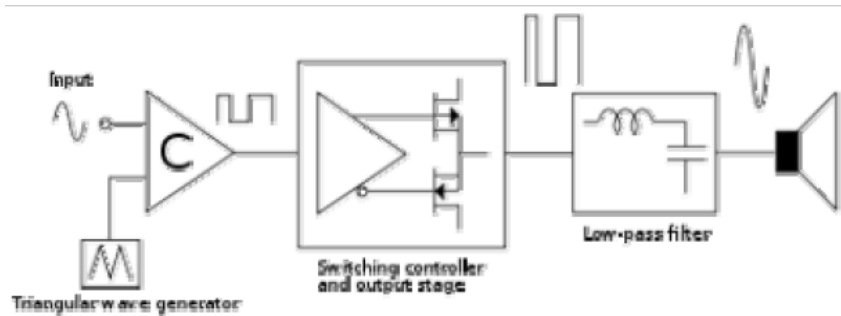
Dvočinné zosilňovače tr.B

Kvazikomplementárna dvojica TDA2020

Prúdové obmedzenie



Zosilňovače tr.D



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

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

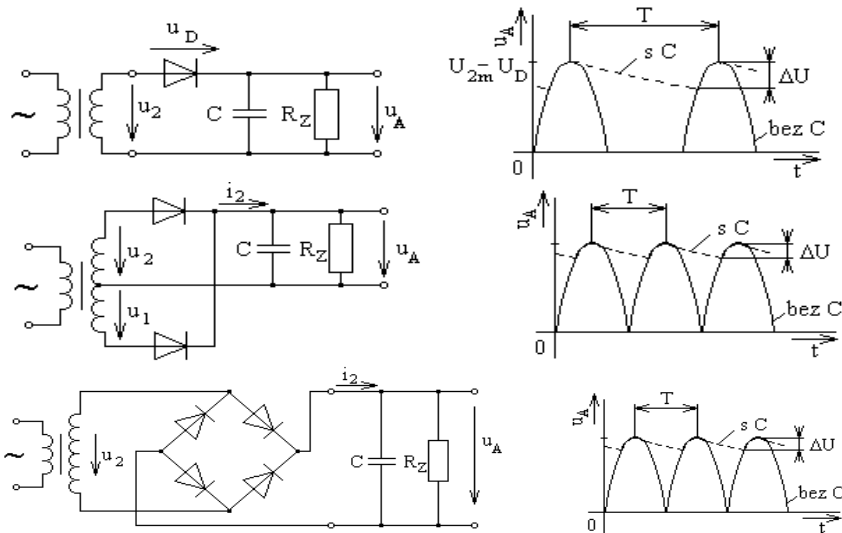
Druhy zdrojov

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

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

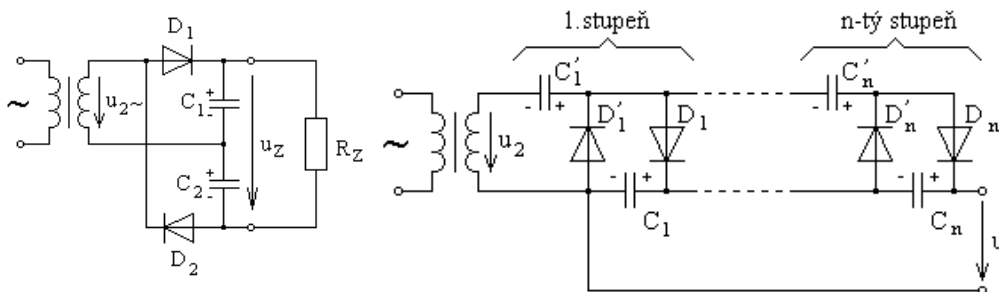


Objem transformátora

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

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

Zdvojovač napätia a napätový násobič



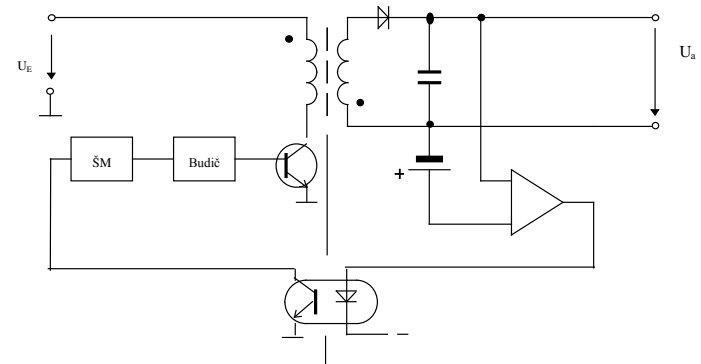
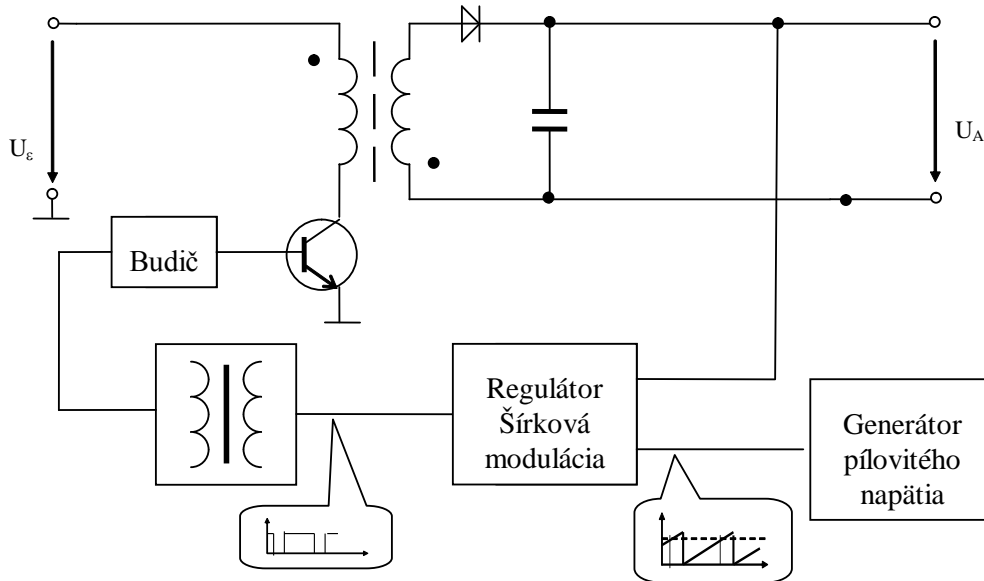
Tendencia:

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

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.



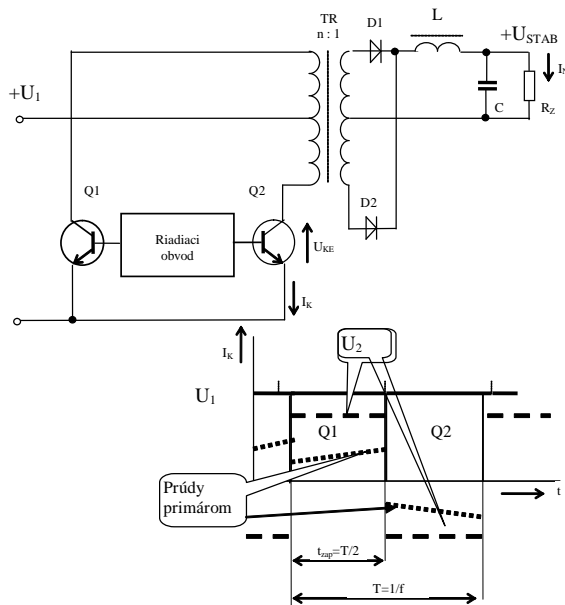
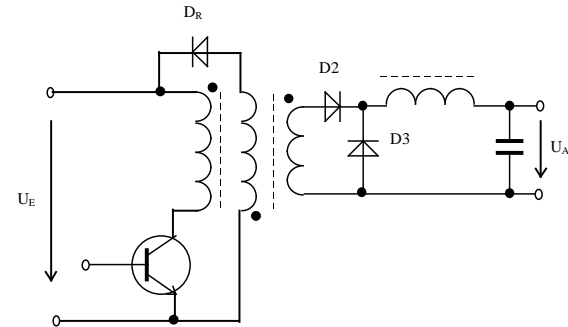
Využitie šírkovkej modulácie cez optoizolátor

Priepustný menič

Šírková modulácia ako prostriedok na reguláciu výstupného jednosmerného napätia.

Budiaci prúd musí byť v nenasýtenej oblasti magnetického jadra transformátora

Priepustný menič



Dvojčinný menič

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

1.) t_p – tranz.otv.

2.) $U_E = L_1 \frac{di_1}{dt} \Rightarrow i_1, i_2 \dots \text{linearne rastie}, \frac{i_2}{i_1} = \frac{n_3}{n_1}$

nabijanie C_Z

3.) $T - t_p$ – tranz.zatv.

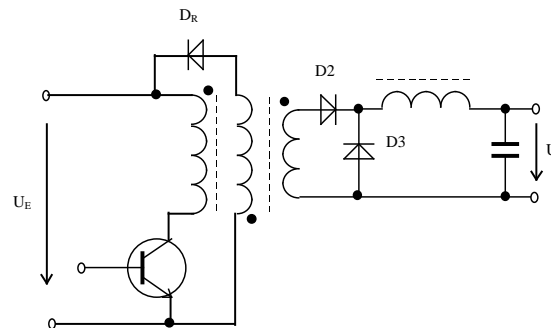
4.) $i_2 \dots \text{linearne klesa, vybijanie magnetickej en.}$

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

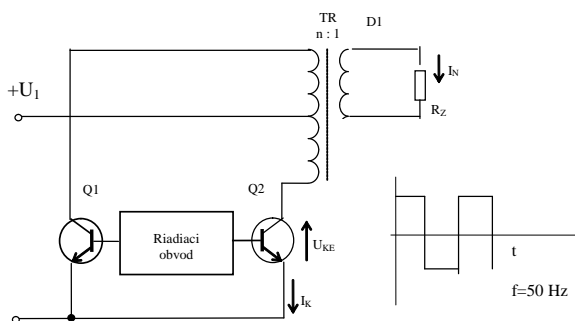


1.) t_p – tranz.otv.

2.) $U_E = L_1 \frac{di_1}{dt}; \Rightarrow i_1, i_2 \dots \text{linearne rastie}, \frac{i_2}{i_1} = \frac{n_3}{n_1}$
nabijanie C_Z

3.) $T - t_p$ – tranz.zatv.

4.) $i_2 \dots \text{linearne klesa, vybijanie magnetickej en.}$



Dvojčinný menič

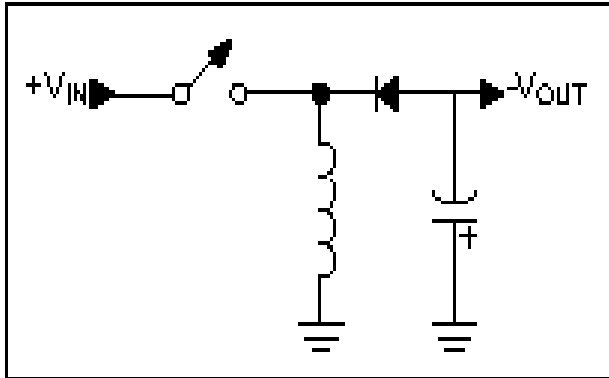
Pomer výstupného napätia k vstupnému daný závitovým pomerom. Počas jednej polperiódy nesmie dôjsť k magnetickému nasýteniu jadra.

Meniče bez transformátora

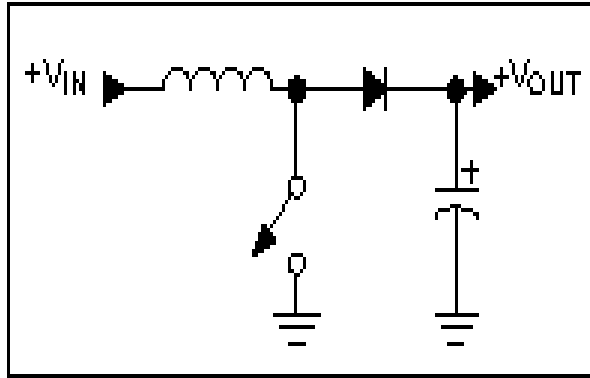
Šírková modulácia ako prostriedok na reguláciu výstupného jednosmerného napätia.

Náhrada trasformátora nabíjacou indukčnosťou

S inverziou vstupného napätia



Bez inverzie vstupného napätia

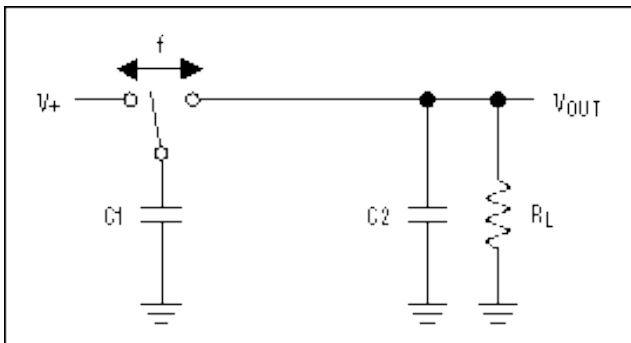


$$T_2 V_L = T_1 V_{IN};$$

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

Prenos náboja cez spínaný kapacitor

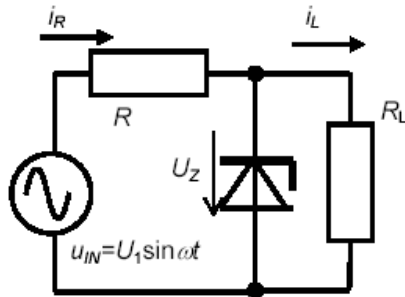
Výstupné napätie len nižšie



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

Spojité stabilizátory jednosmerného napätia

Pasívny stabilizátor so Zenerovou diódou



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

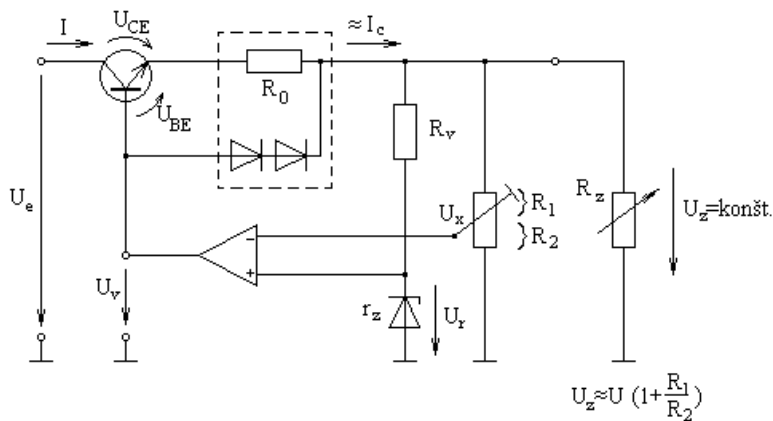
$$R_{\min} = \frac{u_{IN\min} - U_Z}{i_{Z\min} + i_{L\max}}$$

$$R_{\max} = \frac{u_{IN\max} - U_Z}{i_{Z\max} + i_{L\min}}$$

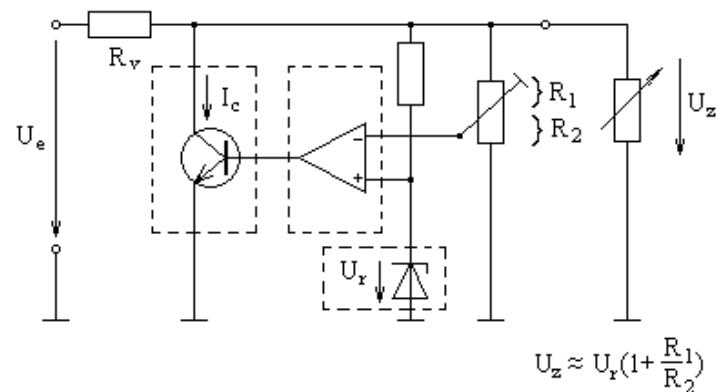
Sériový

vymeniť

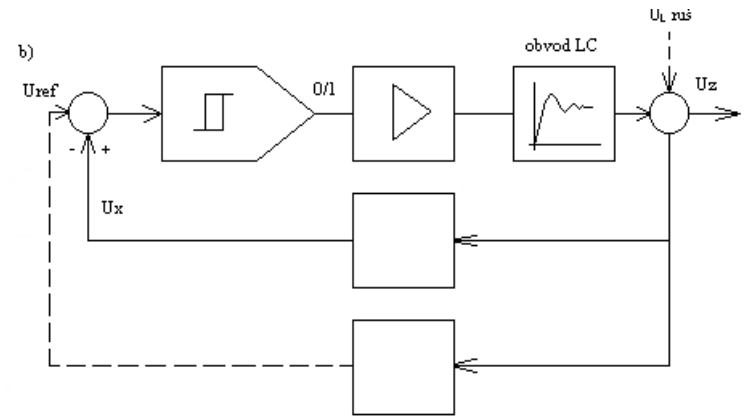
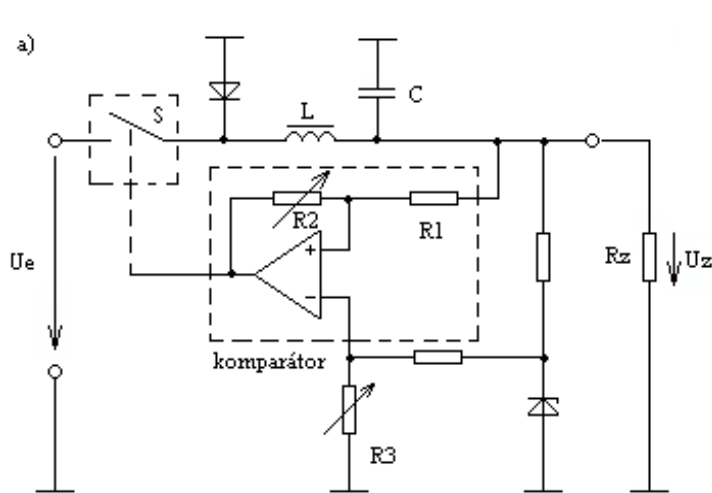
Paralelný



Sériový stabilizátor s
elektronickou poistkou



Impulzná stabilizácia



Vysvetlite činnosť

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

Skupinová schéma

