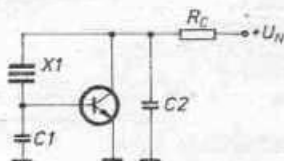


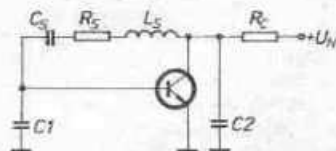
Stabilní LC oscilátor

Jiří Hellebrand, OK1IKE

Při stavbě nového konvertoru pro KV pásma jsem narazil na nedostatek krystalů vhodných kmitočtů, proto jsem byl nucen použít do oscilátoru i LC obvody. Jelikož tento oscilátor měl být konstrukčně co nejjednodušší a při tom dostatečně stabilní zároveň s požadavkem použití jak LC obvodu, tak i krystalového výbrusu, zvolil jsem klasické Pierceovo zapojení podle obr. 1. Krystalový výbrus je zde použit jako selektivní zpětnovazební člen, který představuje sériovou kombinaci cívky, kondenzátoru a ztrátového rezistoru R_s . Proto jsem si jej překreslil do tvaru, znázorněného na obr. 2.



Obr. 1. Základní zapojení oscilátoru typu Pierce



Obr. 2. Rozkreslené zapojení oscilátoru typu Pierce

Po zjištění, že se vlastně jedná o velmi stabilní oscilátor, srovnatelný s krystalovými oscilátory s výbrusy průměrných jakostí, jsem se pokusil jej upravit pro plynulé ladění, aby jej bylo možno použít i v jiných aplikacích (přijímače, vysílače atd.).

V zapojení podle obr. 3 jsem jej použil do směšovacího oscilátoru pro pásmo 145 MHz (s krystalovým oscilátorem 10,51 MHz pro výsledný kmitočet 12 až 12,17 MHz) a po dvacetiminutovém zahřátí jeho kmitočet během dvou hodin provozu stále „seděl“ v kanálu převaděče. K dosažení tohoto výsledku je ovšem nutné uzavřít celý oscilátor i s příslušným oddělovacím stupněm (pracujícím ve třídě A) do teplotně vyrovnaného prostředí, v mém případě do litého boxu z hliníku. Cívku oscilátoru pro kmitočty nad 10 MHz je vhodné zhotovit jako samonosnou silnějším drátem, pro nižší kmitočty ji navinout za tepla na keramickou žebrovanou kostru. Pokud někdo nemá trpělivost pohrát si s teplotní kompenzací kapacit, což je práce na dlouhé zimní večery

(pěkně to popisoval OK1WPN), ať raději použije slídové kondenzátory. V tomto zapojení vychází cívka s poměrně malou indukčností, proto je i její kladný teplotní součinitel dosti malý a k jeho vyrovnání stačí i malý záporný teplotní součinitel kapacity použitého keramického trimru.

Návrh oscilátoru

Výchozí údaje:

C_L = ladící kondenzátor C_{\max} až C_{\min}
 C_T = kapacita doladovacího trimru
 C_r = rozptylová kapacita spojů a cívky
 f_{\max} = nejvyšší provozní kmitočet
 f_{\min} = nejnižší provozní kmitočet
 U_N = napájecí napětí (obvykle 9 až 12 V)
 $|y_{21e}|$ = přenosová admitance tranzistoru
 h_{21e} = zesilovací činitel tranzistoru

Postup:

K maximální a minimální kapacitě použitého ladícího kondenzátoru se přičtou rozptylová kapacita C_r a střední kapacita doladovacího trimru C_{Tstf} :

$$C_{Tstf} = \frac{C_{T\max} + C_{T\min}}{2}$$

$$C_{\max} = C_{L\max} + C_r + C_{Tstf}$$

$$C_{\min} = C_{L\min} + C_r + C_{Tstf}$$

Zjistí se minimální kapacita laděného obvodu

$$C_{O\min} = \frac{C_{\max} - C_{\min}}{\left(\frac{f_{\max}}{f_{\min}}\right)^2 - 1} \quad [\text{pF; MHz}]$$

a maximální kapacita laděného obvodu

$$C_{O\max} = C_{O\min} + (C_{\max} - C_{\min}) \quad [\text{pF}]$$

Laděný obvod se tedy musí doplnit paralelním přidavným kondenzátorem

$$C_p = C_{O\min} - C_{\min}$$

$$\text{nebo } C_p = C_{O\max} - C_{\max} \quad [\text{pF}]$$

Indukčnost cívky bude

$$L = \frac{25 \, 330}{f_{\min}^2 C_{O\max}} \quad [\mu\text{H; MHz; pF}]$$

Cívka se navine, zjistí se její činitel jakosti Q a vypočítá se rezonanční odpor

$$R_{\text{rez}} = 6,28 f_{\min} L / Q \quad [\Omega; \text{MHz; } \mu\text{H}]$$

Z přenosové admitance tranzistoru se určí jeho pracovní strmost

$$y_{21e}' = |y_{21e}| \cdot 0,6 \quad [\text{mS}]$$

a z ní připojovací impedance

$$R = Z_B' = Z_C' = \frac{1000}{y_{21e}'} \quad [\Omega; \text{mS}]$$

Poměr vazebních kapacit pak bude

$$p_C = \sqrt{\frac{R_{\text{rez}}}{R}} \quad [\Omega]$$

Kapacita kondenzátoru C_3 se volí podle pracovního kmitočtu v rozmezí od 10 do 100 pF.

$$C_1 = p_C C_3 \quad [\text{pF}]$$

$$C_2 = p_C C_{O\max}$$

Odpory R_1 , R_2 , R_3 a R_4 se volí tak, aby tranzistor pracoval ve třídě A a aby byla zajištěna dostatečná stabilita pracovního bodu i při změnách okolní teploty.

Pro stacionární zařízení, které nebude vystavováno prudkým změnám teploty, platí:

$$R_4 = \frac{10^5}{6,28 \cdot f_{\min} \cdot C_2} \quad [\Omega; \text{MHz; nF}]$$

$$R_3 = 0,2 \cdot R_4 \quad [\Omega]$$

$$R_2 = \frac{0,28 \cdot U_N \cdot h_{21e}}{I_C} \quad [\text{k}\Omega; \text{V; mA}]$$

$$R_1 = \frac{0,08 \cdot U_N \cdot h_{21e}}{I_C} \quad [\text{k}\Omega; \text{V; mA}]$$

Pro mobilní zařízení určené k provozu z přechodného stanoviště se volí větší stupeň stabilizace pracovního bodu, tedy $R_3 = 0,3 \cdot R_4$

$$R_2 = \frac{0,14 \cdot U_N \cdot h_{21e}}{I_C} \quad [\text{k}\Omega; \text{V; mA}]$$

$$R_1 = \frac{0,04 \cdot U_N \cdot h_{21e}}{I_C} \quad [\text{k}\Omega; \text{V; mA}]$$

Emitorový kondenzátor se určí podle

$$C_E \geq \frac{1000}{f_{\min} R_3} \quad [\text{nF; MHz; } \Omega]$$

Vazební kondenzátor C_B má mít kapacitní reaktanci nejméně desetkrát menší, než je odpor R_1 , to znamená, že:

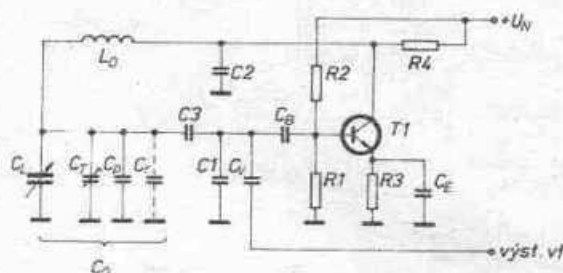
$$C_B \leq \frac{10^4}{6,28 \cdot f \cdot R_1} \quad [\text{pF; MHz; k}\Omega]$$

Výstupní vazební kondenzátor C_V se volí s co nejmenší kapacitou, s ohledem na vstupní odpor následujícího stupně, aby se veškeré změny zátěže přenášely do obvodu oscilátoru v co nejmenší míře. Vzhledem k tomu, že za oscilátorem obvykle následuje oddělovací stupeň zapojený jako emitorový sledovač, který má velký vstupní odpor, může být hodnota kondenzátoru C_V řádově jednotky až desítky pF, podle pracovního kmitočtu (pro KV až DV). Přesněji jej lze určit podle

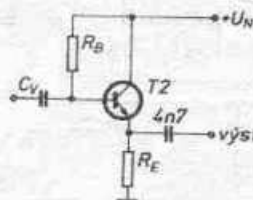
$$C_V = \frac{1000}{f \cdot R_{\text{vst}}} \quad [\text{pF; MHz; k}\Omega]$$

kde R_{vst} je paralelní kombinace R_B a $1/g_{11e}$ použitého tranzistoru (viz obr. 4). Vzhledem k tomu, že v tomto zapojení se společným kolektorem je R_B mnohem větší než $1/g_{11e}$, dá se zanedbat a výraz se dá zjednodušit na

$$C_V = \frac{1}{f \cdot \frac{1}{g_{11e}}} \quad [\text{pF; MHz; mS}]$$

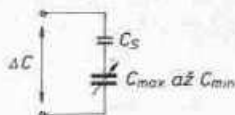


Obr. 3. Skutečné zapojení LC oscilátoru



Obr. 4. Oddělovací stupeň, zapojený za oscilátor

Pokud někdo nemá k dispozici vhodný ladící kondenzátor s malou maximální kapacitou, vychází pak kapacita kondenzátoru C_0 příliš velká a tedy i nepříznivý poměr L/C . Rozsah změny kapacity ladícího kondenzátoru se pak dá zmenšit zapojením vhodného pevného kondenzátoru do série, podle obr. 5. Pro kondenzátory s maximální kapacitou 300 až 400 pF se volí kondenzátor kolem 68 až 47 pF.



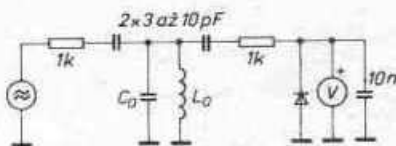
Obr. 5. Zmenšení kapacitního rozsahu ladícího kondenzátoru

Výsledná změna kapacity pak je:

$$\Delta C = \frac{C_S^2 (C_{\max} - C_{\min})}{(C_S + C_{\min})(C_S + C_{\max})} \quad [\text{pF}]$$

Nakonec ještě rada těm, kteří nemají k dispozici Q -metr, jak zjistit činitel jakosti civek a vlastní kapacitu civek. Pro zjišťování činitele Q se použije tento postup:

1. Paralelně k cívce se připojí jakostní (raději vzduchový) kondenzátor s kapacitou přibližně odpovídající té, která bude v zapojení použita.
2. Tento paralelní laděný obvod se připojí k signálnímu generátoru a voltmetru podle obr. 6.



Obr. 6. Měření Q cívky

3. Proladováním signálního generátoru se zjistí rezonanční kmitočet f_0 laděného obvodu (maximální výchylka voltmetru), kmitočet si poznamenejme.
4. Zvýší se kmitočet signálního generátoru tak, aby napětí na laděném obvodu (výchylka voltmetru) pokleslo o 0,707 z maximální hodnoty, tento kmitočet se poznamená jako f_1 .
5. Sniží se kmitočet signálního generátoru tak, aby napětí na laděném obvodu (výchylka voltmetru) pokleslo o 0,707 z maximální hodnoty, tento kmitočet si poznamená jako f_2 .
6. Zjištěné kmitočty se dosadí do vzorce

$$Q = \frac{f_0}{f_1 - f_2}$$

Podobným postupem je možno zjistit i vlastní kapacitu cívky C_L :

1. Poznamenejme si rezonanční kmitočet f_0 a kapacitu kondenzátoru C_0 .
2. Paralelní kondenzátor C_0 se vymění za takový, aby laděný obvod rezonoval na dvojnásobném kmitočtu (výhodné je použít zde cejchovaný otočný kondenzátor), tuto menší kapacitu si poznamenejme jako C_1 .
3. Zjištěné hodnoty se dosadí do vzorce

$$C_L = \frac{C_0 - 4C_1}{3}$$

Vyjádření lektora

Popisovaný návrh oscilátoru je po věcné stránce správný; nevím, zda autor postřehl, že v konečném zapojení oscilátoru na obr. 3 vlastně dospěl nezávisle ke

známému zapojení, které jsem popsal poprvé v Krátkých vlnách v r. 1948 a které bývá označováno mým jménem. Po věcné stránce mám k obsahu článku jen několik drobných připomínek:

– dolaďovacím trimrům bych se raději vyhnul, jejich časová stálost nebývá valná; příp. bych využil trimry s co nejmenší max. kapacitou;

– vazební kondenzátor C_B je třeba dimenzovat na základě vstupní impedance tranzistoru, která bývá značně menší než R_1 ; zmenšování max. kapacity ladícího kondenzátoru kondenzátorem zapojeným do série bych doporučil s jistou opatrností; při uvedeném poměru kapacit 400 pF (C_{\max}) a 68 pF (C_S) vychází nepřijemně zhuštěný průběh ladění na začátku stupnice, proto neradím redukovat max. kapacitu více než 1:2;

– způsob měření činitele Q uvedený v závěru článku bude dávat dosti pesimistické výsledky, poněvadž generátor i voltmetr přispívají k útlumu obvodu. Chyba bude tím větší, čím menší bude C_0 v poměru k vazebním kapacitám; uspokojivé výsledky možno očekávat teprve při $C_0 > 1000$ pF. Doporučuji upravit zapojení se zřetelem k převážně nízkoohmovým výstupům generátorů a k jejich max. výstupnímu napětí v řádu jednotek voltů tak, že do série s C_0 zapojíme kondenzátor o kapacitě řádově 100 C_0 , a na jeho svorky připojíme generátor; napětí na obvodu pak musíme měřit vF voltmetrem s velkým vstupním odporem ($R_i > 10 R_{\text{res}}$) a pokud takový nemáme, musíme vstupní odpor detektoru znát a výsledné naměřené Q korigovat výpočtem.

Doc. dr. ing. J. Vackář, CSc.