

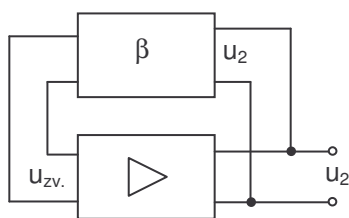
4 Oscilátory

Nezpracovávají žádný vstupní signál, ale jsou sami zdrojem střídavých signálů. Ze stejnosměrného napájecího napětí vytvářejí napětí střídavá. Druhů oscilátorů je mnoho.

Podle principu činnosti se rozdělují na oscilátory **zpětnovazební** (základem je zesilovač s vhodně zavedenou kladnou zpětnou vazbou) a na oscilátory **s prvkem se záporným diferenciálním odporem**.

Podle průběhu vyráběného napětí se rozdělují na oscilátory sinusových a nesinusových průběhů napětí. Podle kmitočtu vyráběného napětí jsou nízkofrekvenční a vysokofrekvenční.

4.1 Zpětnovazební oscilátory sinusového průběhu napětí



Obr. 4.1 Princip oscilátoru

Základem takového oscilátoru je zesilovač s kladnou zpětnou vazbou. Aby se ze zesilovače stal oscilátor, musí být splněny podmínky pro vznik oscilací.

1) fázová podmínka: $\Sigma\varphi = 0^\circ$, která říká, že součet fázových posunutí v uzavřené smyčce, tvořené zesilovačem a zpětnou vazbou, musí být 0° nebo násobky 360° .

2) amplitudová podmínka: $\beta \cdot A > 1$, která říká, že součin činitele zpětné vazby β a velikost výkonového zesílení zesilovače A musí být větší jak 1. V praxi se hodnota tohoto součinu volí $1,5 \div 2,5$. Při větších hodnotách tohoto součinu se pracovní bod

zesilovače dostane do B nebo i C třídy a vyráběný sinusový průběh napětí bude zkreslený vyššími harmonickými, což je většinou jev nežádoucí.

3) mezní podmínka: $\beta \cdot A = 1$, která říká, že musí nastat rovnovážný stav, při kterém se amplituda vyráběného napětí přestane zvětšovat (zesilovač v sinusovém oscilátoru nesmí začít limitovat).

4.1.1 Oscilátory RC

Kmitočet RC oscilátorů je určen vhodným zapojením selektivních RC členů ve zpětné vazbě zesilovače a je lineární funkcí časové konstanty $\tau = RC$. Tím se RC oscilátory dají snadno přeladit. Mohou vyrábět i velmi nízké kmitočty. Nepotřebují indukčnost, která se obtížně realizuje v integrované formě a proto je dnes jejich použití díky IO a OZ stále větší a to i pro vysoké kmitočty.

RC oscilátory se dělí na oscilátory s posouvanou fází a můstkové.

4.1.1.1 RC oscilátory s posouvanou fází (příčkové)

Základem je invertující zesilovač. Pro splnění fázové podmínky se musí fáze zpětnovazebního napětí otočit o 180° . K tomu slouží kaskáda minimálně tří DČ nebo IČ o stejné časové konstantě τ , zapojená ve větvi kladné ZV, která na **jednom kmitočtu** pootočí fázi zpětnovazebního napětí o 180° a tím se na tomto kmitočtu splní fázová podmínka pro vznik oscilací. Amplitudová podmínka se splní dostatečně velkým zesílením zesilovače. Zapojení se rozkmitá na kmitočtu, který je určen velikostí R a C ve zpětné vazbě. Mezní podmínka se splní současným zavedením nelineární $-ZV$ (např. místo odporu emitoru R_E se zapojí žárovka). Přeladování příčkových oscilátorů je složité a proto se používají jako zdroje konstantního kmitočtu.

a) RC oscilátor s derivačními články

Při stejných hodnotách R a C všech tří článků je kmitočet, na kterém dojde k otočení fáze výstupního

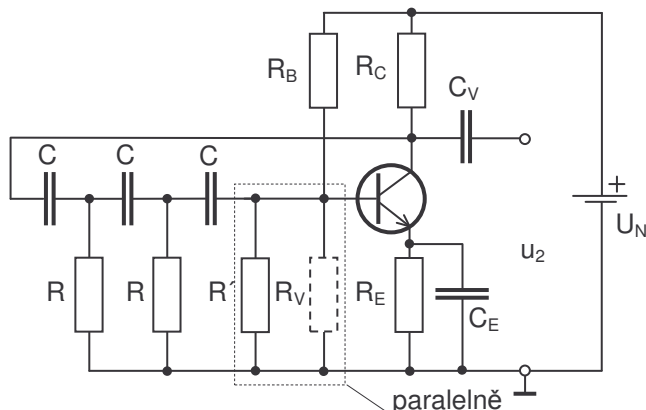
napětí u_2 vzhledem ke vstupnímu napětí u_1 o 180° určen vztahem
$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C \cdot \sqrt{6}}$$

Zapojení oscilátoru je na obr. 4.2. Výsledný odpor R třetího článku je učen paralelní kombinací odporu R' a vstupního odporu tranzistoru R_V .

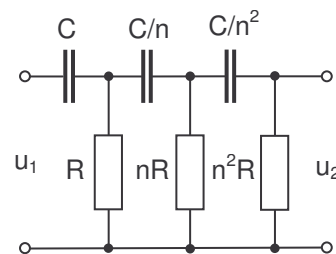
DČ jsou současně kmitočtově závislémi děliči napětí a tím zmenšují velikost napětí na výstupu příčkového článku (jeho přenos). Snížení výsledného útlumu příčkového článku se dosáhne pomocí tzv. progresivních článků podle obr. 4.3. Jednotlivé články mají stejnou časovou konstantu τ , ale impedance

následujícího článku je n krát větší než předchozího článku. Potom může mít zesilovač menší zesílení.

Oscilační kmitočet je určen vztahem
$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C \cdot \sqrt{3 + \frac{2}{n} + \frac{1}{n^2}}}$$



Obr. 4.2 Oscilátor s posouvanou fází pomocí DČ



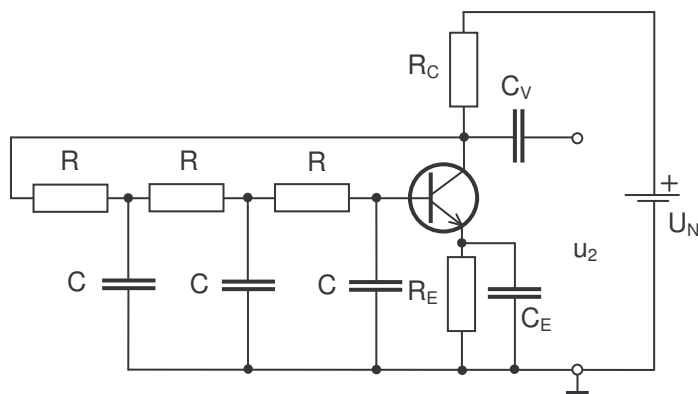
Obr. 4.3 Příčkový článek s DČ

b) RC oscilátor s integračními články.

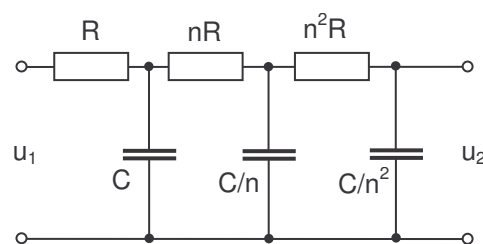
Při stejných hodnotách R a C všech tří článků je kmitočet, na kterém dojde k otočení fáze výstupního napětí u_2 vzhledem ke vstupnímu napětí u_1 o 180° určen vztahem
$$f_0 = \frac{\sqrt{6}}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

Stejně jako u oscilátoru s derivačními články může se použít i progresivního zapojení článků podle obr.

4.5. Oscilační kmitočet je potom určen vztahem
$$f_0 = \frac{\sqrt{3 + \frac{2}{n} + \frac{1}{n^2}}}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$



Obr. 4.4 Oscilátor s posouvanou fází pomocí IČ



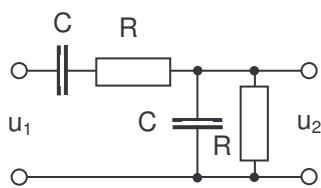
Obr. 4.5 Příčkový článek s IČ

4.1.1.2 RC oscilátory můstkové

V obvodu zpětné vazby je zařazena kombinace členů RC, která vytváří můstkové zapojení a zavádí mezi výstupem a vstupem zesilovače kombinaci $+ZV$ a $-ZV$. Tím se dosáhne lepší kmitočtové stability a menšího harmonického zkreslení vyráběného napětí než u oscilátorů s posouvanou fází. Také přelaďování je snadnější, protože ho lze uskutečnit změnou menšího počtu RC prvků.

Oscilační kmitočet je určen selektivní zpětnou vazbou pomocí tzv. nulových článků, které mají **na jednom kmitočtu nulový fázový posuv** a jejich přenos na tomto kmitočtu je buď maximální (Wienův článek) nebo minimální (T-články).

a) Oscilátor s Wienovým článkem

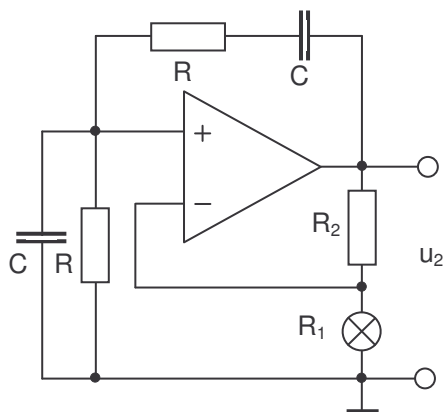


Obr. 4.6 Wienův článek

Wienův článek je sérioparalelní kombinace dvou stejných odporů a kondenzátorů, zapojených podle obr. 4.6. Toto

zapojení má na kmitočtu $f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$ největší

přenos, rovný jedné třetině a na tomto kmitočtu neposouvá fázi výstupního napětí. Zapojuje se do větve kladné zpětné vazby. Tím je splněna fázová podmínka pro vznik oscilací. Amplitudová a mezní podmínka se splní nastavením nelineární -ZV.



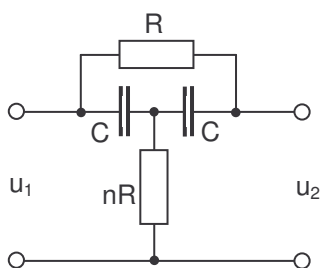
Obr. 4.7 Oscilátor s Wienovým článkem

K zapojení oscilátoru s Wienovým článkem je ideální použití OZ podle obr. 4.7.

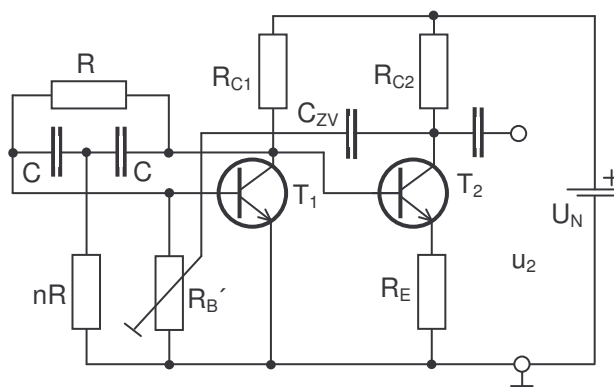
Stabilizace amplitudy a nastavení zesílení zesilovače, které musí být větší jak 3, je provedeno nelineární -ZV. Zpětnovazební napětí se získává z nelineárního děliče tvořeného odporem R_2 a žárovkou R_1 . Zvětšením výstupního napětí u_2 se proud děličem a tím i žárovkou zvětší, žárovka se přizhává, její odpor vzroste, -ZV se zvětší a amplituda u_2 vzroste jen nepatrně.

Plynulé přeladování kmitočtu tohoto oscilátoru se provádí dvojitým ladícím kondenzátorem, rozsahy se přepínají odpory.

b) Oscilátor s T- článkem



Obr. 4.8 Jednoduchý T- článek



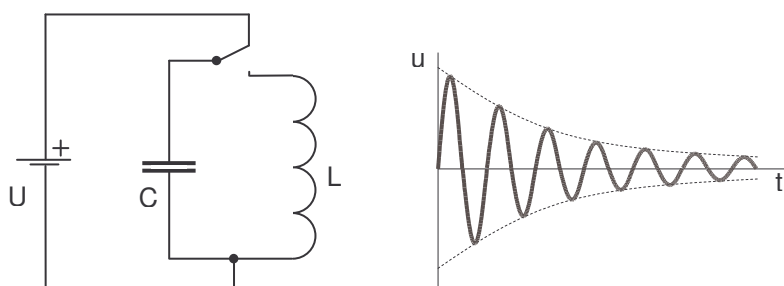
Obr. 4.9 Oscilátor s T- článkem

Zapojení jednoduchého T-článku je na obr. 4.8. T-článek na jednom kmitočtu neposouvá fázi a má minimální přenos. Proto se zapojuje do větve záporné zpětné vazby. Amplitudová podmínka se nastaví velikostí kladné zpětné vazby. Zapojení takového oscilátoru je na obr. 4.9. Dvoustupňový zesilovač s tranzistory v SE je neinvertující. Z výstupu je zavedena přes kondenzátor C_{ZV} kladná ZV, jejíž velikost se nastaví potenciometrem $R_{B'}$. Z kolektoru tranzistoru T_1 je přes T-článek zavedena selektivní -ZV. Plynulé přeladování kmitočtu se provádí dvojitým ladícím kondenzátorem.

Větší kmitočtovou stabilitu a lepší harmonickou čistotu mají oscilátory s dvojitým přemostěným T-článkem. Musí se ale ladit třemi prvky současně.

4.1.2 LC oscilátory

Kmitočet LC oscilátorů je určen rezonančním obvodem LC. Především jeho vlastnosti určují výsledné parametry celého oscilátoru, a to nejen kmitočet, ale i jeho stabilitu.



Obr. 4.10 LC obvod a tlumené kmity

Zapojením obvodu podle obr. 4.10 se ze zdroje nabije kondenzátor C na napětí U. Nabitý kondenzátor C má energii

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

Odpojením zdroje a připojením cívky L paralelně ke kondenzátoru C se kondenzátor přes cívku začne vybíjet. Cívkou začne protékat proud a kolem ní se vytvářet magnetické pole o

energii $W_H = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$. Po vybití kondenzátoru proud přestane téci, v cívkě se indukuje napětí opačného směru a tímto napětím se zpětně začne nabíjet kondenzátor. Po jeho nabití se děj bude opakovat. Cívka s kondenzátorem si navzájem vyměňují energii – obvod kmitá na kmitočtu $f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$. Protože

jsou v obvodu ztráty, amplitudu kmitů exponenciálně klesá a kmity jsou tlumené.

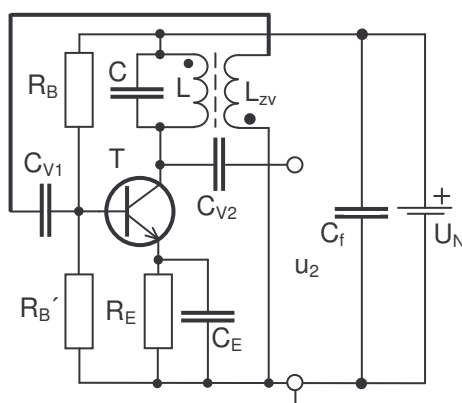
Když ztráty v obvodu budeme hradit např. zesilovačem nebo součástíku se záporným diferenciálním odporem, nebude amplituda kmitů klesat a tím dostaneme zdroj střídavých kmitů – LC oscilátor.

4.1.2.1 Zapojení LC oscilátorů

Základem LC oscilátoru je zesilovač, ve kterém jsou splněny podmínky pro vznik oscilací (stejně jako u oscilátorů RC).

Zapojení LC oscilátorů je mnoho a proto mají jména podle svých tvůrců.

a) Oscilátor Meisner



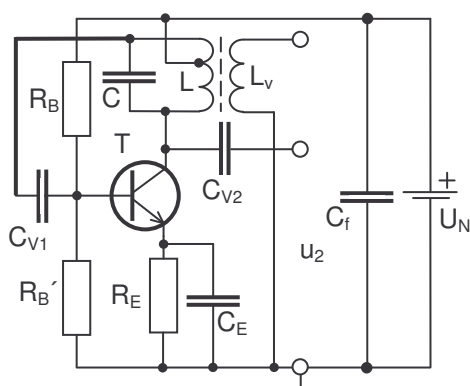
Obr. 4.11 Oscilátor Meisner

Základem je vf. laděný zesilovač v zapojení SE. Ten obrací fázi výstupního napětí a proto se fáze zpětnovazebního napětí musí pootočit o 180°, aby byla splněna fázová podmínka pro vznik oscilací. Otočení fáze se provede zpětnovazební cívkou LZV tím, že se prohodí její vývody. (Tečkou se značí začátek vinutí.)

Zapojení je na obr. 4.11 a kladná zpětná vazba, zavedená z výstupu zesilovače zpět na vstup, je nakreslena tlustou čarou. Amplitudová podmínka se splní vhodným převodem mezi cívkami L a LZV. Výstupní signál se odebrá kapacitní vazbou pomocí CV2 nebo induktivní vazbou pomocí další vazební cívky.

Kondenzátor Cf představuje zkrat zdroje pro vf. signál.

b) Oscilátor Hartley



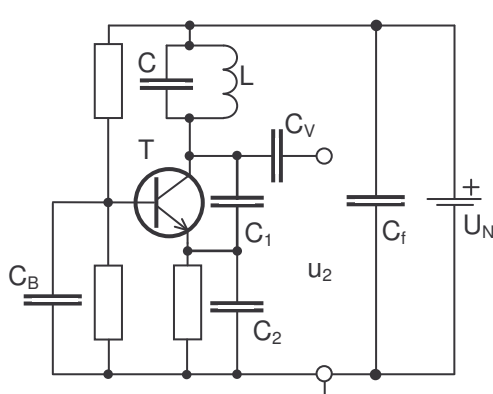
Obr. 4.12 Oscilátor Hartley

Jeho zapojení je obr. 4.12. Patří mezi tzv. tříbodová zapojení, protože rezonanční obvod LC je připojen k zesilovači ve třech bodech.

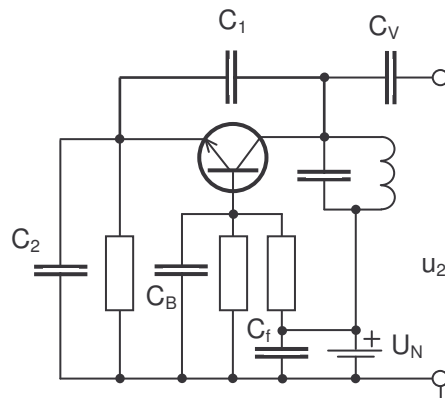
Kolektor tranzistoru je napájen do odbočky na cívce a tím na jejím horním konci dostane napětí fázově pootočené o 180° vzhledem k napětí na kolektoru. Toto zpětnovazební napětí je přivedeno zpět na vstup zesilovače (tlustá čára na schématu).

Výstupní napětí oscilátoru se odebírá kapacitní nebo induktivní vazbou.

c) oscilátor Colpittz

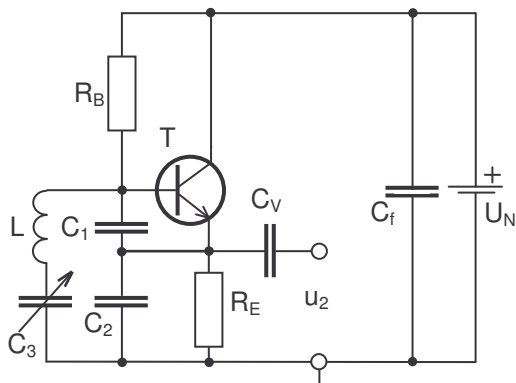


Obr. 4.13 Oscilátor Colpittz



Patří také mezi tříbodová zapojení oscilátorů. Jeho zapojení je na obr. 4.13. Neinvertující zesilovač je v zapojení SB. Kladná zpětná vazba je zavedena z výstupu zpět na vstup přes C_1 . Velikost +ZV je určena dělicím poměrem kapacitního děliče C_1, C_2 . Zapojení na obr. 4.13 vpravo je identické s levým obrázkem, ale kreslí se častěji pravé schéma. Toto zapojení oscilátoru se používá ve vstupních obvodech rozhlasových přijímačů FM a televizních přijímačů, protože tranzistor v SB zesiluje do vyšších kmitočtů než v SE.

d) Oscilátor Clapp



Obr. 4.14 Oscilátor Clapp

Je na obr. 4.14 a používá neinvertující zapojení SC. Kladná ZV je zavedena z emitoru do kapacitního děliče C_1, C_2 , který je součástí laděného obvodu ve vstupu zesilovače. Výsledná ladící kapacita je dána sériovým zapojením kondenzátorů C_1, C_2, C_3 . Kapacita kondenzátorů C_1, C_2 je řádově tisíckrát větší než C_3 . Tím se změny mezielektrodových kapacit na výslednou ladící kapacitu nebudou prakticky uplatňovat a stabilita tohoto oscilátoru dosahuje hodnoty 10^5 , zatím co stabilita předchozích zapojení LC oscilátorů je 10^3 . Jeho přeladitelnost je malá, pouze v poměru kmitočtů 1:1,2 a proto se dá použít pouze ve vysílačích, které se přeladují v úzkém kmitočtovém pásmu.

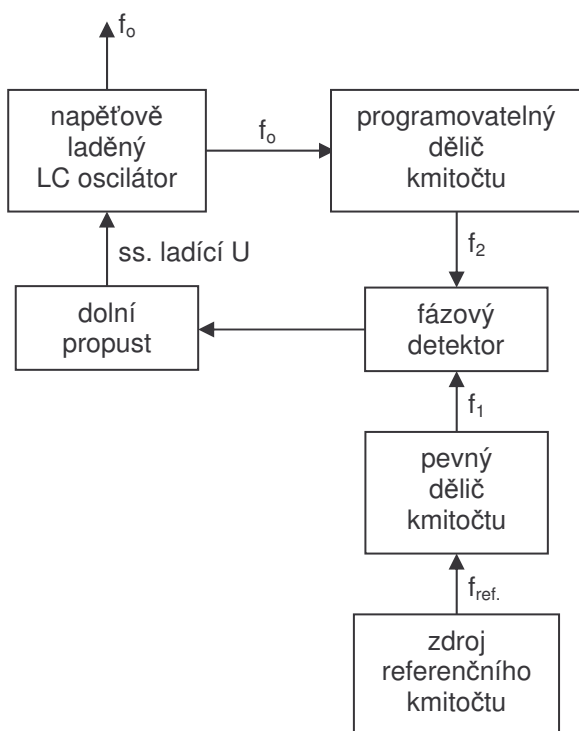
Oscilátor Vackář z roku 1945 je obdobné zapojení s vysokou stabilitou, umožňující navíc přeladění v poměru 1:2,5.

4.1.3 LC oscilátor se záporným diferenciálním odporem

K hrazení ztrát v LC obvodu se místo zesilovače dá použít součástka, která v určité části svojí VA charakteristiky vykazuje záporný diferenciální odpor, tj. při zvyšování napětí proud klesá. Takovou součástkou je např. tunelová dioda. Ta se připojí paralelně k paralelnímu rezonančnímu obvodu a svým záporným odporem v něm hradí ztráty.

Praktické využití takového oscilátoru je problematické, protože oblast záporného diferenciálního odporu je u tunelové diody v oblasti napětí pouze $0,1 \div 0,4$ V, na impedancích jednotek ohmů a při frekvencích desítek GHz.

Oscilátor řízený fázovým závěsem (PLL)



Obr. 4.15 Oscilátor řízený fázovým závěsem

Napětově laděný LC oscilátor (ss. ladícím napětím pomocí varikapu) vyrábí kmitočet f_o . Ten se vydělí programovatelným děličem na kmitočet f_2 .

Ze zdroje referenčního kmitočtu, kterým může být krystalový oscilátor nebo i signál DCF dostáváme f_{ref} , a ten podělíme pevným děličem na kmitočet f_1 .

Ve fázovém detektoru porovnáme vydělené kmitočty f_1 a f_2 a v případě jejich shody bude na výstupu fázového detektoru základní úroveň stejnosměrného ladícího napětí. Při změně kmitočtu LC oscilátoru f_o dojde také ke změně f_2 a na výstupu fázového detektoru se změní stejnosměrné napětí. Oscilátor LC se bude přeladovat tak dlouho, až kmitočet $f_1 = f_2$ a dojde k tzv. zachycení. Potom stabilita kmitočtu LC oscilátoru bude stejná jako stabilita zdroje referenčního kmitočtu. Přeladování kmitočtu f_o se tedy provádí změnou dělicího poměru programovatelného děliče kmitočtu.

Použití oscilátoru s fázovým závěsem (obr. 4.15) je při ladění rozhlasových a televizních přijímačů, vysílačů a pod. Dělicí poměr programovatelného děliče se ukládá do paměti a umožňuje nastavení předvoleb. Ladění není ale plynulé, nýbrž po skocích.

4.1.4 Stabilita kmitočtu oscilátoru

Vyjadřuje se poměrem $\frac{\Delta f_o}{f_o}$, který udává poměrnou změnu kmitočtu oscilátoru za určitou dobu, např. 24

hodin (Δf_o je změna kmitočtu oscilátoru, f_o je kmitočet oscilátoru). Běžné LC oscilátory mají stabilitu řádově 10^{-3} , oscilátory Clapp a Vackář řádově 10^{-5} .

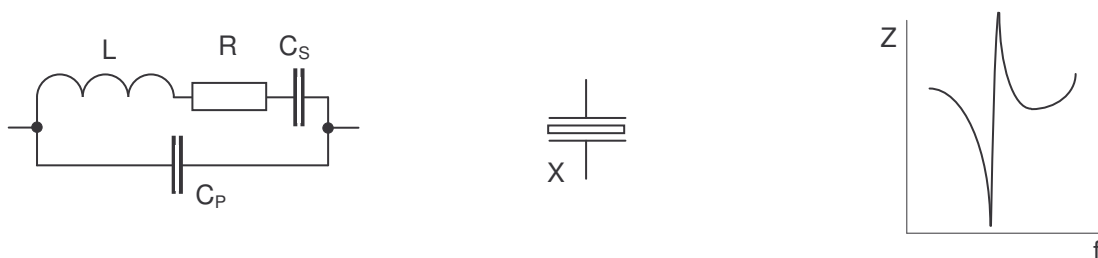
Změna kmitočtu oscilátoru je způsobena změnami napájecího napětí, teploty, stárnutím součástek. Dochází tím ke změnám zesílení zesilovače a tím ke změnám Millerovy kapacity. Tyto změny kapacity ovlivňují výslednou ladící kapacitu rezonančního obvodu LC a tím i kmitočet oscilátoru.

Zvýšení stability kmitočtu oscilátoru se dosáhne stabilizací napájecího napětí, udržováním konstantní teploty a vhodným zapojením oscilátoru. Oscilátory Clapp a Vackář mají paralelně k Millerově kapacitě připojeny kondenzátory velkých kapacit a tím se změna Millerovy kapacity na výsledné ladící kapacitě oscilátoru projeví málo.

Nejvyšší stabilitu kmitočtu mají oscilátory krystalové.

4.1.5 Krystalové oscilátory

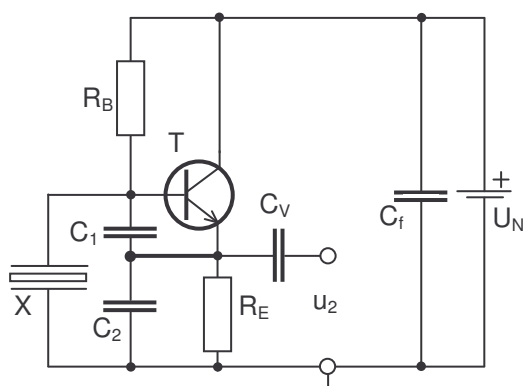
Jsou to oscilátory nepřeladitelné nebo přeladitelné jen částečně. Kmitočet krystalového oscilátoru je určen krystalem. Krystal je tenká destička, vyříznutá z monokrystalu křemene (přírodního nebo dnes spíše syntetického, vyráběného za vysokých tlaků až 1000 MPa) pod vhodným úhlem, ve vhodné rovině. Na destičku se napaří kovové elektrody a ta se zapouzdří do kovového pouzdra nebo skleněné baňky. Mechanickým stlačováním krystalu se na něm objeví elektrické napětí (piezoelektrický jev – zapalovače plynu, mikrofony, přenosky) a naopak přivedením střídavého napětí se krystal mechanicky rozkmitá (opačný piezoelektrický jev). Kmitání může být podélné, příčné, plošně střížné, ohybové. Elektrické náhradní schéma krystalu je sériový rezonanční obvod, tvořený velkou indukčností (řádově H), malou kapacitou (řádově setiny pF) a odporem, který vyjadřuje tlumení kmitů, způsobené upnutím krystalu do držáku. Paralelně k tomuto sériovému rezonančnímu obvodu je připojena kapacita držáku a přívodů (řádově pF). Tím krystal vykazuje nižší rezonanci sériovou o stabilním kmitočtu a vyšší paralelní, méně stabilní. Jakost krystalu je velká (20 000 až 50 000), v baňce s vakuem až 10^6 . Vysoká jakost krystalu zajišťuje i vysokou stabilitu krystalového oscilátoru, která se dá ještě zvýšit umístěním krystalu do termostatu s teplotou cca 60° a dosahuje hodnot 10^{-5} až 10^{-10} .



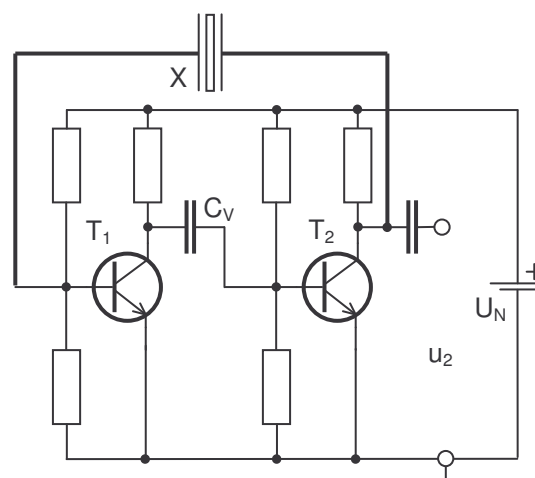
Obr. 4.16 Náhradní schéma krystalu, jeho schématická značka a průběh impedance

4.1.5.1 Zapojení krystalových oscilátorů

Zapojení krystalových oscilátorů je mnoho. Krystal se dá použít v oscilátoru jako rezonanční obvod např. na obr. 4.17 v zapojení krystalového oscilátoru Clapp a nebo jako selektivní zpětnovazební člen na obr. 4.18 v zapojení oscilátoru Hegner.



Obr. 4.17 Krystalový oscilátor Clapp

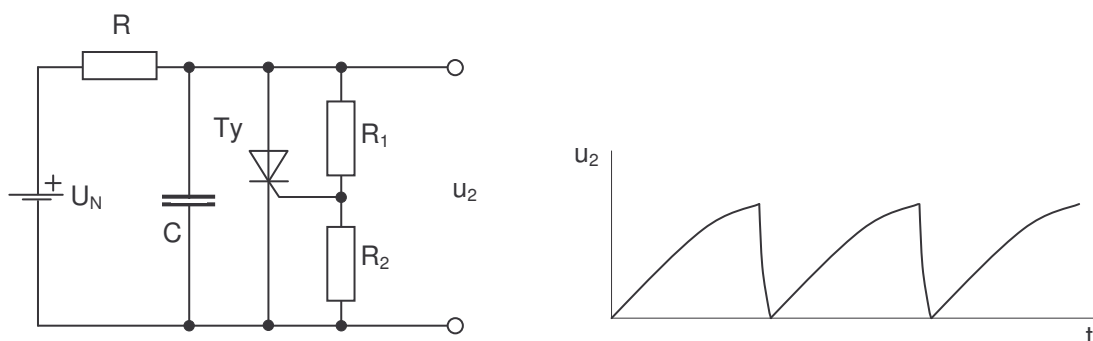


Obr. 4.18 Oscilátor Hegner

4.2 Oscilátory nesinusového průběhu napětí

Nazývají se též relaxační a slouží k výrobě obdélníkového nebo pilovitého průběhu napětí.

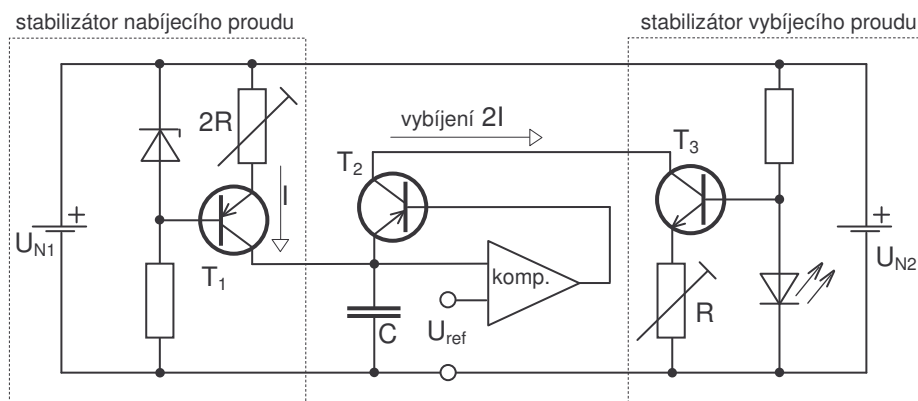
4.2.1.1 Oscilátor pilovitého průběhu napětí



Obr. 4.19 Oscilátor pilovitého průběhu napětí a tvar jeho výstupního napětí

Nejjednodušší zapojení zdroje pilovitého průběhu napětí je na obr. 4.19. Pracuje na principu nabíjení a vybíjení kondenzátoru C v integračním článku. Po připojení napájecího napětí se ze zdroje U_N přes odpor R začne nabíjet kondenzátor C . Napětí na kondenzátoru exponenciálně stoupá až do okamžiku, kdy sepne tyristor T_y (při určité hodnotě proudu, tekoucího do jeho řídicí elektrody G) a kondenzátor C se rychle přes sepnutý tyristor vybije. Potom se nabíjení kondenzátoru začne opakovat. Jako spínač se používala i doutnavka. Napětí na kondenzátoru vzrůstalo až do hodnoty zápalného napětí doutnavky. Po zapálení doutnavky se přes ni vybil kondenzátor na hodnotu zhasacího napětí doutnavky, ta zhasla a nabíjení kondenzátoru se opakovalo.

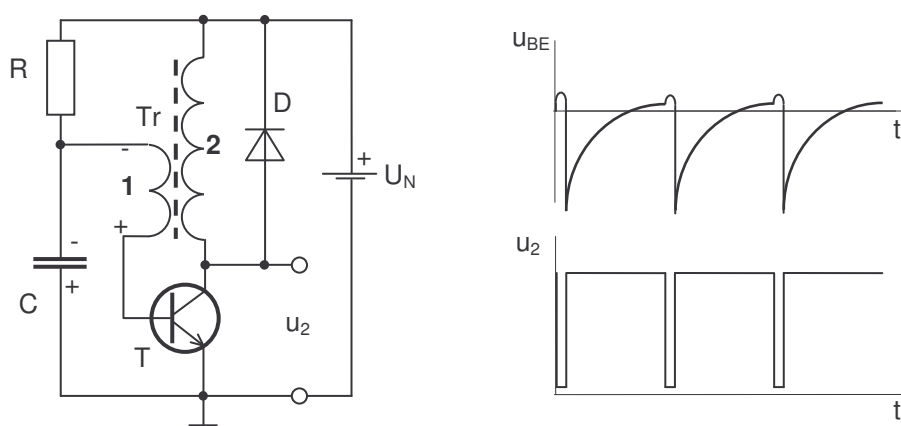
Jestliže se k nabíjení kondenzátoru použije zdroj konstantního proudu, bude napětí na kondenzátoru vzrůstat lineárně. Také vybíjení může být lineární, pokud se kondenzátor C bude vybíjet konstantním proudem. Zapojení oscilátoru lineárního pilovitého průběhu napětí je na obr. 4.20.



Obr. 4.20 Oscilátor lineárního pilovitého průběhu napětí

Ke stabilizaci proudu je použita proudová záporná zpětná vazba. Zenerova dioda ve stabilizátoru nabíjecího proudu a LED dioda (má difusní napětí cca 2 V) ve stabilizátoru vybíjecího proudu udržují konstantní napětí na bázích tranzistorů T_1 a T_3 . Při změně proudu tranzistorem se změní úbytek napětí na odporu v emitoru a tím se napětí U_{BE} zvětší nebo zmenší a tím se tranzistor buď více otevře nebo přivře a proud jím tekoucí bude konstantní. Kondenzátor C se lineárně nabíjí menším proudem ze zdroje U_{N1} přes tranzistor T_1 (jeho hodnotu určuje velikost odporu $2R$). Po jeho nabití na hodnotu napětí U_{ref} komparátor (jeho funkce bude probrána v klopných obvodech) překlápí a kondenzátor C se začne větším proudem lineárně vybíjet přes T_2 , T_3 a odpor R . Hodnotami odporů $2R$ a R je určena doba nabíjení a vybíjení kondenzátoru C .

4.2.1.2 Blokovací (rázovací) oscilátor



Obr. 4.21 Blokovací oscilátor s průběhy napětí

Je to astabilní klopný obvod (nemá žádný stabilní stav), který je zdrojem velmi krátkých, periodicky se opakujících impulsů (řádově μsec až nsec). Po připojení napájecího napětí ze zdroje U_N , se začne kondenzátor C přes odpor R nabíjet. Po dosažení hodnoty difusního napětí přechodu B-E začne téci proud přes vinutí 1 transformátoru Tr a přechod B-E. Tranzistor T se začne otevírat. Nárůst kolektorového proudu I_C vinutím 2 transformátoru Tr způsobí nárůst magnetického toku v transformátoru. Tím se začne indukovat napětí do vinutí 1 vyznačené polarity, kterým se přes přechod B-E začne nabíjet kondenzátor C a tím proud I_B přechodem B-E se bude ještě více zvětšovat. Nárůst I_B způsobí další zvětšování I_C a to až do saturace tranzistoru. Proud I_C se přestane zvětšovat, magnetický tok měnit, indukované napětí ve vinutí 1 zmizí a na bázi se přes vinutí 1 dostane záporné napětí nabitého kondenzátoru C , které tranzistor uzavře na dobu, než se kondenzátor C vybijí přes vnitřní odpor zdroje U_N a odpor R . Potom se děj opakuje.

Paralelně k vinutí 2 je připojena tzv. nulovací dioda D . Zavřením tranzistoru se ve vinutí 2 indukují veliké napětí, které může prorazit tranzistor. Nulovací dioda toto indukované napětí zkratuje. Používá se všude, kde se tranzistorem spíná proud do indukčnosti (např. spínání relé).

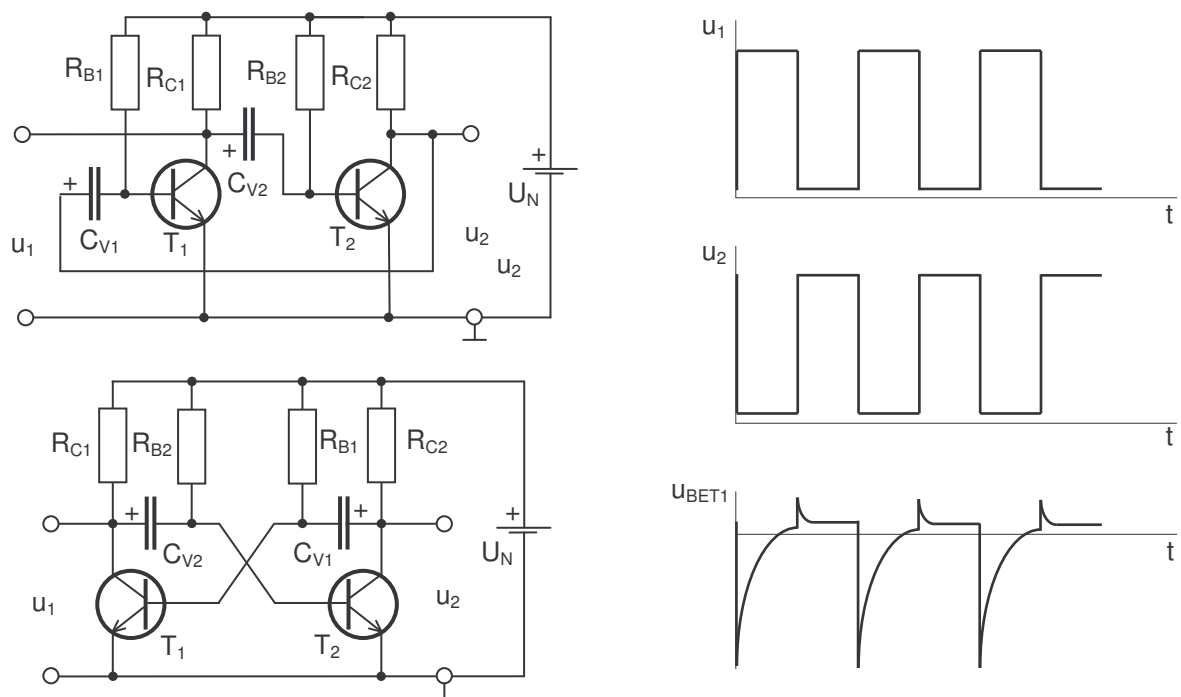
Otevření tranzistoru lze urychlit přivedením kladného impulsu do báze zavřeného tranzistoru – princip synchronizace.

4.2.1.3 Multivibrátor

Je dalším zapojení astabilního klopného obvodu (obr. 4.22). Dá se realizovat i pomocí OZ, číslicových obvodů a časovačů.

V klasickém zapojení je to dvoustupňový zesilovač s kapacitní vazbou mezi stupni, ve kterém je zavedena stoprocentní kladná zpětná vazba. Tranzistory pracují jako spínače – jeden je vždy otevřený a druhý zavřený a naopak. Přechod z jednoho stavu do druhého je vlivem silné kladné zpětné vazby velmi rychlý.

Po připojení napájecího napětí se oba tranzistory začnou otevírat, ale i při symetrickém zapojení se jeden tranzistor otevírá rychleji než druhý a tím se druhý uzavře. V našem případě (podle průběhů výstupních napětí na obr. 4.21) se otevřel tranzistor T_2 a T_1 se zavřel. Hodnota napětí u_1 (u_1 není napětím vstupním, ale také výstupním) je prakticky rovna napájecímu napětí. Přes R_{C1} a otevřený přechod B-E tranzistoru T_2 se nabije kondenzátor C_{V2} ze zdroje na napětí $U_N - U_{BE T2}$. Potom se také začne otevírat i tranzistor T_1 . Jeho kolektorové napětí u_1 poklesne, a tento pokles se přenesení přes kondenzátor C_{V2} jako záporný impuls na bázi otevřeného tranzistoru T_2 , který se tímto záporným impulsem začne zavírat. Kolektorové napětí u_2 tranzistoru T_2 vzroste, což se přenesení přes C_{V1} na bázi otevírajícího se T_1 jako kladný impuls a urychlí jeho otevření. Tím se T_1 otevře a T_2 zavře – obvod překloupí. Přes otevřený T_1 se uzemní + elektroda kondenzátoru C_{V2} a tím se na bázi tranzistoru T_2 objeví záporné napětí, které bude udržovat tranzistor T_2 uzavřený do doby, než se kondenzátor C_{V2} vybijí a to přes otevřený T_1 , vnitřní odpor zdroje napětí U_N a odpor R_{B2} (částečně se C_{V2} vybijí i přes odpor R_{C1}). Především časovou konstantou $\tau_2 = R_{B2} \cdot C_{V2}$ je určena doba uzavření T_2 . Mezitím se nabil kondenzátor C_{V1} . Po vybití C_{V2} se T_2 také začne otevírat. Jeho kolektorové napětí u_2 poklesne, což se přenesení jako záporný impuls přes C_{V1} na bázi otevřeného T_1 a ten se začne zavírat. Děj se opakuje. Doba uzavření T_1 určuje časová konstanta $\tau_1 = R_{B1} \cdot C_{V1}$. V případě, že $\tau_1 = \tau_2$ je šířka impulsů a mezera stejná a průběh má „střídu“ 1:1. Výstupní napětí u_1 a



Obr. 4.22 Multivibrátor a časové průběhy napětí v multivibrátoru

u_2 jsou stejně velká a jsou v protifázi. Obvod samovolně překlápá z jednoho stavu do druhého. Překlopení se dá pouze urychlit (a tím kmitočet zvýšit a oscilátor synchronizovat) přivedením kladného impulsu do báze zavřeného tranzistoru nebo záporného impulsu do báze otevřeného tranzistoru.

Výstupní napětí nemají přesně obdélníkový průběh, ale nabíjením vazebních kondenzátorů přes kolektorové obvody dojde ke zkreslení. Tvar výstupních napětí potom odpovídá průběhu výstupního napětí z integračního článku s malou časovou konstantou τ . Toto zkreslení se dá zmenšit zapojením nabíjecího obvodu.

Připojením dalšího kondenzátoru paralelně k výstupu se tento kondenzátor bude v době uzavření tranzistoru přes jeho kolektorový odpor pomalu nabíjet a po otevření tranzistoru se přes něj rychle vybije. Tím opět můžeme dostat napětí pilovitého průběhu.