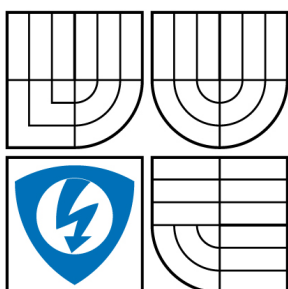




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

LC OSCILÁTORY - LABORATORNÍ ÚLOHA PRO PŘEDMĚT BVMT

LC OSCILLATORS - LABORATORY EXERCISE FOR BVMT COURSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

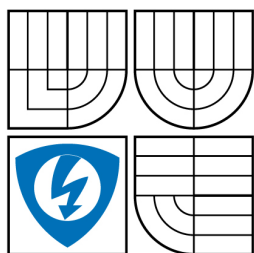
PAVEL ČERVINKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ URBANEC, Ph.D.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Pavel Červinka

ID: 78213

Ročník: 3

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

LC oscilátory - laboratorní úloha pro předmět BVMT

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s principy činnosti a jednotlivými typy LC oscilátorů. Popište principy návrhu jednotlivých oscilátorů a jejich vlastnosti. Realizujte alespoň dva přípravy pro měření parametrů oscilátorů. Navrhněte zadání laboratorní úlohy, vzorový protokol a proveďte ověřovací měření úlohy.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] ŽALUD, V. Moderní radioelektronika. Praha: BEN-technická literatura, 2000, ISBN 80-86056-47-3.

[2] HANUS, S., SVAČINA, J. Vysokofrekvenční a mikrovlnná technika. Brno: FEKT VUT v Brně, 2004.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 5.6.2009

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Urbanec, Ph.D.

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Anotace:

Tato bakalářská práce pojednává o LC oscilátorech. Popisuje základní princip a činnost oscilátorů. Seznamuje nás s jednotlivými druhy těchto oscilátorů, jejich schémata a principem. Práce se zabývá dvoubodovými, třibodovými, zpětnovazebními oscilátory a oscilátory se záporným diferenciálním odporem.

Dále byl vybrán, navržen a podrobněji rozebrán Colpittsův a jeden z krystalových oscilátorů. Jsou uvedena jejich schémata zapojení, navržené desky plošných spojů. Dále tyto oscilátory byly realizovány a jsou uvedeny jejich naměřené parametry.

Annotation:

This bachelor thesis speaks about LC oscillators. It describes basic principle and operation of oscillators. It introduces us with individual points of these oscillators, their charts and princip. This work deals two-points, three-points and feedback oscillators and oscillators with negative differential resistance.

Then it was choosen, designed, further dismantled the Colpitts and one of the crystal oscillator. There are their wiring diagrams, printed circuit boards designed. Then these oscillators were made and are given their measured parameters.

Klíčová slova:

LC oscilátory, dvoubodový oscilátor, oscilátor se záporným diferenciálním odporem, zpětnovazební oscilátor, třibodový, krystalový a přeladitelný oscilátor, Hartleyův, Colpittsův, Clappův oscilátor.

Keywords:

LC oscillators, two – points oscillator, oscillators with negative differential resistance, feedback oscillators, three-points oscillators, crystal and retune oscillator, Hartley's, Colpitts's and Clapp's oscillator.

Bibliografická citace mé práce:

ČERVINKA, P. *LC oscilátory - laboratorní úloha pro předmět BVMT*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 34 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Urbanec, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Oscilátory - laboratorní úloha pro předmět BVMT jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 5. června 2009

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Urbancovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 5. června 2009

.....
podpis autora

Obsah

Obsah.....	6
Seznam obrázků a tabulek	7
1 Úvod	8
2 Funkce oscilátoru	8
3 Základní vlastnosti.....	9
4 Typy oscilátorů	10
4.1 Dvoubodové oscilátory.....	10
4.1.1 Oscilátory se záporným diferenciálním odporem.....	11
4.1.2 Oscilátory s tunelovou diodou.....	12
4.2 Zpětnovazební oscilátory	13
4.2.1 Oscilátor s induktivní vazbou	14
4.3 Tříbodové oscilátory.....	16
4.3.1 Hartleyův oscilátor	17
4.3.2 Colpittsův oscilátor.....	18
4.3.3 Clappův oscilátor	18
4.3.4 Krystalové oscilátory.....	19
4.3.5 Přeladitelné oscilátory.....	21
5 Návrh zapojení	23
5.1 Realizace Colpittsova oscilátoru	23
5.1.1 Výsledky měření	25
5.2 Krystalový oscilátor	28
6 Závěr	29
7 Použitá literatura.....	30
8 Přílohy	31
8.1 Dokumentace ke Colpittsova oscilátoru	31
8.2 Dokumentace ke krystalovému oscilátoru.....	32
9 Seznam součástek	33

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 3.1 a) stabilita kmitočtu b) přesnost kmitočtu [3].....	9
Obr. 3.2 Amplitudový a fázový šum [3]	9
Obr. 4.1 Blokové schéma dvoubodového oscilátoru.....	11
Obr. 4.2 Provedení záporného diferenciálního odporu	11
Obr. 4.3 Zapojení oscilátoru se záporným diferenciálním odporem.....	11
Obr. 4.4 Ampérovoltová charakteristika typu S a typu N [3]	13
Obr. 4.5 Schéma oscilátoru s tunelovou diodou	13
Obr. 4.6 Blokové schéma zpětnovazebního oscilátoru	14
Obr. 4.7 Základní zapojení zpětnovazebních oscilátorů	15
Obr. 4.8 a) Meissnerův oscilátor b) Reinartsův oscilátor	16
Obr. 4.9 Blokové schéma třibodového oscilátoru	17
Obr. 4.10 Základní zapojení příklad Hartleyova oscilátorů	17
Obr. 4.11 Základní zapojení a příklad schématu Colpittsova oscilátoru	18
Obr. 4.12 Základní zapojení a příklad Clappova oscilátoru	19
Obr. 4.13 Základní třibodové zapojení krystalových oscilátorů.....	20
Obr. 4.14 a) Pierceův oscilátor b) Clappův oscilátor c) Colpittsův oscilátor	20
Obr. 4.15 Základní zapojení oscilátorů pracujících na kmitočtu sériové rezonance	20
Obr. 4.16 Příklad zapojení oscilátorů s krystalem ve zpětné vazbě.....	21
Obr. 4.17 Závislost kapacity diody na napětí [3]	21
Obr. 4.18 Oscilátor s kapacitní diodou.....	22
Obr. 5.1 Schéma realizovaného Colpittsova oscilátoru	23
Obr. 5.2 Závislost výstupního napětí na frekvenci	25
Obr. 5.3 Závislost frekvence na napětí varikapu.....	26
Obr. 5.4 Schéma testovaného obvodu	27
Obr. 5.5 Výsledný průběh.....	28
Obr. 5.6 Schéma krystalového oscilátoru	28
Obr. 8.1 Schéma Colpittsova oscilátoru	31
Obr. 8.2 Deska plošných spojů (50 x 33 mm).....	31
Obr. 8.3 Osazení desky plošných spojů (50 x 33 mm)	31
Obr. 8.4 Schéma krystalového oscilátoru	32
Obr. 8.5 Deska plošných spojů (44,5 x 35,5 mm).....	32
Obr. 8.6 Osazení desky plošných spojů (44,5 x 35,5 mm)	32
Tabulka 1 Závislost výstupního napětí na frekvenci	25
Tabulka 2 Vypočtené a naměřené hodnoty Colpittsova oscilátoru	25
Tabulka 3 Seznam součástek pro Colpittsův oscilátor	33
Tabulka 4 Seznam součástek pro krystalový oscilátor	34

1 Úvod

Tato bakalářská práce se bude zabývat principy LC oscilátorů a vytvořením laboratorní úlohy pro předmět vysokofrekvenční a mikrovlnná technika. Tento předmět se vyučuje v bakalářském studiu Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií na Vysokém učení technickém v Brně.

Druhá kapitola této práce se zabývá základním principem oscilátorů. Třetí kapitola popisuje a rozebírá jejich základní vlastnosti.

Ve čtvrté kapitole jsou popsány a rozebrány jednotlivé druhy LC oscilátorů. U jednotlivých druhů jsou uvedeny schémata principu a uvádí nejznámější schémata zapojení.

V páté kapitole je rozebrán podrobněji Colpittsov oscilátor a krystalový oscilátor. Dále je uvedeno schéma zapojení a popisem jejich součástí. Nakonec práce jsou uvedeny navržené desky plošných spojů k těmto dvěma oscilátorům.

2 Funkce oscilátoru

Obecně jsou oscilátory zařízení, která generují harmonický signál, tedy signály periodicky proměnné. Nebo z jiného pohledu, jako měniče stejnosměrné energie na střídavou energii. LC oscilátory jsou hlavně používány pro vysokofrekvenční signál. Využívají sériový nebo paralelní LC obvod. Po přivedení elektrické energie na tento obvod, se rozkmitá na rezonančním kmitočtu daným parametry součástí. Tyto kmity by byly netlumené, pokud by se jednalo o ideální součástky. U reálných součástí však dochází k útlumu těchto kmitů a je nutné do zapojení přidat aktivní prvek. Aktivní prvek se liší podle druhů oscilátorů, používá se buď tunelová dioda anebo častěji tranzistor (bipolární, FET). O jednotlivých typech těchto obvodů se dozvíme v další kapitole.

Pro správnou funkci, musí oscilátor splňovat amplitudovou a fázovou podmínku. Oscilátor kmitá periodickými netlumenými kmity stálou amplitudou, pokud zeslabení v pasivní části, se rovná zesílení v aktivní části a ruší se fázové posuny. Matematicky je to vyjádřeno následovně:

$$1 = \bar{A} \cdot \bar{\beta} = |\bar{A}| \cdot |\bar{\beta}| \cdot e^{j(\varphi_A + \varphi_B)} \quad (1)$$

Ze předchozího vztahu vyplývají následující dvě podmínky, amplitudová vztah 2 a fázová vztah 3:

$$|\bar{A}| \cdot |\bar{\beta}| = 1 \quad \varphi_A + \varphi_B = 0 \quad (2, 3)$$

Činitel jakosti Q u LC obvodu musí být co nejvyšší z důvodu spektrální čistoty výstupního signálu. Rezonanční kmitočet f_0 signálu na výstupu LC obvodu se nazývá jako Thomsonův vztah a je odvozen následovně:

$$\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad (4)$$

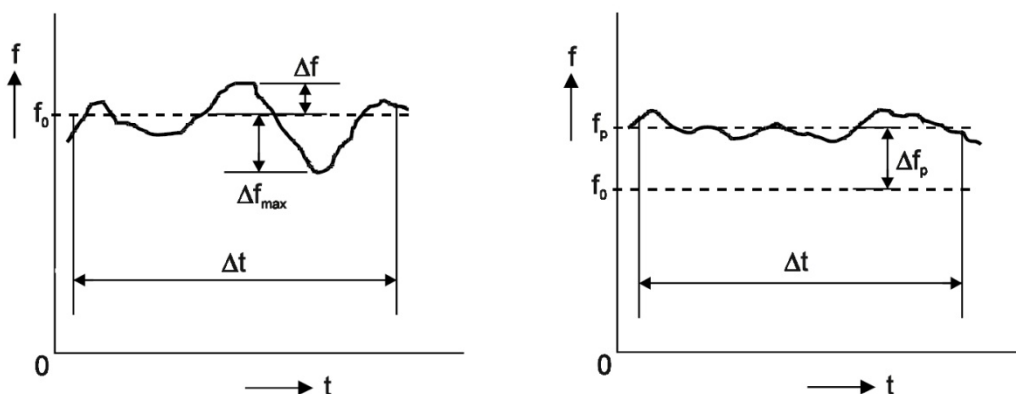
$$\omega^2 \cdot L \cdot C = 1 \quad (5)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\cdot C}} \quad [Hz] \quad (6)$$

3 Základní vlastnosti

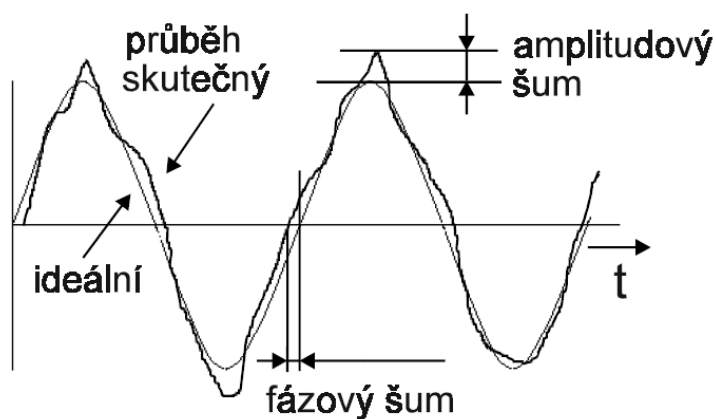
Všechny oscilátory můžeme charakterizovat následujícími třemi základními parametry:

Prvním parametrem je stabilita kmitočtu. Je to míra změny kmitočtu s časem. Číselně se vyjadřuje jako největší změna frekvence Δf_{\max} , oproti referenční (nosné) frekvenci f_0 v určitém časovém úseku Δt [1]. Patrné je to z následujícího obrázku 3.1a. Podle tohoto použitého časového úseku, rozlišujeme dva druhy stability kmitočtu. Do časového intervalu 1s se jedná o krátkodobou stabilitu. Oproti tomu dlouhodobá stabilita je v případě, je-li použit časový úsek větší než 1s.



Obr. 3.1 a) stabilita kmitočtu b) přesnost kmitočtu [3]

Dalším parametrem je přesnost kmitočtu, který je vyjádřen odchylkou Δf_p oproti referenční frekvenci f_0 v určitém časovém úseku Δt . Střední hodnota kmitočtu f_p se určí z časového průběhu okamžitého kmitočtu v intervalu Δt [2]. Potom se, ze změřených kmitočtů f_p a f_0 určí přesnost kmitočtu. Názorně je to zobrazeno na obrázku 3.1b.



Obr. 3.2 Amplitudový a fázový šum [3]

Třetím parametrem je šum. Rozlišujeme dva druhy šumu, amplitudový a fázový [3]. Amplitudový šum jsou nazývány náhodné a rychlé změny okamžité velikosti signálu. Jinými slovy jsou to rychlé a náhodné změny amplitudy. Tento šum bývá ve většině případů zanedbatelný. Druhým typem šumu je fázový šum. Z obrázku 3.2 je patrné, že průchod skutečného signálu, přes nulu je na časové ose posunutý oproti průchodu signálu ideálního. Tento rozdíl mezi skutečným a ideálním průběhem se nazývá fázový šum. Tento šum bývá intenzivní, a proto ho nemůžeme zanedbat. Na typickém průběhu spektra výstupního signálu, je spektrum souměrné podle referenční frekvence f_0 , uvažuje se jedno postranní pásmo označované SSB. Fázový šum je pak definován na ofsetovém kmitočtu f_m vztahem [1]:

$$\alpha(f_m) = \frac{P_{SSB}}{P_C} \quad [Hz^{-1}] \quad (7)$$

V decibelovém vyjádření:

$$\alpha_{dB}(f_m) = 10 \cdot \log \frac{P_{SSB}}{P_C} \quad [dBc \cdot Hz^{-1}] \quad (8)$$

kde P_{SSB} je hustota signálu v pásmu 1 Hz na kmitočtu f_m a P_C je celkový výkon nosného signálu o kmitočtu f_0 . Výsledná jednotka dBc naznačuje, že se jedná o poměrné vyjádření vztahené k výkonu nosné.

4 Typy oscilátorů

Oscilátory lze rozdělit podle více hledisek. Podle použitého obvodu pro vytvoření rezonance a to na oscilátory RC, kde rezonanční kmitočet určuje paralelní nebo sériový RC obvod. Tyto obvody jsou určeny pro oblast do 1MHz [4].

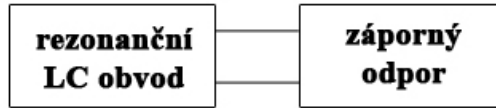
Druhým typem jsou oscilátory s piezokrystalovým rezonátorem. Posledním typem jsou LC oscilátory, které využívají pro vytvoření rezonance sériový nebo paralelní LC obvod. Obvody jsou určeny pro oblast 10 kHz až 100MHz. Tímto druhem se budeme v této práci podrobněji zabývat.

Dalším hlediskem rozdělení je princip jejich činnosti na tři skupiny. Prvním typem oscilátorů jsou oscilátory reflexní, nebo zvané dvoubodové oscilátory. Využívají pro svůj princip záporným diferenciální odpor.

Podle tohoto hlediska jsou druhým typem, oscilátory zpětnovazební. Základním prvkem je zesilovač s kladou zpětnou vazbu. Třetím a posledním typem jsou tři bodové oscilátory. Tento název mají podle toho, že propojení zesilovací části a zpětnovazební je ve třech bodech. Tímto rozdělením podle principu činnosti se budeme zabývat podrobněji v následující kapitole.

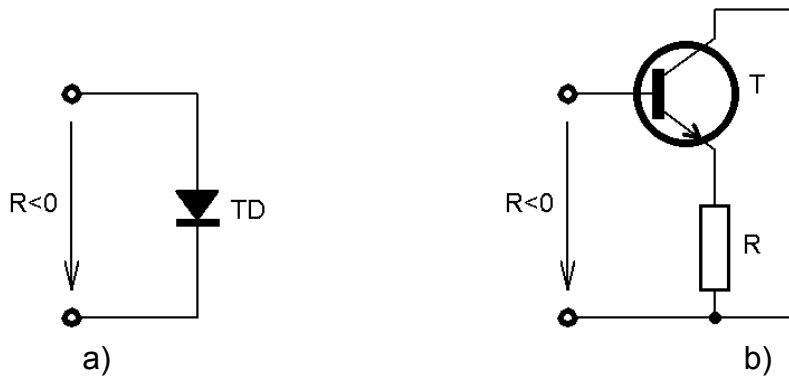
4.1 Dvoubodové oscilátory

Do této kategorie patří obvody se záporným diferenciálním odporem, s tunelovou diodou, nebo lavinovou čtyřvrstvou diodou. Blokované schéma tohoto zapojení je na obrázku 4.1.



Obr. 4.1 Blokové schéma dvoubodového oscilátoru

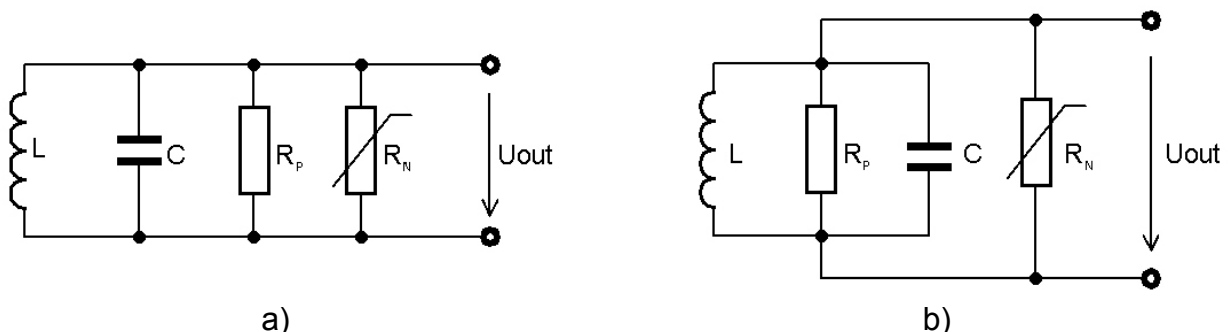
Obsahuje rezonanční obvod, v našem případě LC rezonanční obvod. Dále obsahuje záporný odpor, který může tvořit zapojení zobrazené na obrázku 4.2. Pro případ 4.2a se jedná o tunelovou diodu a v případě 4.2b využívá vhodné zpětné vazby brány tranzistoru, při které má záporný vstupní odpor.



Obr. 4.2 Provedení záporného diferenciálního odporu
a) Tunelová dioda b) záporná zpětná vazba

4.1.1 Oscilátory se záporným diferenciálním odporem

Prvním typem, kterým se budeme zabývat, jsou oscilátory se záporným diferenciálním odporem. Jejich principiální zapojení dvoubodových zapojení se nachází na obrázku 4.3 [4]. Jedná se o zapojení se záporným diferenciálním odporem a paralelním nebo sériovým rezonančním obvodem.



Obr. 4.3 Zapojení oscilátoru se záporným diferenciálním odporem
a) se sériovým rezonančním obvodem b) s paralelním rezonančním obvodem

Princip spočívá ve vykompenzování odporu R_p diferenciálním záporným odporem R_N . To znamená, že pro správnou funkci oscilátoru je třeba splnit podmínku

$R_p = |R_N|$, matematicky je podmínka vyjádřena níže. Je-li v sériovém zapojení na obrázku 4.3a kondenzátor C nabitý napětím U a je odpor $R_N < 0$ tak pak platí:

$$L \frac{di}{dt} + (R_S + R_N)i + \frac{1}{C} \int i dt = 0 \quad (9)$$

Tuto rovnici derivujeme a podělíme indukčností L:

$$\frac{di^2}{dt^2} + \frac{R_p + R_N}{L} \cdot \frac{di}{dt} + \frac{1}{L \cdot C} i = 0 \quad (10)$$

Výsledkem je diferenciální rovnice druhého řádu s konstantními koeficienty. První člen derivace je označován jako dvojnásobek činitele tlumení δ a musí se rovnat nule, aby vznikly harmonické kmity, tedy:

$$a_1(y) = \frac{R_p + R_N}{L} = 2\delta = 0 \quad \rightarrow \quad R_p = |R_N| \quad (11)$$

Bude-li $R_p > |R_N|$ vzniknou kmity, které budou tlumené. Naopak bude-li $R_p < |R_N|$ budou kmity exponenciálně narůstat.

Poté kmitočet vzniklých harmonických kmitů:

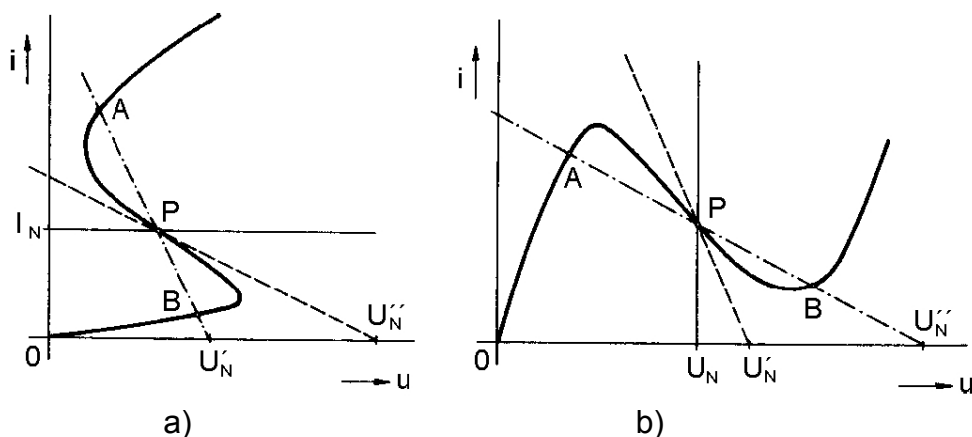
$$a_0(y) = \omega^2 = \frac{1}{L \cdot C} \quad \rightarrow \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \quad (12)$$

Obdobným způsobem pro paralelní obvod, je-li $R_p > |R_N|$ kmity exponenciálně rostou, při $R_p < |R_N|$ jsou kmity tlumené.

4.1.2 Oscilátory s tunelovou diodou

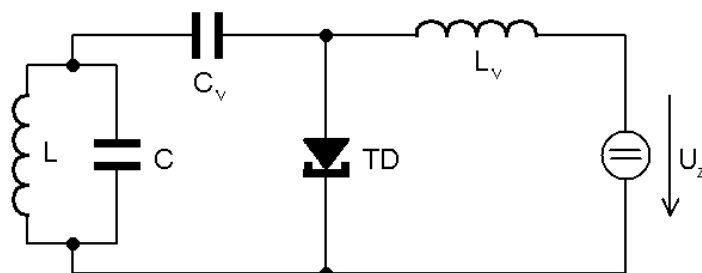
Druhým typem, v této kategorii dvoubodových oscilátorů, jsou oscilátory s tunelovou (čtyřvrstvou) diodou a oscilátory, které využívají aktivní obvod (obrázek 4.2b) s vhodnou výstupní zátěží, nebo vhodné zpětné vazbě. Protože v těchto případech mají také záporný vstupní odpor.

Tunelová dioda je používána při stejnosměrné polarizaci do oblasti záporného vnitřního odporu. Charakteristika této diody může mít dva tvary nazývané, charakteristika typu N (obrázek 4.4a) a charakteristika typu S (obrázek 4.4b).



Obr. 4.4 Ampérvoltová charakteristika typu S a typu N [3]

Vhodné zapojení pro první typ tunelové diody, tedy typ N, je paralelní rezonanční obvod. Pro typ S je vhodné zapojení sériového rezonančního obvodu. Konkrétní schéma oscilátoru s tunelovou diodou se nachází na obrázku 4.5. Toto zapojení obsahuje kmitavý paralelní LC obvod, tvořený cívku L, kondenzátorem C a odporem R_P , který je vnitřní odpor cívky a kondenzátoru. Dále zapojení obsahuje vazební kondenzátor a vazební cívku C_V resp. L_V . Mezi tyto vazební součástky je připojena tunelová dioda TD. Celý obvod je stejnosměrně napájen zdrojem U_Z .



Obr. 4.5 Schéma oscilátoru s tunelovou diodou

4.2 Zpětnovazební oscilátory

Základní schéma těchto oscilátorů je na obrázku 4.6. Hlavním prvkem je zesilovač s napěťovým zesílením A_U . Pro kladnou zpětnou vazbu daný vztahem:

$$A'_U = \frac{A_U}{1 - \beta \cdot A_U} \quad (13)$$

Na vstup tohoto zesilovače je přivedena kladná zpětná vazba, která nese označení β a jedná se o činitele zpětné vazby a je dán vztahem:

$$\beta = \frac{U_{ZP}}{U_{OUT}} \quad (14)$$



Obr. 4.6 Blokové schéma zpětnovazebního oscilátoru

Pro správný start těchto zpětnovazebních oscilátoru je nutný vyšší počáteční stav amplitudové podmínky (vztah 1):

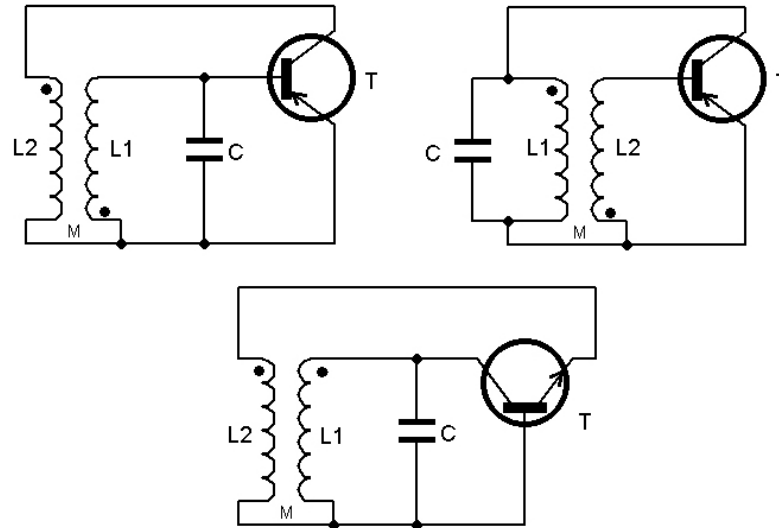
$$A \cdot \beta > 1 \quad (15)$$

Tedy pro počáteční stav oscilátoru musí být zesílení větší než ztráty v obvodu. Toto je zajištěno automatickou regulací zesílení, přenosu ve zpětné vazbě, což je docíleno otevíráním nebo přivíráním tranzistoru v bloku zesilovače.

4.2.1 Oscilátor s induktivní vazbou

Dalším příkladem zpětnovazebních oscilátorů jsou oscilátory s induktivní vazbou. Základem těchto oscilátorů je laděný obvod, který určuje kmitočet oscilací. Fázovou podmínku splňujeme správnou volbou konců vinutí transformátoru. Tento konec transformátoru volíme podle toho, zda zesilovač obrací nebo neobrací fázi.

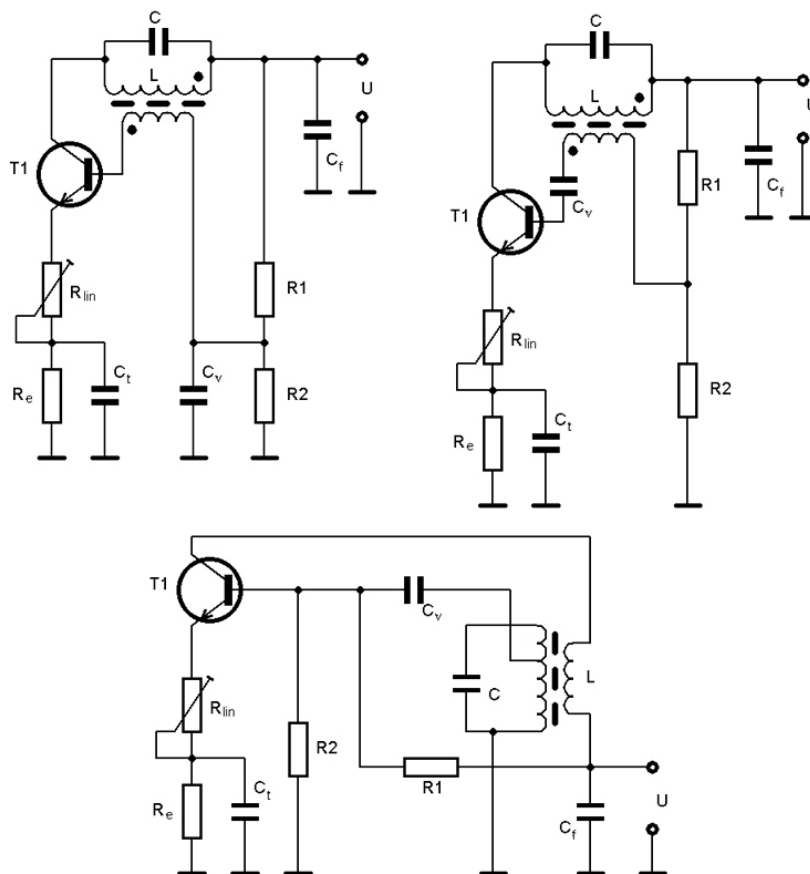
Tato induktivní vazba, je označována M. Oscilátory s induktivní vazbou rozlišujeme podle místa připojení laděného obvodu na dva typy. Jedná se o zapojení do báze nebo kolektoru tranzistoru. Dále tento druh rozlišujeme podle toho, kterou elektrodu mají jednotlivé bloky společné, na společný emitor (SE), společnou bázi (SB) nebo společný kolektor (SC). Základní zapojení se nachází na obrázku 4.7.



Obr. 4.7 Základní zapojení zpětnovazebních oscilátorů

Pro zajištění spektrální čistoty těchto obvodů je nutný vysoký činitel jakosti Q . Pro kmitočtovou stabilitu je potřeba stabilita L a C prvků zejména z hlediska času, teploty a stability napájecího napětí.

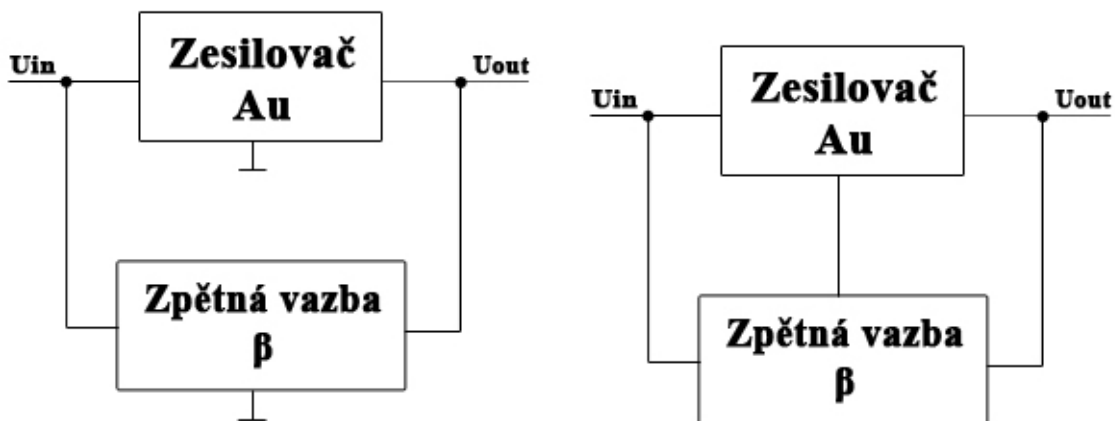
Na obrázku 4.8 jsou uvedena zapojení oscilátorů s induktivní vazbou. Ve všech třech příkladech je tranzistor v zapojené se společným emitorem (SE). Pro zajištění kladné zpětné vazby u těchto zapojení musí zpětnovazební člen také obracet fázi, docíleno je to smyslem vinutí cívek L_1 a L_2 . Mezi nejznámější zapojení této kategorie patří zapojení Meissnerovo, Reinartsovo a Armstrongovo. V zapojení podle Meissnera a Reinartse je kmitavý LC obvod zapojen na kolektor tranzistoru T . V tomto zapojení dochází k menšímu tlumení na tranzistoru z důvodu výstupní vodivosti tranzistoru. Ve třetím, Armstrongově zapojení, je kmitavý obvod připojen přes vazební kondenzátor C_V na emitor tranzistoru a dochází k většímu útlumu než v prvních dvou případech. To má za následek, že zapojení není vhodné pro konstantní kmitočet, ale vhodné pro oscilátory pro přeladování v širším rozsahu.



Obr. 4.8 a) Meissnerův oscilátor b) Reinartsův oscilátor
c) Armstrongův oscilátor

4.3 Tříbodové oscilátory

U těchto oscilátorů, jak již jejich název napovídá, spočívá ve tříbodovém propojení zesilovače a zpětné vazby, tedy spojení je ve třech bodech. Propojení objasňuje blokové schéma na obrázku 4.9. Tento typ obrací fázi signálu o 180° a tím pádem zpětnovazební obvod musí zajistit obracení fáze také o 180° [4,7]. Nejznámějšími zástupci této kategorie je oscilátor Hartleyův a Colpittsův oscilátor a jejich modifikace Clappův oscilátor [1,4].



Obr. 4.9 Blokové schéma třibodového oscilátoru

Pro Hartleyův oscilátor je charakteristickým prvkem induktivní dělič, oproti tomu Colpittsův oscilátor má charakteristický kapacitní dělič.

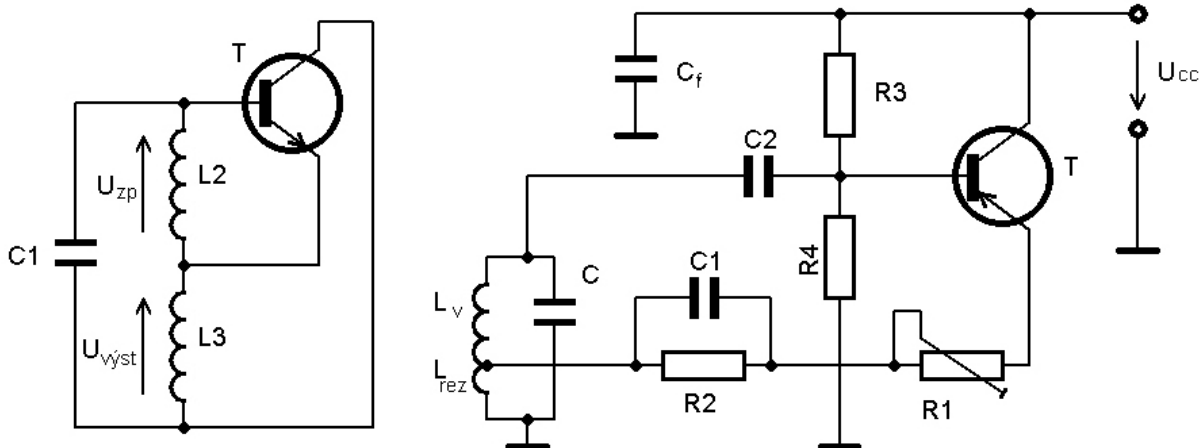
4.3.1 Hartleyův oscilátor

Schéma Hartleyova oscilátoru se nachází na obrázku 4.10. Jedná se o třibodový oscilátor s uzemněnou induktivní odbočkou. Rezonanční obvod je tvořen indukčnostmi L_1 a L_2 a kapacitou C . Pro zapojení z obrázku 4.10 platí pro kmitočet ω_0 a pro modul činitele zpětné vazby β následující vztahy:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{C_1 \cdot (L_1 + L_2)}} \quad (16)$$

$$\beta = \frac{U_{zp}}{U_{výst}} = \frac{\omega_0 \cdot L_2}{\omega_0 \cdot L_3} = \frac{L_2}{L_3} \quad (17)$$

Pokud indukčnosti mají společný magnetický tok, musí se k těmto vztahům brát ohled na vzájemnou indukčnost M . Indukčnosti se v některých případech navine jako jedna cívka s odbočkou připojenou na emitor tranzistoru. Posunem, změnou odbočky na vinutí lze měnit činitel zpětné vazby β .



Obr. 4.10 Základní zapojení příklad Hartleyova oscilátorů

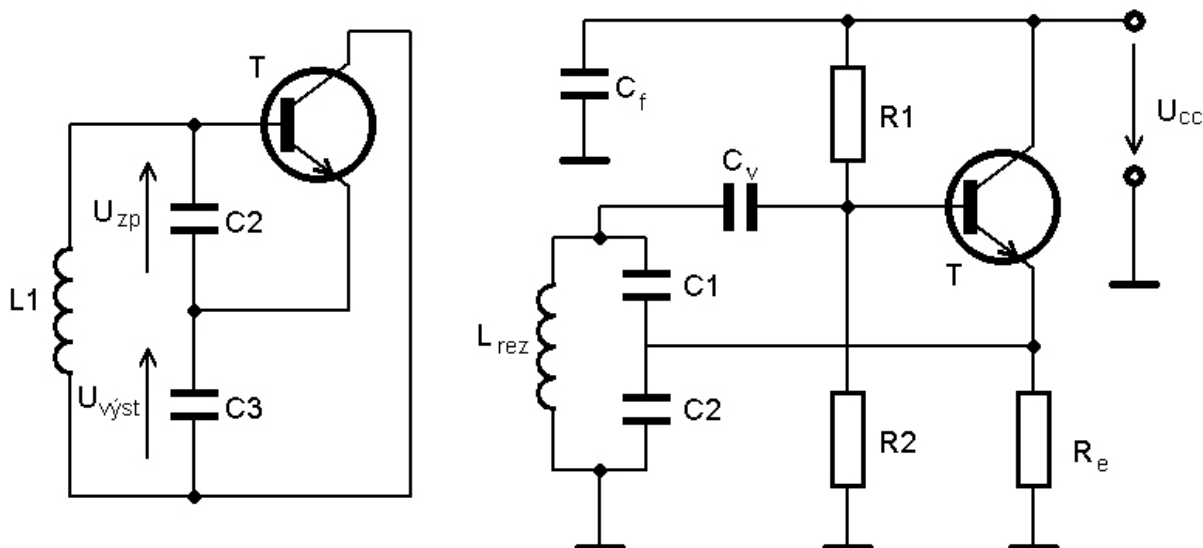
4.3.2 Colpittsův oscilátor

Zpětná vazba je odvozena od paralelního rezonančního obvodu a má uzemněnou kapacitní odbočku. Obsahuje kapacitní dělič, na rozdíl od Hartleyova oscilátoru, který obsahuje induktivní dělič. Schéma zapojení se nachází na následujícím obrázku 4.11. Pro zapojení platí následující vztahy:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 \frac{C_2 \cdot C_3}{C_2 + C_3}}} \quad (18)$$

$$\beta = \frac{U_{zp}}{U_{výst}} = \frac{\frac{1}{\omega_0 \cdot C_2}}{\frac{1}{\omega_0 \cdot C_3}} = \frac{C_3}{C_2} \quad (19)$$

Nevýhodou tohoto zapojení je nestálost rezonančního kmitočtu v závislosti na teplotě a napěťová závislost mezielektrokových kapacit tranzistoru.



Obr. 4.11 Základní zapojení a příklad schématu Colpittsova oscilátoru

4.3.3 Clappův oscilátor

Toto zapojení se nachází na obrázku 4.12. Indukčnost u rezonančního obvodu je zastoupena sériovým rezonančním obvodem LC. Výsledný oscilační kmitočet u tohoto zapojení je o něco vyšší než rezonanční kmitočet kmitavého obvodu. Potom se tento LC obvod chová jako indukčnost a zajišťuje lepší kmitočtovou stabilitu. Omezení vlivu mezielektrokových kapacit tranzistoru mají za příčinu kapacity C_2 a C_3 , pro které platí následující podmínky [3]:

$$C_2 \gg C_{BE} \quad C_3 \gg C_{CE} \quad (20)$$

A zároveň:

$$C_1 \ll C_2 \quad C_1 \ll C_3 \quad (21)$$

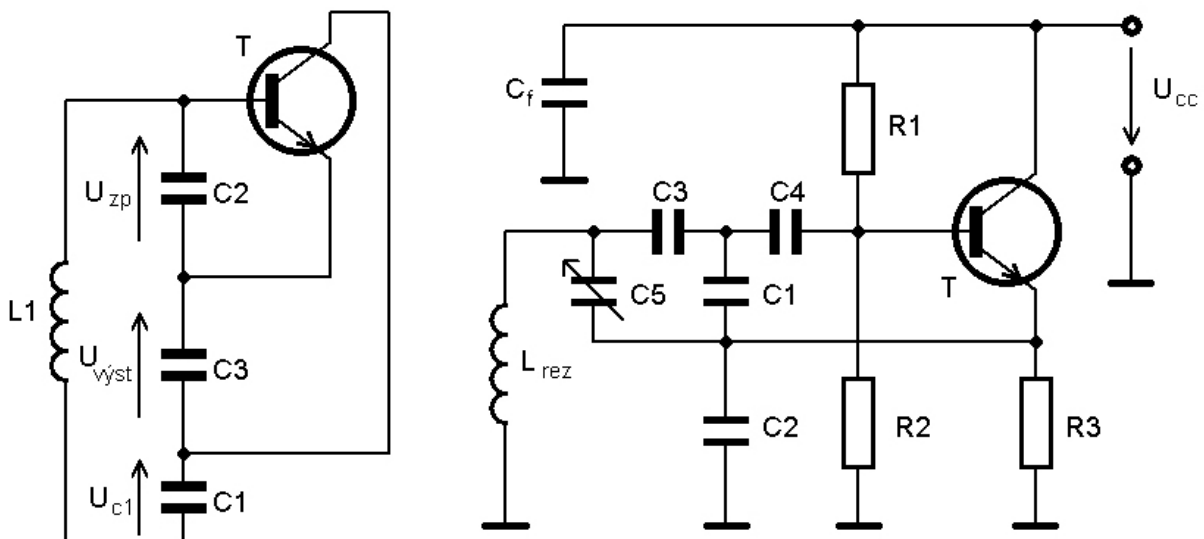
Poté výsledná kapacita obvodu je:

$$C = \frac{C_1 \cdot \frac{C_2 \cdot C_3}{C_2 + C_3}}{C_1 + \frac{C_2 \cdot C_3}{C_2 + C_3}} = \frac{C_1}{\frac{C_1}{C_2 \cdot C_3} + 1} \cong C_1 \quad (22)$$

Dále platí následující vztahy pro rezonanční kmitočet ω_0 a činitel zpětné vazby β :

$$\omega_0 \cong \frac{1}{\sqrt{L_1 \cdot C_1}} \quad (23)$$

$$\beta = \frac{U_{zp}}{U_{výst}} = \frac{\frac{1}{\omega_0 \cdot C_2}}{\frac{1}{\omega_0 \cdot C_3}} = \frac{C_3}{C_2} \quad (24)$$



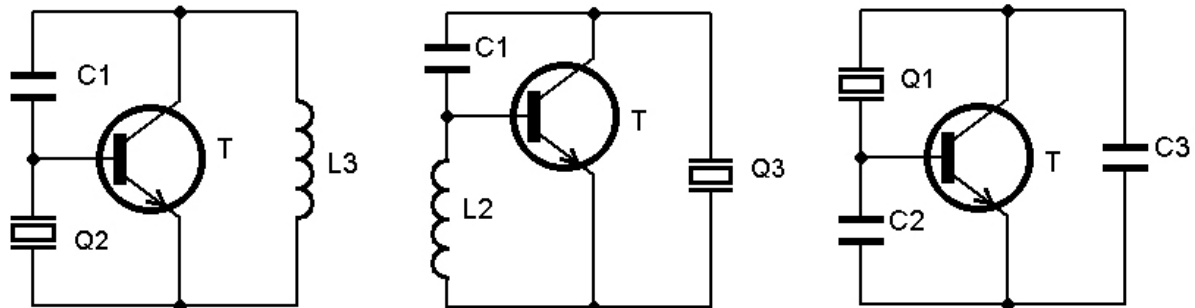
Obr. 4.12 Základní zapojení a příklad Clappova oscilátoru

4.3.4 Krystalové oscilátory

Tyto oscilátory používají jako rezonátor krystal, neboli piezokrystalový rezonátor. Krystal je výbrus z krystalu křemene nebo turmalínu do čtyřhranné nebo kruhové destičky, na kterou jsou naneseny kovové elektrody. Jako náhradní obvod se udává sériový laděný RLC obvod. Piezokrystalový rezonátor (krystal) má vysoký činitel jakosti řádově 10^4 až 10^6 a to zaručuje vysokou stabilitu a přesnost rezonančního kmitočtu, řádově 10^{-5} až 10^{-9} /hod [3]. Doladování těchto oscilátorů je pouze v malém rozsahu kmitočtů pomocí reaktance zapojené sériově nebo paralelně ke krystalu. Jiné doladování kmitočtu je moc neúčinné.

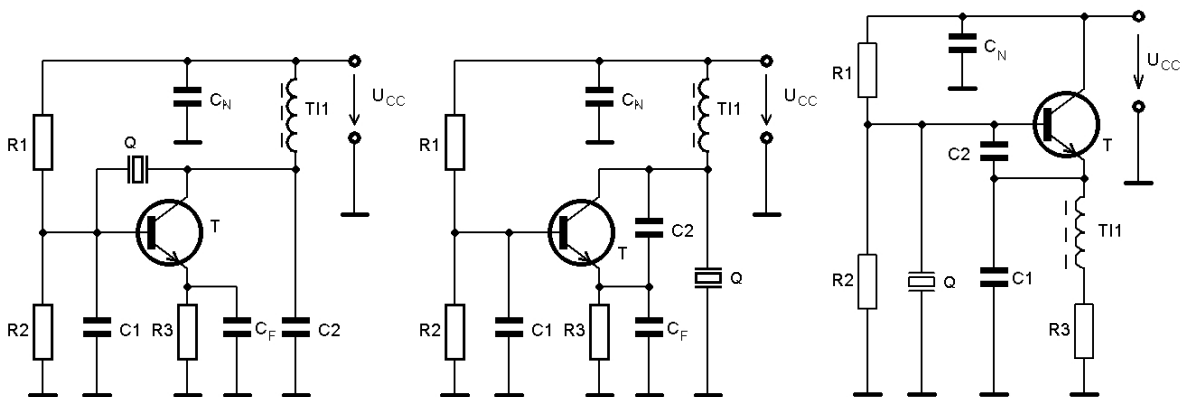
Podle zapojení krystalu do obvodu oscilátoru rozeznáváme tři základní zapojení krystalových oscilátorů. První kategorie jsou základní tříbodové zapojení, zobrazené na obrázku 4.13, ve kterém krystal umístíme mezi dvě libovolné elektrody tranzistoru

místo reaktance. První zapojení na obrázku 4.13 [3] se nepoužívá z důvodu velké vstupní admittance a tím snížený činitel jakosti a stability oscilátor. Další dvě zapojení, pracují mezi sériovou a paralelní rezonancí, blíže k paralelní rezonanci a mají induktivní charakter. Doladování u toho typu se provádí pomocí paralelně zapojené reaktance ke krystalu. Třetí zapojení je nejčastěji používané.



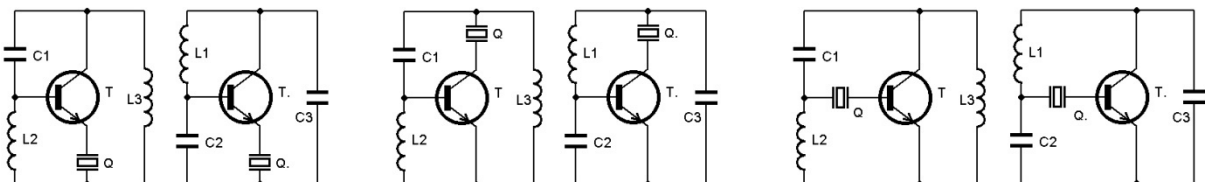
Obr. 4.13 Základní třibodové zapojení krystalových oscilátorů

Pracuje-li v zapojení se společným emitorem SE, jedná se o Pierceův oscilátor, obrázek 4.14a. Je-li tranzistor zapojen se společným kolektorem SC, jedná se o Colpittsův oscilátor (obrázek 4.14b). Je-li tranzistor zapojen se společnouází SB, jedná se o Clappovo zapojení (obrázek 4.14c).



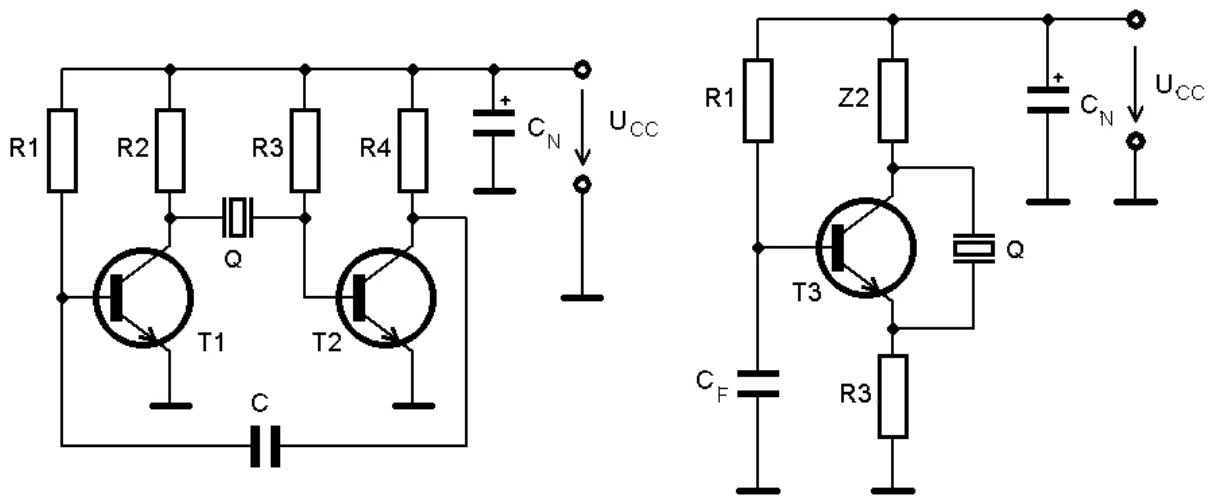
Obr. 4.14 a) Pierceův oscilátor b) Clappův oscilátor c) Colpittsův oscilátor

Druhým typem krystalových oscilátorů jsou oscilátory, které pracují v oblasti sériové rezonance. Tento typ má krystal připojen přímo na některou z elektrod tranzistoru. Základní zapojení se nachází na obrázku 4.15 [3].



Obr. 4.15 Základní zapojení oscilátorů pracujících na kmitočtu sériové rezonance

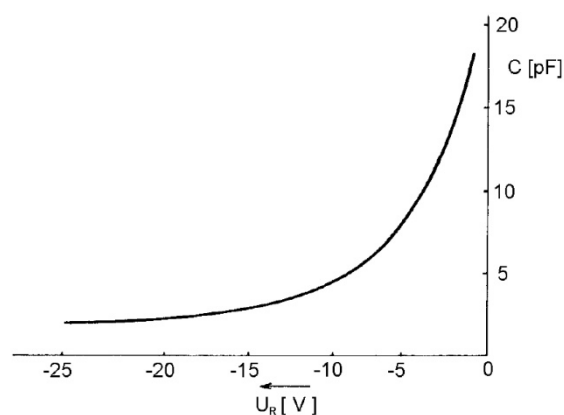
Posledním typem těchto oscilátorů jsou oscilátory, ve kterých je krystal zapojen do kladné zpětné vazby. Příklad zapojení se nachází na obrázku 4.16. Tato zapojení mohou obsahovat i dva tranzistory, jak ukazuje první zapojení na obrázku 4.16.



Obr. 4.16 Příklad zapojení oscilátorů s krystalem ve zpětné vazbě

4.3.5 Přeladitelné oscilátory

Oscilátory v této skupině umožňují přeladování výsledného generovaného harmonického signálu v určitém rozsahu. Změnu kmitočtu lze docílit změnou kapacity nebo indukčnosti v zapojení, obě metody byly dříve hojně využívány. Dnes se využívají varikapy neboli kapacitní diody. U těchto diod se využívá závislost kapacity C na přechodu PN na velikosti přivedeného napětí v závěrném směru. Tato závislost je zobrazena na obrázku 4.17. Oscilátory s kapacitní diodou se nazývají oscilátory řízené napětím VCO (Voltage Controlled Oscillators). Příklad zapojení se nachází na obrázku 4.18. Stabilita zmíněných přeladitelných oscilátorů se pohybuje v rozmezí $10^{-3} \div 10^{-4}$ /hod [3].

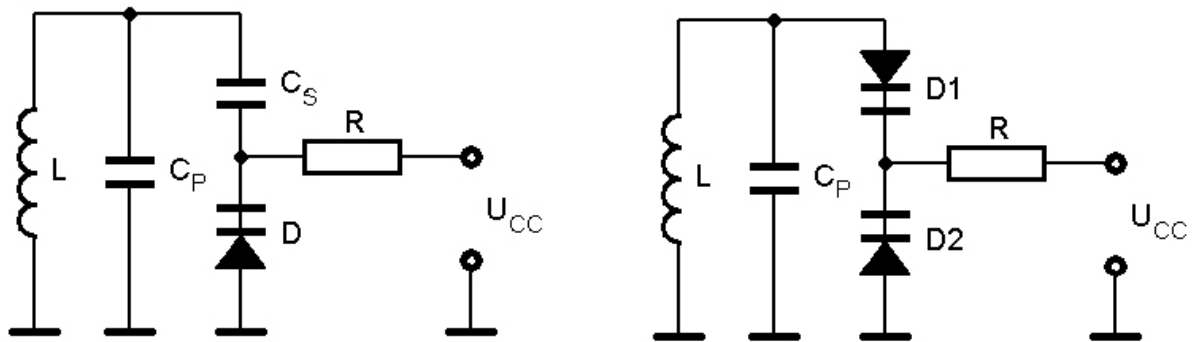


Obr. 4.17 Závislost kapacity diody na napětí [3]

První zapojení s jednou kapacitní diodou je určeno pro nízké napětí na paralelním rezonančním obvodu, které musí být zanedbatelné, vůči napětí na rezistoru R . Není-li toto splněno vznikají parazitní kmitočtové modulace a ovlivňuje to

kapacitu diody D. Dále je v zapojení kondenzátor C_S , který slouží pro oddělení střídavé a stejnosměrné složky a musí splňovat podmínku $C_S \gg C$. Dále, aby došlo ke snížení činitele jakosti rezonančního obvodu, musí odpor R mít odpor 10÷100kΩ. Transformační činitel se blíží hodnotě jedna:

$$p = \frac{C_S}{C_S + C} \rightarrow 1 \quad (25)$$



Obr. 4.18 Oscilátor s kapacitní diodou

Druhé zapojení se dvěma kapacitními diodami se používá pro větší střídavá napětí na paralelním rezonančním obvodu. Pro ladící stejnosměrné napětí jsou diody zapojeny paralelně, oproti tomu pro střídavý signál jsou zapojeny do série. To zabezpečuje lepší zabezpečení proti vzniku parazitních kmitočtových modulací. Princip zapojení dvou diod spočívá v tom, že pokud se zvýší střídavé napětí na rezonančním obvodu, vzroste napětí na diodě D_1 . Tímto důsledkem dojde ke zmenšení kapacity na diodě D_1 . Zatím co napětí na druhé diodě D_2 se zmenší a její kapacita se zvětší. V druhé půlce periody dojde k opačnému efektu, dioda D_1 zvětší kapacitu oproti tomu dioda D_2 , zmenší kapacitu. Tento princip zaručuje, že po celou dobu je výsledná kapacita obou diod skoro stejná. Zůstává na hodnotě kapacity, která je v zapojení bez připojeného střídavého napětí. Pokud obě diody mají stejné charakteristiky, tak jejich výsledná kapacita v sériovém zapojení je poloviční. Transformační činitel:

$$p = \frac{C}{C+C} = 0,5 \quad (26)$$

Pro výpočet krajních hodnot přeladitelnosti frekvence použijeme následující Thomsonovy vztahy:

$$f_{max} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot (C_{min} + C_p)}} \quad \text{a} \quad f_{min} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot (C_{max} + C_p)}} \quad (27,28)$$

Kde $C_{min} \div C_{max}$ je rozsah kapacitní diody. C_p je přídavná kapacita. Podělením těchto vztahů dostáváme:

$$\frac{f_{max}^2}{f_{min}^2} = \frac{C_{max} + C_p}{C_{min} + C_p} \Rightarrow C_p = \frac{f_{min}^2 \cdot C_{max} - f_{max}^2 \cdot C_{min}}{f_{max}^2 - f_{min}^2} = \frac{C_{max} - k^2 \cdot C_{min}}{k^2 - 1} \quad (29)$$

Hodnota filtračních a vazebních kondenzátorů C5, C7 a C8 byla zvolena 100 nF. Filtrační kondenzátor, pro případné filtrování napájecího napětí C3, byl zvolen na hodnotu 10 μ F. Výstup OUT je hlavní výstup oscilátoru, může sloužit třeba jako výstup na připojení osciloskopu. U tohoto výstupu je navržen π člunek tvořený rezistory R4, R5, R6, které slouží pro oddělení výstupu, tzv. oddělovací attenuátor. V našem zapojení rezistory R4 a R3 nejsou zapojeny a rezistor R5 je nahrazen drátovou propojkou. Nejsou zapojeny z důvodu, že nedochází k ovlivňování kmitání celého obvodu. Oproti základnímu zapojení je ještě doplněno o několik součástek. Kondenzátory C3 a C4 slouží jako filtrační kondenzátory.

Rezonanční obvod je tvořen kondenzátory C1 a C2 a k nim paralelně připojené dvě kapacitní diody zapojené antisériově. Tyto kapacitní diody umožňují ladění oscilátoru. Kondenzátory C1 a C2 jsou dopočítány dle zvoleného poměru 1:50, který je zvolen tak aby vyhověl zesílení tranzistoru a byla splněna počáteční podmínka (vztah 15). Kondenzátor C2 byl zvolen na hodnotu 2 pF, při zvoleném poměru je kondenzátor C1 hodnoty 100 pF.

Kondenzátory jsou zapojeny v sérii a jejich výsledná kapacita je:

$$C_{12} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{100 \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot 10^{-12}}{100 \cdot 10^{-12} + 2 \cdot 10^{-12}} = 1,9608 \text{ pF} \quad (32)$$

K této hodnotě kapacity připočteme teoretickou hodnotu kapacity varikapů pro střed charakteristiky, pro 3V je kapacita 19 pF, poté:

$$C_{var} = \frac{C_{d1} \cdot C_{d2}}{C_{d1} + C_{d2}} = \frac{29 \cdot 10^{-12} \cdot 29 \cdot 10^{-12}}{29 \cdot 10^{-12} + 29 \cdot 10^{-12}} = 14,5 \text{ pF} \quad (33)$$

Celková kapacita rezonančního obvodu je:

$$C = C_{12} + C_{var} = 1,9608 \cdot 10^{-12} + 14,5 \cdot 10^{-12} = 16,46 \text{ pF} \quad (34)$$

Výpočet indukčnosti L vychází ze známého Thomsonova vztahu:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}} \quad (35)$$

Po úpravě dostaneme vzorec pro výpočet cívky L, kde frekvenci f volíme na hodnotu 38 MHz, střed rozsahu přeladění oscilátoru:

$$L = \frac{1}{(2\pi \cdot f)^2 \cdot C} = \frac{1}{(2\pi \cdot 38 \cdot 10^6)^2 \cdot 16,46 \cdot 10^{-12}} = 1,0657 \cdot 10^{-6} \text{ H} \quad (36)$$

Dále lze vypočítat počet závitů cívky ze vzorce [11]:

$$L = N^2 \cdot d \cdot K \quad \Rightarrow \quad N = \sqrt{\frac{L}{d \cdot K}} = \sqrt{\frac{1,0657}{1,3 \cdot 2,612 \cdot 10^{-3}}} = 17,715 \quad [\mu\text{H}, \text{cm}, -] \quad (37)$$

kde K je upravený Nagaokův činitel, používaný pro výpočet cívek, který je závislý na poměru cívky k délce vinutí l . Konstanta odpovídající poměru celkové délky, ku průměru cívky v našem případě 10/30 mm je $2,612 \cdot 10^{-3}$ [11]. Dále d je průměr

vinutí v našem případě 10 mm. Cívka je namotána měděným drátem o průměru 1,5 mm.

Pro připojení namotané cívky slouží dva konektory KON1 a KON2 typu ARK500/2 [10]. Paralelně k rezonančnímu obvodu jsou připojeny antisériově dvě kapacitní diody D1 a D2, jejich střed je vyveden přes rezistor R7 o hodnotě 50 k Ω a blokovací kondenzátor C5 o hodnotě 100 nF na potenciometr POT1. Tyto kapacitní diody a potenciometr slouží pro ladění rezonančního obvodu a tím ke změně kmitočtu, na kterém kmitá celý oscilátor. V našem případě oscilátor je laditelný v rozsahu 31 – 44 MHz. V zapojení se dále nachází přepínač PR1 typu P-B069B, který slouží pro přepínání na přímo propojení s výstupem, nebo přepnutí na výstup OUT1, který slouží pro připojení spektrálního nebo vektorového analyzátoru.

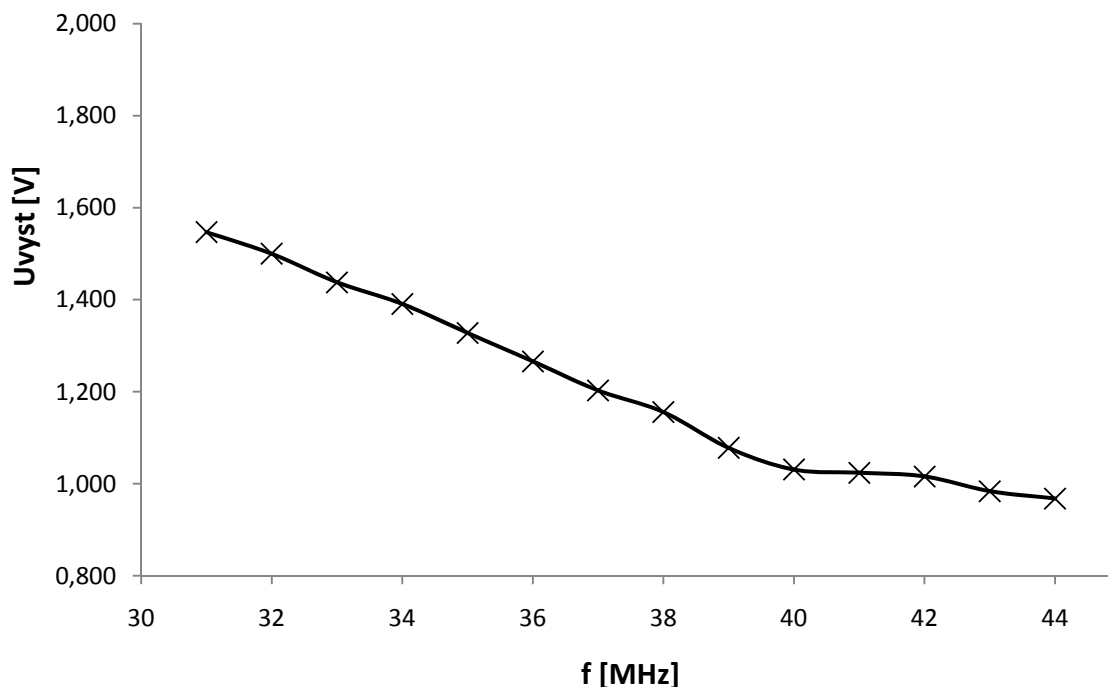
Navržená a poté realizovaná deska plošných spojů a její osazení se nachází v příloze 8.1 na konci této práce.

5.1.1 Výsledky měření

V následující tabulce jsou uvedeny a následně zakresleny do grafu hodnoty napětí na výstupu OUT, v závislosti na naladěném kmitočtu.

Tabulka 1 Závislost výstupního napětí na frekvenci

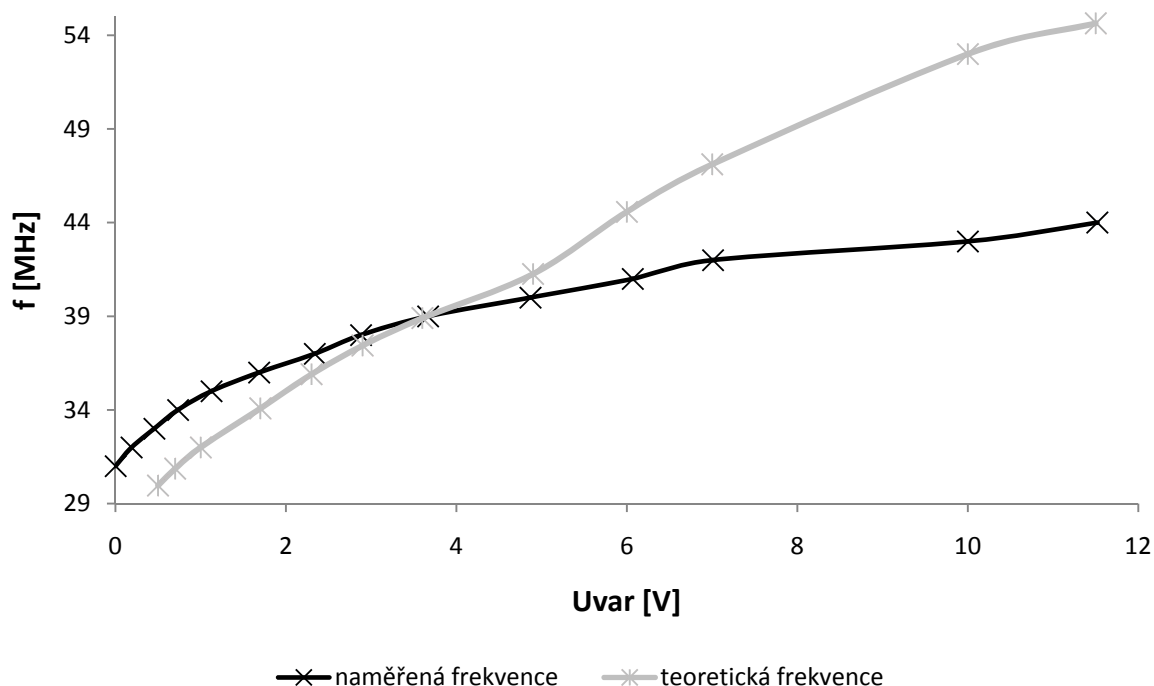
f [MHz]	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
U _{out} [V]	1,547	1,500	1,438	1,391	1,328	1,266	1,203	1,156	1,078	1,031	1,024	1,016	0,984	0,968



Obr. 5.2 Závislost výstupního napětí na frekvenci

Tabulka 2 Vypočtené a naměřené hodnoty Colpittsova oscilátoru

U_{var} [V]	0,001	0,190	0,456	0,734	1,126	1,687	2,338	2,880	3,667	4,870	6,070	7,010	10,000	11,520
f_{mer} [MHz]	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
C_{var} [pF]	-	-	49	46	42,5	37	33	30	27,5	24	20	17,5	13,0	12,0
C_{celk} [pF]	-	-	26,5	25,0	23,2	20,5	18,5	17,0	15,7	14,0	12,0	10,7	8,5	7,9
f_{teor} [MHz]	-	-	29,97	30,86	32,00	34,08	35,90	37,44	38,90	41,26	44,59	47,11	53,00	54,64
C_{teor} [pF]	-	-	21,8	20,6	19,4	18,3	17,4	16,5	15,6	14,9	14,1	13,5	12,9	12,3
C_{par} [pF]	-	-	4,63	4,40	3,81	2,12	1,10	0,50	0,084	-0,89	-2,18	-2,76	-4,39	-4,32



Obr. 5.3 Závislost frekvence na napětí varikapu

V grafu na obrázku 5.3 jsou vyneseny změřené hodnoty frekvence f_{mer} , v závislosti na napětí varikapů, jedná se o černou křivku. Ve třetím řádku tabulky jako C_{var} jsou zapsány odečtené typické hodnoty varikapů z datasheetu k použitému typu [10].

V následujících řádcích budou uvedeny příklady výpočtů pro sloupec s napětím varikapu U_{var} 2,88 V. Začátek výpočtů je totožný stejný jako vzorec 32, 33 a 34. Tedy výpočet celkové kapacity rezonančního obvodu tvořená dvěma kondenzátory v sérii a k nim paralelně připojené dvě kapacitní diody. Výsledné hodnoty jsou uvedeny hodnoty v řádku označeném C_{celk} .

Další řádek tabulky označený jako f_{teor} se dopočítá následovně:

$$f_{teor} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{celk}}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{1,065 \cdot 10^{-6} \cdot 17 \cdot 10^{12}}} = 37,44 \text{ MHz} \quad (38)$$

Jedná se o teoretickou hodnotu kmitání oscilátoru a hodnoty jsou vyneseny v grafu na obrázku 5.3 jako šedá křivka. Následující vztah vypočte celkovou kapacitu potřebnou pro předchozí teoretický kmitočet:

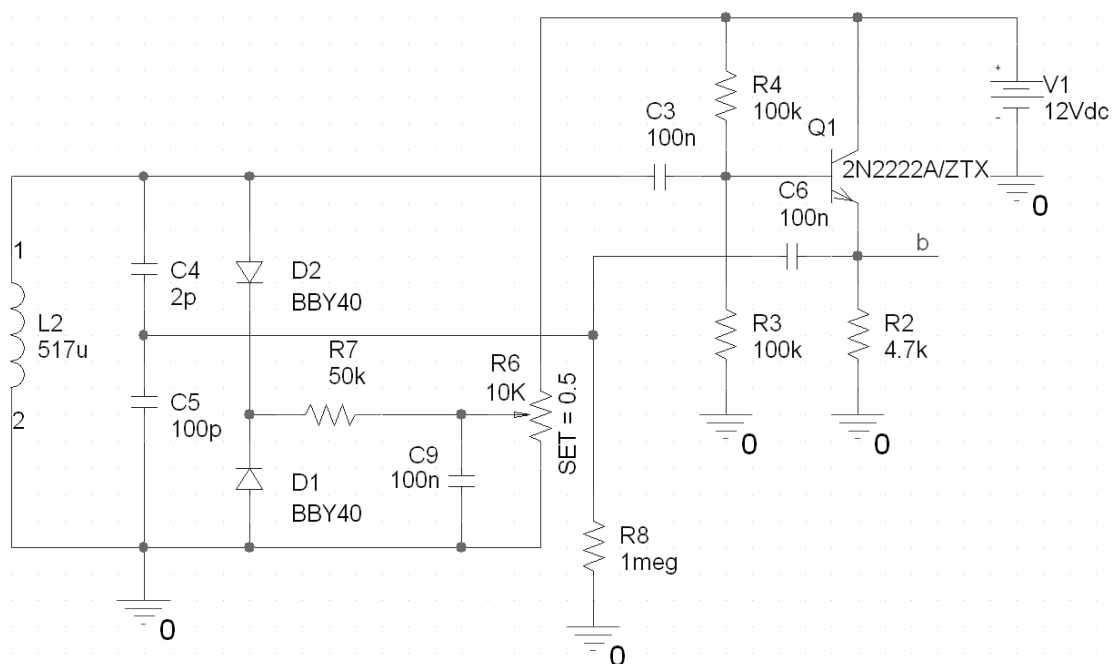
$$C_{teor} = \frac{1}{(2\pi \cdot f)^2 \cdot L} = \frac{1}{(2\pi \cdot 37,44 \cdot 10^6)^2 \cdot 1,065 \cdot 10^{-6}} = 16,5 pF \quad (39)$$

Poté lze dopočítat rozdíl kapacit mezi teoretickou hodnotou C_{teor} a skutečnou hodnotou C_{celk} tedy hodnotu parazitní kapacity v obvodu:

$$C_{par} = C_{celk} - C_{teor} = 17 \cdot 10^{-12} - 16,5 \cdot 10^{-12} = 0,5 pF \quad (40)$$

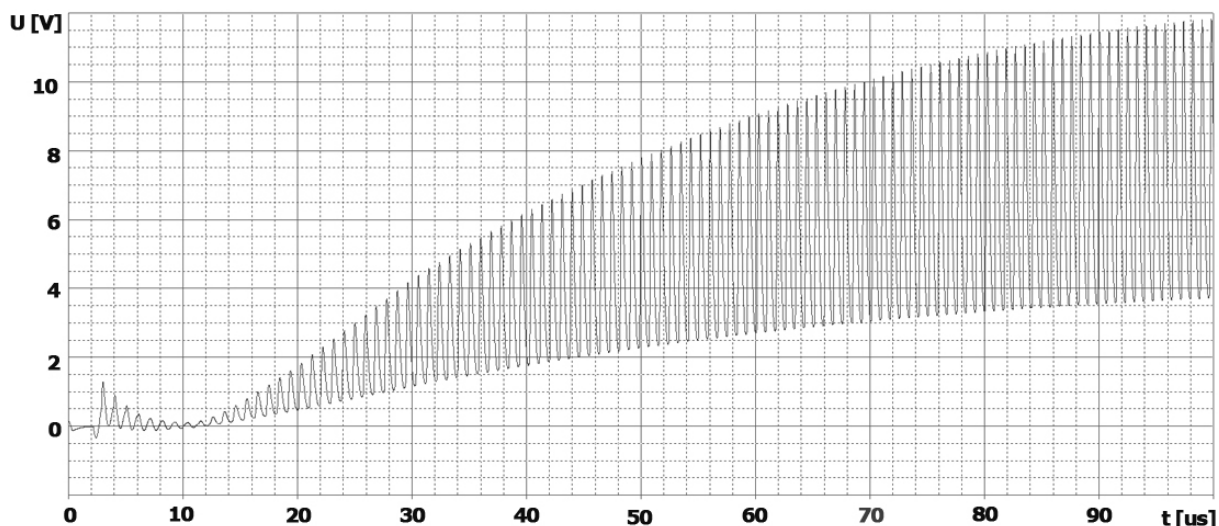
Hodnoty pro všechny naměřené napětí varikapu jsou přehledně uvedeny v tabulce 2.

Také byla provedena simulace stejného zapojení obvodu v programu PSpice. Vytvořené simulované schéma zapojení se nachází na obrázku 5.4. Jedná se o zapojení totožné jako v předchozí části. Jde pouze o jiný typ tranzistoru, z důvodu že typ BC547 nemá v programu PSpice vnitřní model. Dále se obvod liší jinými hodnotami děliče R3 a R4 z důvodu jiného typu tranzistoru. Rezistor R8 je přidán do zapojení z důvodu funkčnosti zapojení pro simulaci.



Obr. 5.4 Schéma testovaného obvodu

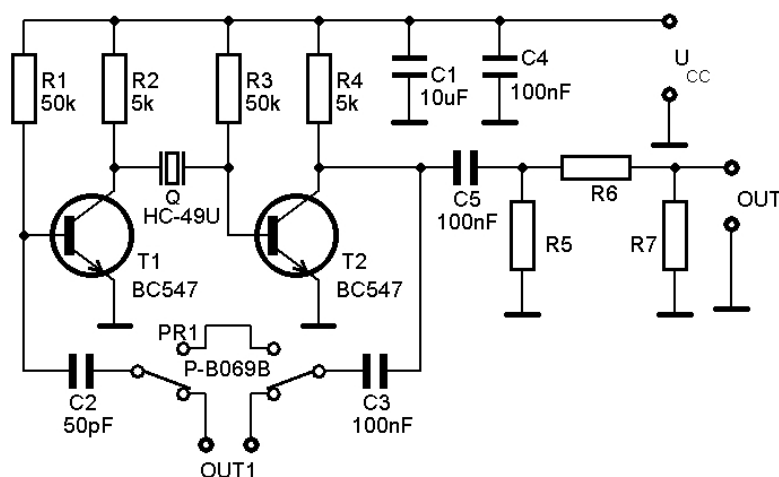
Výstupní průběh simulovaného oscilátoru je na obrázku 5.5, jedná se o průběh napětí v místě označeném písmenem b, ve schématu na předchozím obrázku. Na průběhu jsou patrné vznikající kmity.



Obr. 5.5 Výsledný průběh

5.2 Krystalový oscilátor

Toto zapojení vychází ze schématu na obrázku 4.16. Výsledné schéma se nachází na obrázku 5.4.



Obr. 5.6 Schéma krystalového oscilátoru

Opět je doplněno o několik součástek. Celý obvod je napájen ze stejnosměrného zdroje 12 V na svorkách U_{cc} . Základ zapojení je tvořen tranzistory T1 a T2 typu BC547A. Mezi kolektorem tranzistoru T1 a bází tranzistoru T2 je zapojen krystal Q kmitající na frekvenci 5 MHz. Dále jsou u tranzistorů zapojeny rezistory R1 a R3 o hodnotě 50 k Ω a rezistory R2 a R4 o hodnotě 5 k Ω . Tyto čtyři rezistory slouží pro dostatečné otevření tranzistorů. Dále v zapojení je kondenzátor C1 o hodnotě 10 μ F, který má za úkol případnou filtraci napájecího napětí. Dále je v zapojení kondenzátor C2 o hodnotě 50 pF a kondenzátor C3 o hodnotě 100 nF, které slouží pro zachytávání případných zákmitů po připojení vektrovního nebo spektrálního analyzátoru a výstup OUT1. V zapojení se nachází přepínač PR1 typu P-B069B, pro přepínání přímého propojení a propojení přes výstup OUT1. Na výstupu je připojen filtrační kondenzátor C5 o hodnotě 100 nF. Poslední část

zapojení je tvořen třemi rezistory R5, R6 a R7, které tvoří π člunek tzv. attenuátor. V zapojení nejsou zapojeny, z důvodu že nedochází k ovlivňování kmitání a místo rezistoru R6 je zapojena drátová propojka.

Deska plošných spojů a osazení desky součástkami se nachází v příloze v kapitole 8.2 na konci této práce.

6 Závěr

Práce nás seznamuje s principem a vlastnostmi LC oscilátorů. Rozebírá postupně oscilátory se záporným diferenciálním odporem, oscilátory s tunelovou diodou, zpětnovazební oscilátory a oscilátory s induktivní vazbou. Dále se zabývá tříbodovými oscilátory mezi, které patří Hartleyův, Colpittsův, Clappův, krystalové a přeladitelné oscilátory.

V další části více rozebírá Colpittsův a krystalový oscilátor, ze kterých jsou vytvořené desky plošných spojů. Výsledný sestavený Colpittsův oscilátor je laditelný v rozmezí 31 - 44 MHz. U tohoto zapojení je změřená a poté vynesená závislost výstupního napětí na frekvenci a také závislost napětí varikapu na frekvenci. Výsledná grafická závislost znázorňuje charakteristiku kapacitní diody, varikapu. Jsou vyneseny jak naměřené tak vypočtené frekvence pro dané napětí varikapů. V tabulce jsou uvedeny hodnoty těchto frekvencí a je dopočtena hodnota parazitní kapacity celého obvodu.

Zapojení oscilátoru s krystalem ve zpětné vazbě se bohužel nepodařilo uspokojivě zprovoznit. Příčina této neuspokojivé činnosti se bohužel nepodařilo najít a odstranit.

7 Použitá literatura

[1] ŽALUD, V. Moderní radioelektronika. Praha: BEN-technická literatura, 2000, ISBN 80-86056-47-3.

[2] ŽALUD, V. Moderní radiotechnika. Praha: BEN-technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-132-2

[3] HANUS, S., SVAČINA, J. Vysokofrekvenční a mikrovlákná technika. Brno: FEKT VUT v Brně, 2004.

[4] DOSTÁL, T. Analogové elektronické obvody. Brno: FEKT VUT v Brně, 2004.

[5] KUNTÍK, [online]. 2009 - [cit. 9. března 2009]. Dostupné na WWW: <http://www.studuj.com/dokumenty/elektronika-elektrotechnika/312-lc-oscilatory/>

[6] VOŠ a SPŠE PLZEŇ, Učební texty, [online]. 2009 - [cit. 9. března 2009]. Dostupné na WWW: http://hellweb.loose.cz/index.php?page=school&subpage=elt_plus&id=4

[7] KNÍŽOVÁ, M. SŠ spojů a informatiky Tábor. [online]. 2009 - [cit. 9. března 2009]. Dostupné na WWW: <http://www.sous.cz/soubory/ucitele/knizova/hanus/pdf/oscilatory.pdf>

[8] KORAVEC, S. VOŠ a SPŠE Plzeň. [online]. 2009 - [cit. 9. března 2009]. Dostupné na WWW: <http://slaboproud.sweb.cz/elt2/stranky1/elt046.htm>

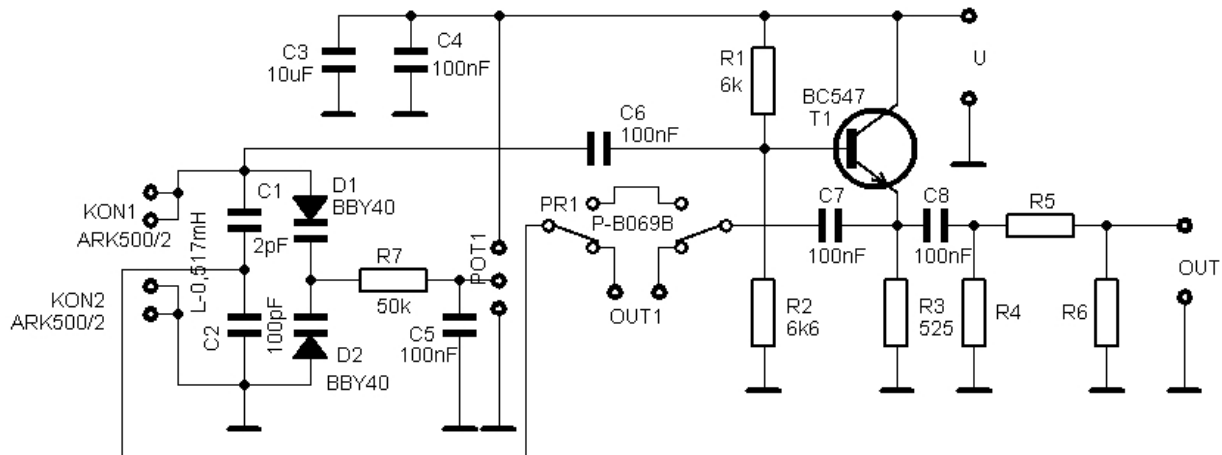
[9] Cadsoft. [online]. 2009 - [cit. 9. března 2009]. Dostupné na WWW: <http://eagle.cz/>

[10] GM electronic. [online]. 2009 - [cit. 18. května 2009]. Dostupné na WWW: <http://gme.cz/>

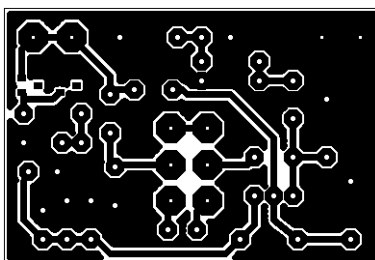
[11] Pandatron.cz. [online]. 2009 - [cit. 18. května 2009]. Dostupné na WWW: http://pandatron.cz/?209&vypocet_civek

8 Přílohy

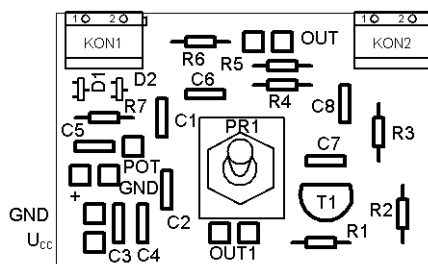
8.1 Dokumentace ke Colpittsova oscilátoru



Obr. 8.1 Schéma Colpittsova oscilátoru



Obr. 8.2 Deska plošných spojů (50 x 33 mm)



Obr. 8.3 Osazení desky plošných spojů (50 x 33 mm)

9 Seznam součástek

Schematická značka:	Typ / hodnota:	Popis:
C1	2pF	kondenzátor
C2	100pF	kondenzátor
C3	10uF	kondenzátor
C4	100nF	kondenzátor
C5	100nF	kondenzátor
C6	100nF	kondenzátor
C7	100nF	kondenzátor
C8	100nF	kondenzátor
D1	BBY40	SMD pouzdro
D2	BBY40	SMD pouzdro
KON1	ARK500/2	konektor
KON2	ARK500/2	Konektor
R1	10 k Ω	rezistor
R2	10 k Ω	rezistor
R3	4,7 k Ω	rezistor
R4		nezapojen
R5		drátová ropojka
R6		nezapojen
R7	50 k Ω	rezistor
POT	5 k Ω	potenciometr (lineární)
PR1	P-B069B	přepínač

Tabulka 3 Seznam součástek pro Colpittsův oscilátor

Schematická značka:	Typ / hodnota:	Popis:
C1	10uF	kondenzátor
C2	50pF	kondenzátor
C3	100nF	kondenzátor
C4	100nF	kondenzátor
C5	100nF	kondenzátor
PR1	P-B069B	přepínač
Q	HC-49U	krystal 5MHz
R1	50 k Ω	rezistor
R2	5 k Ω	rezistor
R3	50 k Ω	rezistor
R4	5 k Ω	rezistor
R5		nezapojen
R6		drátová propojka
R7		nezapojen
T1	BC547A	tranzistor
T2	BC547A	tranzistor

Tabulka 4 Seznam součástek pro krystalový oscilátor