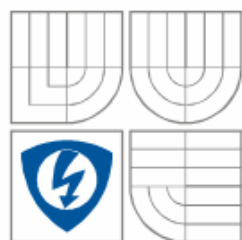




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

VYSOKOFREKVENČNÍ PŘELADITELNÉ OSCILÁTORY

DESIGN OF THE HIGH FREQUENCY TUNABLE OSCILLATORS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

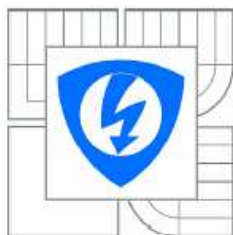
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Tomáš Malec

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Jiří Petržela, PhD.

BRNO, 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Tomáš Malec
Ročník: 3

ID: 72933
Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Návrh vysokofrekvenčních přeladitelných oscilátorů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s principy činností moderních funkčních bloků vhodných k syntéze elektronických obvodů pro vyšší kmitočtová pásma. Navrhněte struktury harmonických oscilátorů, přičemž se soustředte zejména na možnost jejich elektronického přeladění. Pro Vámi vytvořená zapojení proveďte kontrolní analýzu v programu Pspice.

Jednotlivé oscilátory prakticky realizujte a experimentálně ověřte. Zaměřte se na harmonické zkreslení, rozsah přeladitelnosti a fázový šum.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] BIOLEK, D., SENANI, R., BIOLKOVÁ, V., KOLKA, Z. Active elements for analog signal processing. Radioengineering, 2008, vol. 17, no. 4, p. 15 - 32.

[2] WU, D. W., LIU, S. I., HWANG, Y. S., WU, Y. P. Multiphase sinusoidal oscillator using second-generation current conveyors. International Journal Electronics, 1995, vol. 78, no. 4, p. 645 - 651.

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 28.5.2010

Vedoucí práce: Ing. Jiří Petržela, 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Tomáš Malec
Bytem: Hostětín 5, 687 71 Bojkovice
Narozen/a (datum a místo): 29. Května 1987

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
 - ☐ diplomová práce
 - ☒ bakalářská práce
 - ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Návrh vysokofrekvenčních přeladitelných oscilátorů
Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Jiří Petržela, PhD.
Ústav: Ústav radioelektroniky
Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- ☒ v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- ☒ v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

*hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 28. května 2010

.....
Nabyvatel

.....
Autor

ABSTRAKT

Tento dokument pojednává o nejjednodušších strukturách schopných generovat harmonický signál o vysoké frekvenci a stabilní amplitudě. Jako základní prvky těchto oscilátorů byly použity aktivní bloky známé jako diamantové tranzistory. Při návrhu byl kladen důraz na co nejmenší počet použitých součástek a plynulé elektronické přeladění. Tyto navržené obvody byly teoreticky analyzovány programem PSpice a prakticky ověřeny. Dokument obsahuje výsledky těchto analýz a naměřené hodnoty se zaměřením na harmonické zkreslení, rozsah přeladitelnosti a fázový šum.

KLÍČOVÁ SLOVA

Aktivní bloky, moderní funkční bloky, vysokofrekvenční oscilátory, PSpice analýzy, proudový režim, diamantový tranzistor, elektronické přeladění.

ABSTRACT

This paper deals with the simplest structure capable of generate harmonic signals of high frequency and stable amplitude. As essential elements of these oscillators have been used active blocks known as diamond transistors. The proposal was given to minimize the number of components and smooth electronic retuning. These proposed districts have been theoretically analyzed by the program PSpice and practically verified. The document contains the results of these reviews and readings focusing on the total harmonic distortion, frequency agility and range of phase noise.

KEYWORDS

Active blocks, modern functional blocks, high-frequency oscillators, PSpice analyzes, current mode, diamond transistor, electronic tuning.

MALEC, T. *Vysokofrekvenční přeladitelné oscilátory*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2010. 41 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: ing. Jiří Petržela, PhD.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Návrh vysokofrekvenčních přeladitelných oscilátorů 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/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce ing. Jiřímu Petrželovi, PhD. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	x
seznam tabulek	xi
Úvod	1
1 Moderní funkční bloky	2
1.1 Obvod EL 2082.....	2
1.2 Obvod EL 4083.....	3
1.3 Obvod AD 844.....	5
1.4 Obvod LT 1228.....	5
1.5 Obvod LM 13700.....	6
1.6 Obvod OPA 860.....	7
1.6.1 Buffer	7
1.6.2 OTA	8
1.6.3 Řídící proud I_Q	8
2 Oscilátory	8
2.1 Stabilita kmitočtu oscilátoru	9
2.2 Rozdělení oscilátorů	9
2.2.1 RC oscilátory	9
2.2.2 LC oscilátory.....	10
2.2.3 Krystalové oscilátory	11
2.2.4 Oscilátory se záporným diferenciálním odporem (dvoubodové)	11
2.2.5 Generátory neharmonických signálů (relaxační generátory).....	12
2.3 Návrh struktury harmonických oscilátorů	12
2.3.1 Návrh se dvěma OTA a uzemněným rezistorem	12
2.3.2 Návrh s BOTA, OTA a uzemněným rezistorem.....	15
2.3.3 Návrh s dvěma OTA a plovoucím rezistorem 1	17
2.3.4 Návrh s dvěma OTA a plovoucím rezistorem 2	19
2.3.5 Návrh s použitím BOTA, OTA a žádného rezistoru	21
2.3.6 Návrh pomocí BOTA, OTA a plovoucího rezistoru.....	23

3	Praktická realizace	26
4	Závěr	29
	Literatura	30
	Internetové zdroje	30

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr 1.1 Zapojení vývodů EL2082 [3]	2
Obr 1.2 Základní použití EL4083 [4]	4
Obr 1.3 Zapojení obvodu LT1228 [6]	6
Obr 1.4 Diagram zapojení obvodu LM13700 [7]	7
Obr 2.1 Meissnerův oscilátor	10
Obr 2.2 Colpittsův oscilátor	11
Obr 2.3 Náhradní zapojení krystalu	11
Obr 2.4 Oscilátor se záporným diferenciálním odporem	12
Obr 2.5 Model obvodu OSC1	13
Obr 2.6 Výstupní signál OSC1	14
Obr 2.7 Spektrum výstupního signálu OSC1	14
Obr 2.8 Možnost přeladění OSC1	15
Obr 2.9 Model obvodu OSC2	16
Obr 2.10 Výstupní signál OSC2	16
Obr 2.11 Spektrum výstupního signálu OSC2	17
Obr 2.12 Možnost přeladění OSC2	17
Obr 2.13 Model obvodu OSC3	18
Obr 2.14 Výstupní signál OSC3	18
Obr 2.15 Spektrum výstupního signálu OSC3	19
Obr 2.16 Možnost přeladění OSC3	19
Obr 2.17 Model obvodu OSC4	20
Obr 2.18 Výstupní signál OSC4	20
Obr 2.19 Spektrum výstupního signálu OSC4	21
Obr 2.20 Možnost přeladění OSC4	21
Obr 2.21 Model obvodu OSC5	22
Obr 2.22 Výstupní signál OSC5	22
Obr 2.23 Spektrum výstupního signálu OSC5	23
Obr 2.24 Možnost přeladění OSC5	23
Obr 2.25 Model obvodu OSC6	24
Obr 2.26 Výstupní signál OSC6	24

Obr 2.27 Spektrum výstupního signálu OSC6.....	25
Obr 2.28 Možnost přeladění OSC6.....	25
Obr 3.1 Výstupní signál OSC1 na osciloskopu ($f=886,9$ kHz)	26
Obr 3.2 Výstupní signál OSC1 na osciloskopu ($f=1,108$ MHz).....	27
Obr 3.5 Výstupní signál OSC4 na osciloskopu ($f=1,149$ MHz).....	27
Obr 3.6 Výstupní signál OSC4 na osciloskopu ($f=2,890$ MHz).....	28

SEZNAM TABULEK

Tab 1.1 Kombinace vstupů u EL 4083.....	4
---	---

ÚVOD

Ve svém semestrálním projektu se zabývám návrhem vysokofrekvenčních přeladitelných oscilátorů, za použití moderního funkčního bloku OPA860, jejich teoretickou realizací a analýzou v programu PSpice. Součástí tohoto projektu je také teoretický rozbor ostatních moderních funkčních bloků vhodných k syntéze elektronických obvodů, pracujících zejména v proudovém režimu. Zaměřil jsem se na strukturu těchto bloků, na jejich přednosti před jinými obvody a také na rozsah jejich použití.

Na tento projekt navazuje bakalářská práce, ve které se věnuji praktické realizaci zde navržených oscilátorů a jejich experimentálnímu ověření, hlavně se zaměřením na harmonické zkreslení, rozsah přeladitelnosti a fázový šum.

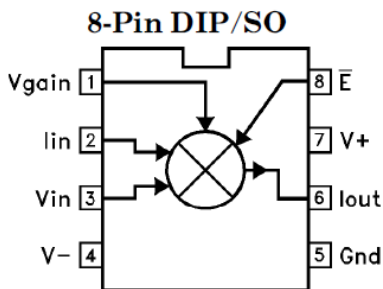
1 MODERNÍ FUNKČNÍ BLOKY

V posledních dvou desetiletích se vývoj moderních bloků pro zpracování signálů řídil trendem využití součástek v tzv. proudovém módu. To znamená, že zpracovávané signály, které nesou informaci, jsou v podobě elektrických proudů. Zpracování signálů v proudovém módu může vykazovat za určitých podmínek větší šířku pásma a lepší linearitu signálu, naproti napětovému módu. Také jsou schopny vyrovnat se s menším napájecím napětím. Současně s rozvojem aplikací v proudovém režimu jsou také analyzovány obvody pracující v smíšených módech z důvodu nutnosti optimalizace rozhraní mezi sub bloky, které pracují v rozdílných režimech. Díky pokroku v technologii integrovaných obvodů v posledních dvou dekadách byl značně využíván potenciál proudového módu analogové techniky pro velice elegantní a efektivní řešení mnoha problémů co se týče v návrhu obvodů. Toto přineslo větší frekvenční rozsah, nižší spotřebu energie, rychlejší doby přeběhu, zlepšení linearity a přesnosti. Dle [1] se od roku 2000 začínají rozrůstat nové principy použití moderních funkčních bloků. Mimo klasických aktivních filtrů je cílem získat plně integrované bloky pro moderní komunikační obvody.

Pro seznámení s moderními funkčními bloky jsem si vybral pět různých obvodů, které zde popíšu a zaměřím se na jejich výjimečné parametry.

1.1 Obvod EL 2082

Obecný účel součástky EL 2082 je proudový násobič. Jedná se o dvou-kvadrantový násobič (obr 1.1). Když je řídicí napětí nulové nebo negativní, neumožňuje průchod signálu, je zde přítomný velmi vysoký útlum. EL2082 pracuje v proudovém režimu, takže vstupní impedance je nízká a zato výstupní je vysoká. To umožňuje velmi širokou šířku pásma pro malé i velké signály. Vzhledem k tomu, že obvod pracuje s proudovými signály, než napětovými, můžeme spojit více vstupů a také více výstupů v různých kombinacích. EL 2082 působí na široké spektrum potřeb. Jeho vstupní impedance je 95Ω .



Obr 1.1 Zapojení vývodů EL2082 [3]

Pin I_{in} kopíruje napětí přítomné na pinu V_{in} . Proto lze pin V_{in} využít jako zamezovač šumu přítomného ve společném módu. Vstup řídicí zesílení je V_{gain} a je nastaven na zesílení 1mA/mA pro 1V řídicího napětí. Vypínací pin E je kompatibilní s TTL logikou, a výstupní proud se může přizpůsobit širokému rozsahu výstupního napětí.

Nejvýhodnější použití EL 2082 se zdá být jako proudový konvektor s proměnným proudovým ziskem. Proudový vstup I_{in} bude replikován jako výstupní proud na pinu I_{out} , se řízeným zesílením na pinu V_{gain} . Tedy vstupní proud 1mA bude produkovat výstupní proud 1mA pro $V_{gain}=1V$, 2mA pro $V_{gain}=2V$. Použitelná hodnota V_{gain} je od 0-2V. Negativní napětí na V_{gain} , a to již i -20mV, povede k vysokému útlumu signálu.

Dále se dá EL 2082 použít velmi efektivně jako konvertor napěťových signálů na signály proudové. EL 2082 funguje taky v opačném smyslu jako konvertor proudu na napětí. Při správném zapojení také redukuje míru zkreslení ve video systémech. Hojně zastoupení má také v nové třídě filtrů CCII, které ho používají jako blok proudového konvektoru. Tento filtr používá proudový výstup EL 2082 ke generování pásmové propusti napěťového výstupu a střední uzel mezi vstupem a výstupem představuje dolní propust druhého řádu.

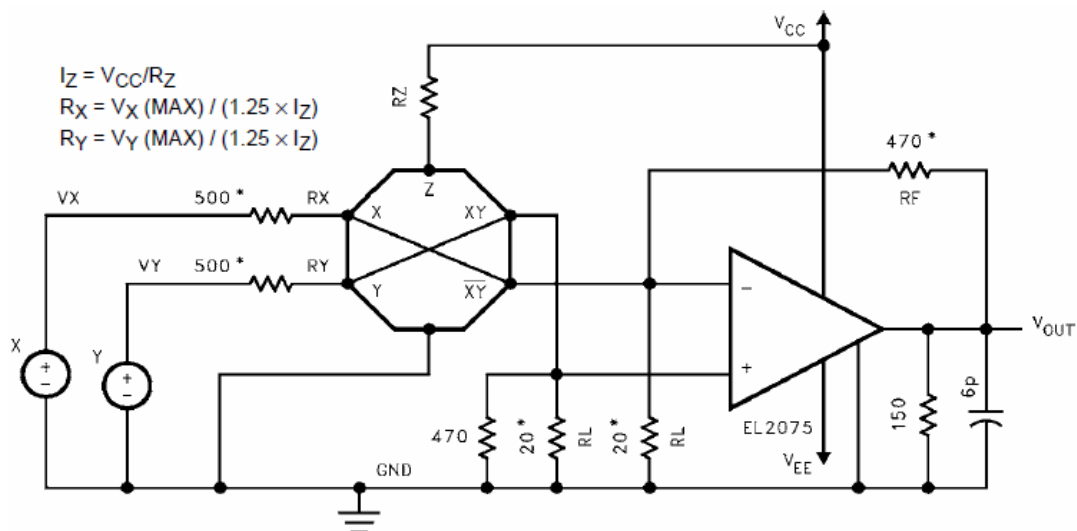
Z parametrů tohoto bloku určitě stojí za řeč šířka pásma v proudovém módu, která činí 150 MHz, kalibrovaný rozsah regulace zesílení 46dB a důležité také je, že dokáže pracovat s napájecím napětím od $\pm 5V$ do $\pm 15V$.

1.2 Obvod EL 4083

V tomto případě se jedná o čtyř-kvadrantový násobič. Vstupní a výstupní signály se sčítají a přímo propojují s dalšími zařízeními v proudovém režimu. Ty mohou díky jednoduchému propojení redukovat počet komponentů a dostatečně zabezpečit přenášenou šířku pásma. Vhodným výběrem rezistorů připojených ke vstupu dokáže EL 4083 přijmout vstupní napětí signálu téměř libovolné hodnoty a optimalizovat jeho rozsah. Jeho diferenční výstupy nabízí podstatné zlepšení výkonu, které výborně rozšiřují použití řízení zisku při vysokých frekvencích.

EL 4083 lze využít v mnoha aplikacích, jako mixování signálů, frekvenční zdvojovač, modulátor, demodulátor a napěťově řízený zesilovač. Nově vydané publikace uvádí použití EL4083 v různých aplikacích. Mezi tyto patří různé děličky, umocňovací obvody, RMS a výkonové měřící obvody. Dle [4] byly rovněž publikovány dva příklady pro výpočet polynomů pro video signály a některé vyrovnávače kvality HDTV. EL4083 je prostě natolik flexibilní, že dokáže lehce implementovat všechny

klasické aplikace čtyř-kvadrantového násobiče a také nabízí velice zajímavé možnosti ve využití v nových moderních aplikacích.



Obr 1.2 Základní použití EL4083 [4]

Na obr 1.2 můžeme vidět jednu z možností základního zapojení EL 4083. Na výstupu se používá EL 2075 jako difference na jednoduše ukončený konvertor se zesílením, ke zlepšení výkonu. Hvězdička u rezistorů znamená, že jsou optimalizovány pro co největší šířku pásma. Tabulka 1.1 ukazuje různé kombinace vstupních signálů pro různé aplikace obvodu na obr. 1.2.

Tab. 1.1 Kombinace vstupů u EL 4083

APLIKACE	V_X	V_Y
Mixer	Signál 1	Signál 2
Zdvojovač frekvence	Signál	Signál
Modulátor	Modulační signál	Nosná
Demodulátor	Oscilátor	Modulovaný signál
Řízení zesílení	Řízení zesílení	Signál
Násobič	Signál 1	Signál 2
Kvadrátor	Signál	Signál

Mezi hlavní výhody EL4083 patří určitě vysoká rychlost a šířka pásma, která činí 200MHz. Dále také nízké zkreslení THD < 0,03% při 1MHz a THD < 0,1% při 10MHz a také dokáže pracovat s napájením $\pm 5V$ - $\pm 15V$.

1.3 Obvod AD 844

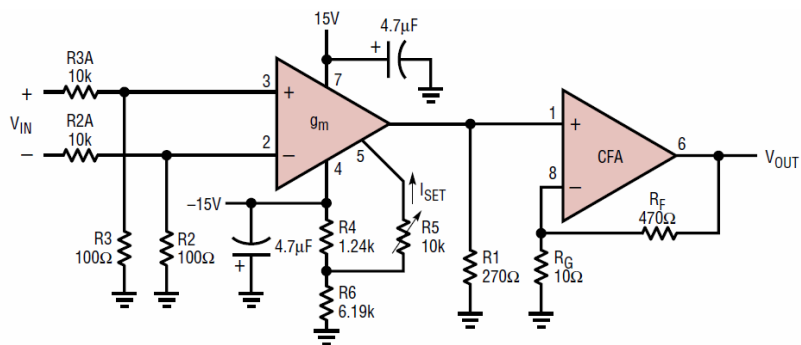
AD844 je vysokorychlostní monolitický operační zesilovač. Kombinuje velikou šířku přenášeného pásma a velmi rychlou odezvu s výborným stejnosměrným výkonem. I když je AD844 optimalizován pro aplikace používající převod proudu na napětí a jako invertující zesilovač, je také vhodný pro použití do neinvertujících aplikací. AD844 může být použit jako klasický operační zesilovač, ale jeho architektura s proudovou zpětnou vazbou dosahuje o moc lepší střídavý výkon, vysokou linearitu a mimořádně čistou pulsní odezvu, než u ostatních podobných obvodů. Je také zproštěn horší rychlosti změn než tradiční OZ a další OZ s proudovou zpětnou vazbou.

Rychlost změny může být přes $2000\text{V}/\mu\text{s}$ pro 20V výstupní krok. Doba ustálení je většinou 100ns na 0.1% a v podstatě nezávislá na zesílení. AD844 zvládá 50Ω zátěž do $\pm 2.5\text{V}$ s malým zkreslením. Napájecí napětí se pohybuje mezi $\pm 4,5\text{V}$ do $\pm 18\text{V}$. S takovými charakteristikami diferenčního výkonu a diferenční fáze, je vhodné k použití AD844 pro mnoho různých video aplikací se šířkou pásma až do 60MHz. Kombinuje malé zkreslení, malý šum a malý drift se širokou šířkou pásma, což ho dělá vhodným kandidátem také na pozici vstupního zesilovače pro rychlé A/D převodníky.

1.4 Obvod LT 1228

LT 1228 implementuje řízení zesílení pomocí transkonduktančního zesilovače, jehož zesílení je přímo úměrné k externímu řídicímu proudu. Ke konvertování výstupního proudu na napětí se používá rezistor. Toto napětí je poté zesíleno dalším zesilovačem s proudovou zpětnou vazbou. LT 1228 operuje na napájecím napětí od 4V ($\pm 2\text{V}$) do 30V ($\pm 15\text{V}$).

Transkonduktanční zesilovač LT 1228 má vysokoimpedanční diferenční vstup a výstup proudového zdroje s odpovídající šířkou výstupního napětí. Transkonduktance g_m je nastavována proudem, který se přivádí na pin I_{SET} . Malý signál g_m se rovná desetinásobku hodnoty proudu I_{SET} a tento vztah „drží“ i přes několik dekad velikosti řídicího proudu.

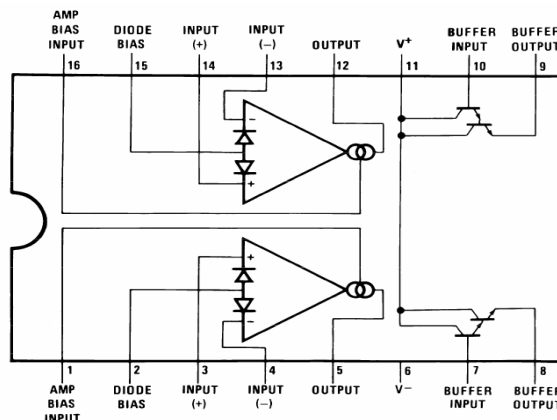


Obr 1.3 Zapojení obvodu LT1228 [6]

Jelikož zesilovač s proudovou zpětnou vazbou v obvodu má velmi velkou vstupní impedanci, je skvělý buffer pro samotný transkonduktanční zesilovač (obr 1.3). Zpětnovazební zesilovač si udržuje velkou šířku přenášeného pásma, přes široký rozsah napěťového zesílení a lehce umožňuje spojení výstupu transkonduktančního zesilovače k dalším obvodům. Zpětnovazební zesilovač je navržen pro nízkoimpedanční zátěže, jako jsou kabely s excelentní linearitou na vysokých frekvencích. Vstupní impedance obvodu je 25 MΩ.

1.5 Obvod LM 13700

LM13700 se skládá ze dvou proudem řízených transkonduktančních zesilovačů (OTA), každý z nich má diferenční vstupy a push-pull výstup (obr 1.4). Oba zesilovače pracují nezávisle na sobě, i když mají společné zdroje. Tento obvod obsahuje také na vstupu linearizující diody, které redukují zkreslení a umožňují používat vysoké úrovně vstupních signálů. Výsledkem je 10 dB odstup signálu od šumu, což je 0,5 procenta od celkového harmonického zkreslení. Nalezneme zde také vysokoimpedanční zásobníky, které jsou speciálně konstruované k ucelení dynamického rozsahu zesilovačů. LM13700 můžeme použít v širokém spektru aplikací proudově i napěťově řízených zesilovačů, impedancí, filtrů i oscilátorů.



Obr 1.4 Diagram zapojení obvodu LM13700 [7]

LM13700 vykazuje nastavitelnou transkonduktanci g_m , a to až přes 6 dekád. A tato g_m je také dokonale lineární. Blok má také vysoký odstup signál-šum.

1.6 Obvod OPA 860

OPA860 je univerzální monolitická součástka navržena pro širokopásmové systémy zahrnující vysoce výkonné video, RF a IF obvody. Obsahuje bipolárně integrovaný širokopásmový napěťově řízený zdroj proudu a zesilovač napětí. Právě zmíněný napěťově řízený zdroj proudu, nebo také transkonduktanční operační zesilovač (OTA), lze považovat za „ideální“ tranzistor. Jako tranzistor má také 3 vývody. Vysokoimpedanční vstup (báze), nízkoimpedanční vstup-výstup (emitor) a proudový výstup (kolektor). Nicméně OTA je bipolární s automatickým předpětím. Výstupní proud je řízen diferenčním vstupním napětím. Transkonduktance součástky OTA může být nastavena externím rezistorem, který umožňuje dostatečnou šířku pásma a průchod klidového proudu.

OPA860 funguje na napájecím napětí $\pm 5V (\pm 6V_{max})$. Vstupy jsou chráněny svorkami vnitřní diody. Tyto ochranné diody dokážou zpracovat bezpečně 10mA spojitě a 30mA špičkově. Jestliže přesáhne vstupní napětí o 0.7 V napětí napájecí, musí být omezen proud tohoto vstupního napětí. Výstup bufferu není proudově omezen ani chráněn. Jestliže je výstup sveden na zem, může takto protékat až 60mA. Mělo by se předejít momentovým svedení výstupu na zem (i pár sekund), ale je nepravděpodobné, že by obvodu způsobovaly permanentní poškození.

1.6.1 Buffer

Uzavřená smyčka zesilovače poskytuje 1600 Mhz šířku pásma a 4000V/ μ s dobu přeběhu. Může být použit jako základní stavební kámen AGC zesilovače, také pro obvody řízené prvky LED pro přenos informace optickým kabelem, dále se také může

uplatnit v integrátorech pro rychlé pulzy, v rychlých zesilovačích se řízenou smyčkou a v řídicích zesilovačích pro kapacitní senzory a aktivních filtrech.

Sekce zesilovače nesdílí obvod předpětí se sekci OTA, takže se na něj nevztahují změny na I_Q nastavovacím rezistoru (R_{ADJ}).

1.6.2 OTA

Jak je uvedeno výše, symbol pro sekci OTA je tranzistor. Obvody pro aplikaci OTA vypadají a pracují jako obvody s tranzistorem. Tranzistor je také přeci napětím kontrolovaný zdroj proudu. OTA má tři vývody E, B a C, stejně jako tranzistor. Zásadní rozdíl se objevuje ve smyslu vstupního proudu na C. Při pozitivním napětí mezi B a E vytéká výstupní proud ze svorky C a při negativním napětí mezi B a E proud do této svorky vtéká. OTA nabízí také mnoho výhod naproti klasickému tranzistoru. Je s automatickým předpětím, ulehčujíc proces návrhu a redukuje počet součástek. OTA je také dalece lineárnější, než tranzistor. Jeho transkonduktance je konstantní v širokém rozmezí kolektorových proudů-to znamená zásadní zvýšení linearity.

1.6.3 Řídící proud I_Q

Klidový proud OPA860 je stanoven rezistorem R_{ADJ} , připojeným mezi piny 1 a $-V_S$. Má vliv na provozní proudy bufferu i OTA sekce. Řídí šířku pásma, střídavé chování stejně jako transkonduktanci OTA. Pro některé aplikace může být použitelné měnit hodnotu odporu R_{ADJ} , k dosažení požadovaného klidového proudu nebo střídavého výkonu. S fixním odporem R_{ADJ} klidový proud stoupá s teplotou. Tato změna proudu s teplotou drží transkonduktanci, g_m , konstantní s teplotou (další výhoda naproti tranzistoru). Je také možné měnit klidový proud řídicím signálem.

OPA860 je velice flexibilní součástka v různých typech použití a taky jsem se rozhodl ji použít v návrhu mých oscilátorů.

2 OSCILÁTORY

Oscilátory jsou obvody, jejichž výstupem je periodický signál. Ať už harmonický, nebo chaotický. Nezpracovávají žádný vstupní signál, sami jsou jeho zdrojem. Jde o autonomní obvody. Ze stejnosměrného napájecího napětí vytvářejí napětí střídavá. Oscilátorů existuje mnoho druhů. Základním rozdělením podle principu činnosti by mohlo být na oscilátory **zpětnovazební** (základem je zesilovač s vhodně zavedenou zpětnou vazbou) a na oscilátory **s prvkem se záporným diferenciálním odporem**. Další rozdělení by mohlo být podle průběhu vyráběného napětí (sinusové a nesinusové průběhy) a podle kmitočtu vyráběného napětí (vysokofrekvenční a nízkofrekvenční).

Aby se ze zesilovače stal oscilátor, musí být splněny podmínky pro vznik oscilací. Fázová podmínka $\sum \varphi = 0^\circ$ a amplitudová podmínka $\beta * A > 1$, kde hodnota součinu v praxi se volí $1,5 \div 2,5$.

Pokud budou splněny obě podmínky pro jedinou frekvenci, budou mít generované kmity harmonický průběh. Jsou-li splněny pro spektrum frekvencí, bude neharmonické. Frekvence kmitů je určena parametry zpětnovazebního dvojbranu.

U sinusových oscilátorů může někdy nelinearita obvodu způsobit nežádoucí jevy (kmity na více frekvencích, změny oscilační frekvence). Z tohoto důvodu a pro větší stabilitu se zapojují se dvěma zpětnými vazbami. Frekvenčně závislá zpětná vazba je podpořena frekvenčně nezávislou nelineární zpětnou vazbou, která závisí na amplitudě Uvýt. Toto zapojení se používá u oscilátorů, které mají pracovat jako frekvenční a v laboratorních generátorech.

2.1 Stabilita kmitočtu oscilátoru

Je to nejdůležitější schopnost oscilátoru a je dána:

- Kvalitou frekvence (mezní frekvence)
- Obvodovým zapojením (výhodnější zapojení SB a SC)
- Kolísáním napájecího napětí (změna pracovního bodu tranzistoru)
- Změna teploty (nutnost stabilizace)
- Vliv zátěže (oddělovací stupeň)
- Mechanické provedení
- Rozvod napájecího napětí (zařazení filtračních členů)

2.2 Rozdělení oscilátorů

2.2.1 RC oscilátory

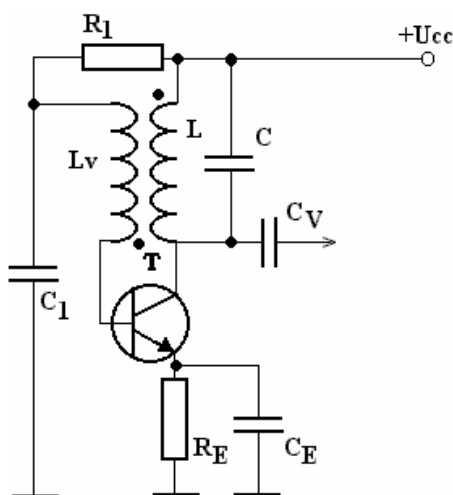
Kmitočet RC oscilátorů je určen vhodným zapojením selektivních RC členů ve zpětné vazbě zesilovače a je lineární funkcí časové konstanty $\tau = RC$. Tím se RC oscilátory dají snadno přeladit. Mohou vyrábět i velmi nízké kmitočty. Nepotřebují indukčnost, která se obtížně realizuje v integrované formě 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.

2.2.2 LC oscilátory

U LC oscilátorů je kmitočet určen rezonančním obvodem LC. Především jeho vlastnosti určují výsledné parametry celého oscilátoru, a to nejen kmitočet, ale i stabilitu. Základem LC oscilátoru je zesilovač, ve kterém jsou splněny podmínky pro vznik oscilací. Stejně jako u oscilátorů RC. Jednotlivé typy LC oscilátoru se vzájemně liší zapojením řídicího dvojbranu a jeho zapojením s aktivním dvojbranem. Dle způsobu zapojení se dělí na oscilátory s vazbou indukční a tříbodové oscilátory.

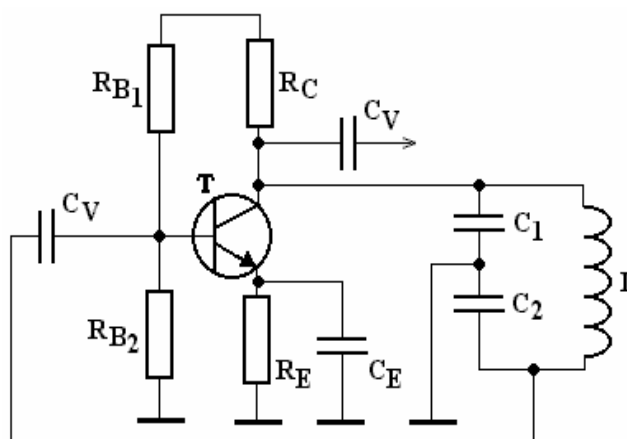
Jako zástupce oscilátorů s indukční vazbou by mohl být oscilátor dle Meissnerova zapojení (obr 3.1). Zpětná vazba je tvořena cívkou L_v . Převod (L a L_v) se volí tak, aby $\beta \times A_u$ bylo větší jak jedna. Na označených koncích je napětí ve stejných fázích. Fázový posuv mezi bází a kolektorem je 180° a dalších 180° se realizuje pomocí vazby cívek L a L_v . Pracovní bod je nastaven rezistorem R_1 , stabilita pracovního bodu je zajišťována rezistorem R_E . Před nasazením oscilací probíhá tranzistorem klidový proud (třída A).

Zkreslení signálu zůstává v přijatelných mezích, protože rezonanční obvod LC má selektivní charakter a vybírá první harmonickou (automatickou regulaci amplitudy zajišťuje nelinearita zesilovače).



Obr 2.1 Meissnerův oscilátor

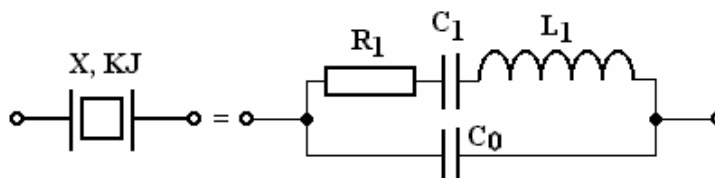
U tříbodových oscilátorů je aktivní součástka na řídicí obvod připojena ve třech směrech např. Colpittsův oscilátor (obr 3.2).



Obr 2.2 Colpittsův oscilátor

2.2.3 Krystalové oscilátory

Jsou to oscilátory nepřeladitelné nebo přeladitelné jen částečně. Kmitočet krystalového oscilátoru je určen krystalem (obr 2.3). Krystal je tenká destička, vyříznutá z monokrystalu pod vhodným úhlem, ve vhodné rovině. Na destičku se napaří kovové elektrody a ta se zapouzdří do kovového pouzdra nebo skleněné baňky. Přivedením střídavého napětí se krystal mechanicky rozkmitá. Rozměry se zvolí tak, aby se mechanická rezonanční frekvence skládala z frekvencí elektrických kmitů, které má oscilátor generovat. Správně provedený výbrus se projevuje jako úplný rezonanční obvod s nepatrným tlumením, tedy vysokým Q (řádově 10^4).



Obr 2.3 Náhradní zapojení krystalu

R_1 = Tento odpor vyjadřuje tlumení kmitů – mechanické ztráty v krystalu, přibližně Ω .

L_1 = Odpovídá hmotnosti rezonátoru (setina H).

C_1 = Odpovídá pružnosti rezonátoru (20 pF).

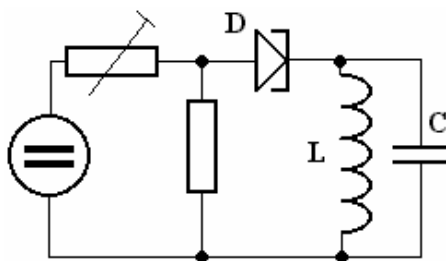
C_0 = Odpovídá kapacitě dielektrika a přívodu (přibližně 5 pF).

Z náhradního zapojení je patrné, že výbrus krystalu vykazuje 2 rezonanční kmitočty, paralelní a sériový, $f_p > f_s$.

2.2.4 Oscilátory se záporným diferenciálním odporem (dvoubodové)

Tyto oscilátory (obr 2.4) pracují s aktivními součástkami se záporným

diferenciálním odporem (tunelová dioda, tetroda – elektronka). Harmonické kmitání sinusového průběhu vzniká pouze se zapojením s LC obvodem, obvodem ve tvaru rezonančního vedení nebo dutinového rezonátoru. Součástky se záporným diferenciálním odporem kompenzují ztrátový odpor obvodu LC.



Obr 2.4 Oscilátor se záporným diferenciálním odporem

2.2.5 Generátory neharmonických signálů (relaxační generátory)

Napětí obdélníkového průběhu se vyrábí relaxačními generátory pracujícími buď s vlastním, nebo cizím buzením. Nejčastěji bývají zapojené jako klopné (regenerativní) obvody. Tyto obvody mají dva stavy definované nízkou a vysokou úrovní napětí na výstupu.

Dle charakteru obou stavů se rozdělují tyto klopné obvody na:

- 1) Astabilní – mají dva kvazirezonanční (dočasné) stavy (multivibrátor).
- 2) Monostabilní – má jeden kvazistabilní a jeden stabilní (trvalý) stav.
- 3) Bistabilní – dva stabilní stavy.

2.3 Návrh struktury harmonických oscilátorů

Při návrhu struktur oscilátorů s jen dvěma nezávislými uzly představující napětí přes kondenzátory, jsem vycházel ze stavové matice

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{u} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Za použití základních vědomostí k řešení lineárních diferenčních rovnic, vyjde charakteristická rovnice jednotlivých oscilátorů

$$\det(\lambda \cdot \mathbf{E} - \mathbf{A}) = \det \begin{pmatrix} \lambda - a_{11} & -a_{12} \\ -a_{21} & \lambda - a_{22} \end{pmatrix} = \lambda^2 - \text{tr}(\mathbf{A})\lambda + \det(\mathbf{A}) = 0. \quad (2)$$

2.3.1 Návrh se dvěma OTA a uzemněným rezistorem

Stavová matice nejjednoduššího obvodu schopného produkovat střídavý signál,

vzájemně posunut o 90° by mohla vypadat takto

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 0 & g_{m1}/C_1 \\ -g_{m2}/C_2 & (g_{m2} - G)/C_2 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

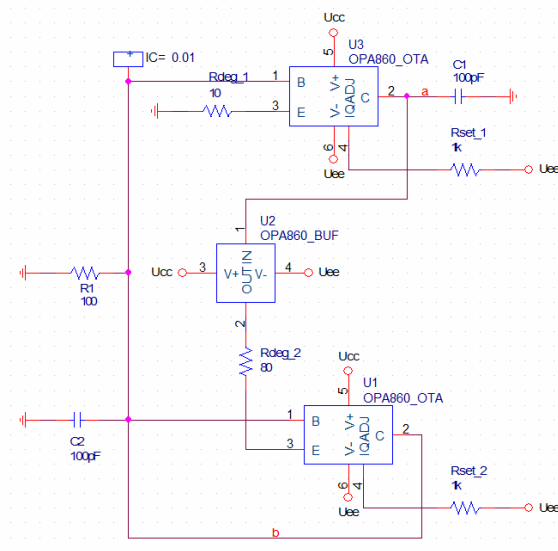
Vzhledem k nasycení výstupního proudu musí být g_m značně snížena, podle

$$\tilde{g}_m = g_m / (1 + g_m R_g). \quad (4)$$

Používá se zde degenerační rezistor R_g , který také zlepší ostatní vlastnosti oscilátoru, např. linearitu přenášené funkce $I_{out}=f(V_{in})$ a dynamický rozsah vstupního napětí. Vyřešením matice vyšla charakteristická rovnice oscilátoru a odpovídající rovnice pro oscilační frekvenci

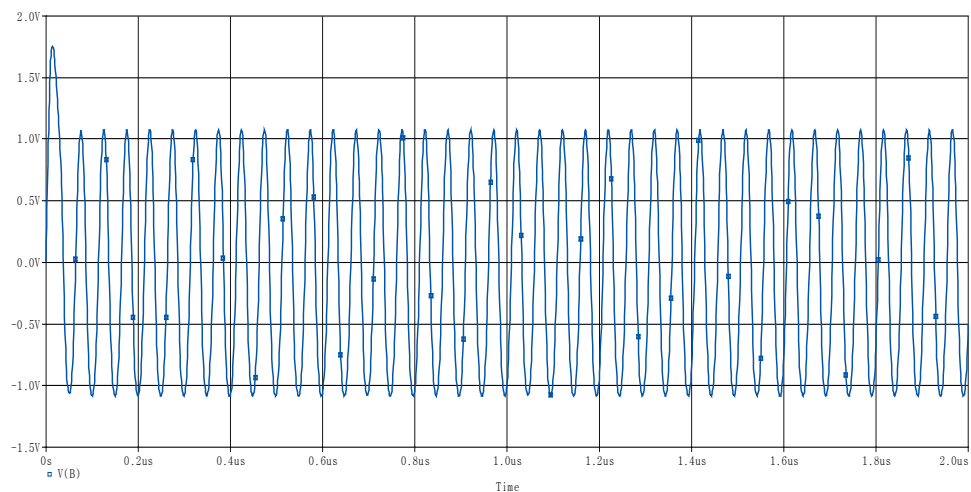
$$s^2 + \frac{G - g_{m2}}{C_2} s + \frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2} = 0, \quad f_{osc} = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{g_{m1}}{R}}, \quad (5)$$

kde $C_1 = C_2 = C > 0$. Podmínka pro stabilní oscilace je $g_m \approx R^{-1}$. Obvodové schéma je na obrázku 3.1.

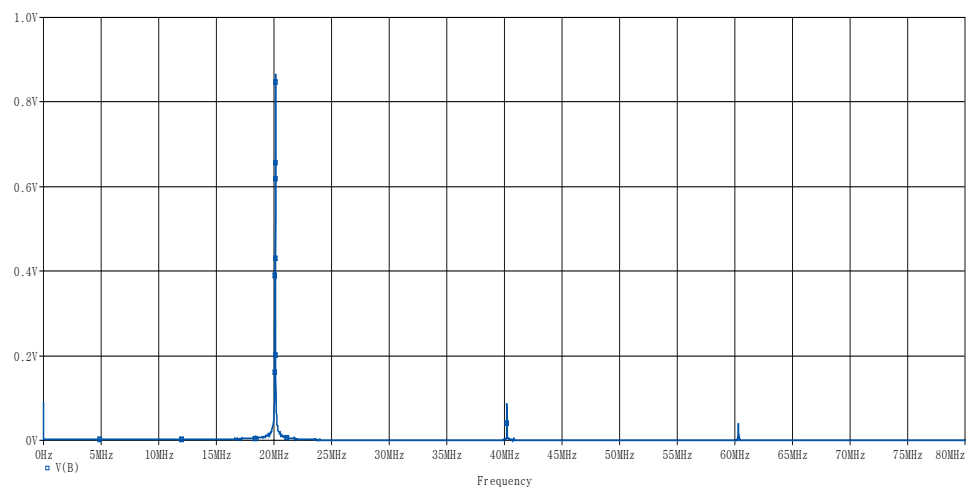


Obr 2.5 Model obvodu OSC1

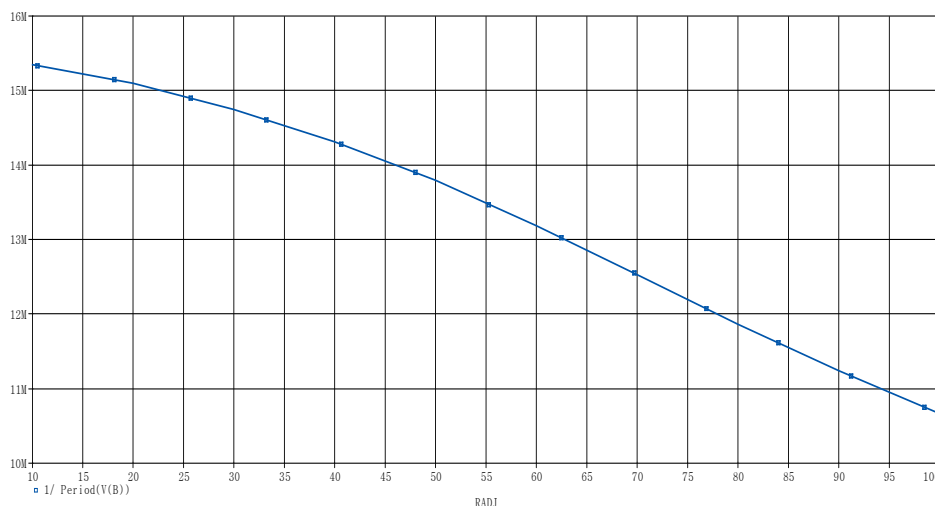
Obvod byl odsimulován v programu PSpice (obr 2.5). Při dodržení oscilačních podmínek se na výstupu objevili harmonické oscilace (obr 2.6). Elektronické přeladění tohoto obvodu bylo vytvořeno krokováním rezistoru R_{g1} , tudíž změnou g_{m1} . Horní mez připadá na frekvenci 20 MHz, a to při rezistoru $R_{g1} = 10 \Omega$. Dolní mez oscilačního kmitočtu nepřekročila hranici 7 MHz, a při dalším zvyšování hodnoty R_{g1} už neklesá (obr 2.8). Spektrum frekvence výstupního signálu lze vidět na obr 2.7.



Obr 2.6 Výstupní signál OSC1



Obr 2.7 Spektrum výstupního signálu OSC1



Obr 2.8 Možnost přeladění OSC1

2.3.2 Návrh s BOTA, OTA a uzemněným rezistorem

Další obvod schopný generovat harmonický signál s 90° fázovým posunem by mohl popsán maticí

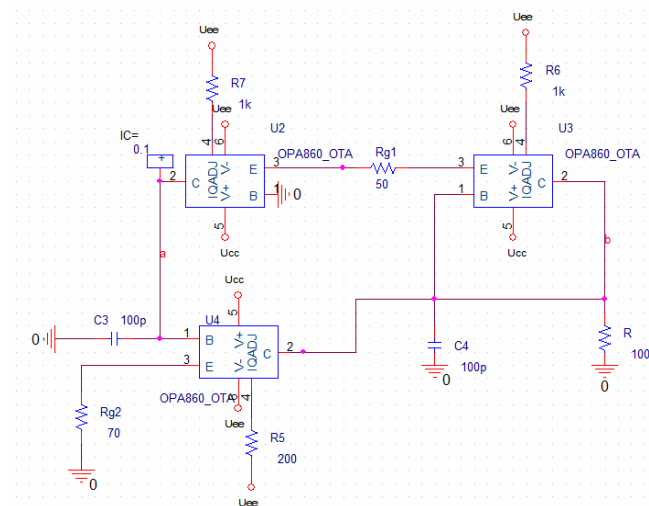
$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 0 & -g_{m2}/C_1 \\ g_{m1}/C_2 & (g_{m2} - G)/C_2 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Za předpokladu $C_1 = C_2 = C > 0$. Podmínky pro stabilní oscilace jsou $g_{m2} \approx R^{-1}$. Tento oscilátor je velmi podobný předchozímu, ale uspořádání prvků je lehce jiné, jak značí obr 2.9. Jeho charakteristická rovnice a rovnice pro oscilační frekvenci je po vyřešení matice úplně stejná, jako u předchozího oscilátoru.

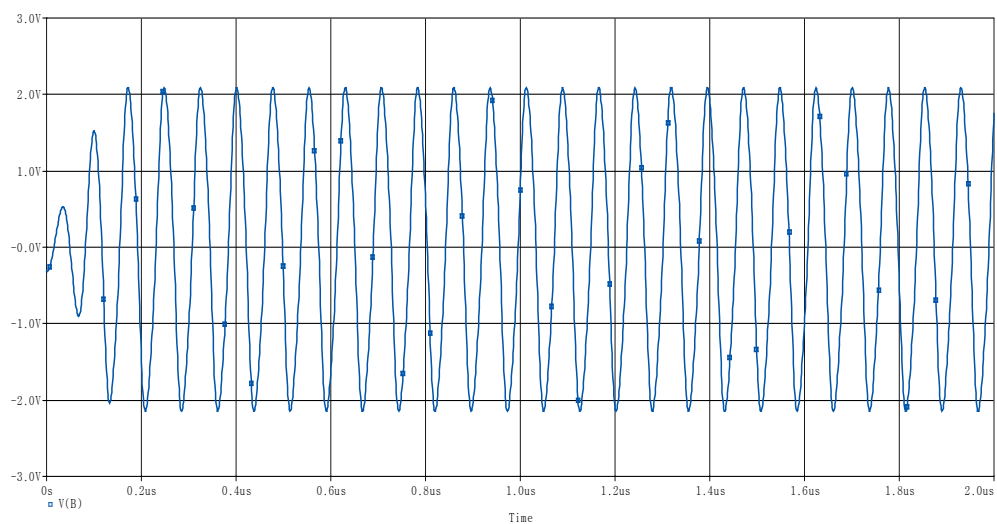
$$s^2 + \frac{G - g_{m2}}{C_2} s + \frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2} = 0, \quad f_{osc} = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{g_{m1}}{R}}. \quad (7)$$

Po simulaci v PSpice hodnoty jako u předchozího návrhu dosahovaly požadovaných výsledků. Rozsah přeladění je od 8 MHz do 20 MHz (obr 2.12), pomocí krokování rezistoru R_{g2} , změnou g_{m2} .

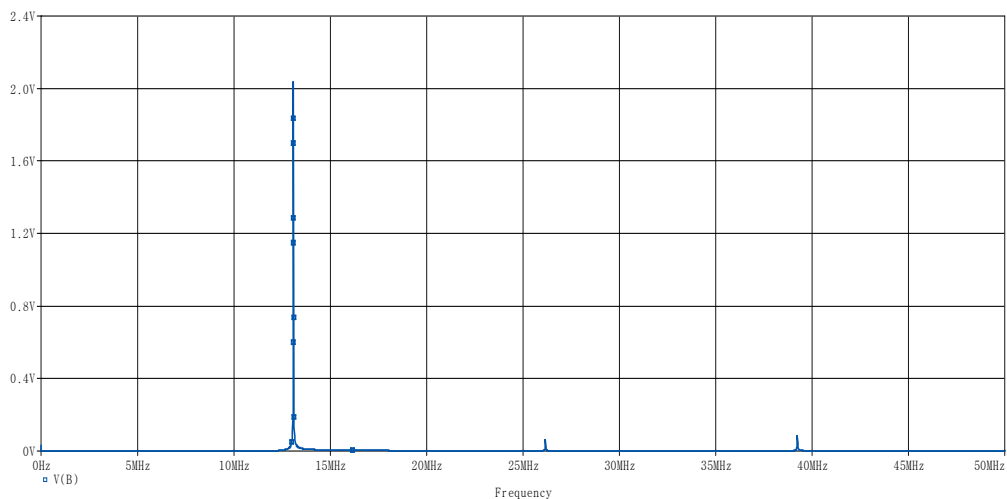
Za předpokladu tří modelů diamantových tranzistorů vstupní a výstupní odpory a kapacity ovlivňují jak frekvenci oscilací, tak podmínky pro stabilní oscilace. Toto tvrzení by mělo platit pro jakýkoliv navrhovaný obvod. Nejžádanější situace by byla v případě, že by se parazitní veličiny zahrnuly přímo do výpočetního vzorce, odvozeného z rovnice (2), jako součet s pracovními hodnotami.



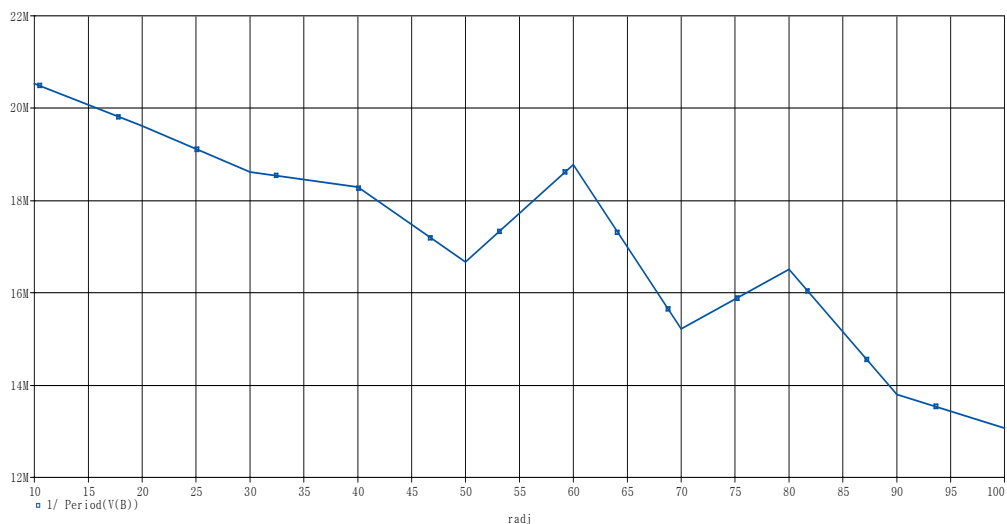
Obr 2.9 Model obvodu OSC2



Obr 2.10 Výstupní signál OSC2



Obr 2.11 Spektum výstupního signálu OSC2



Obr 2.12 Možnost přeladění OSC2

2.3.3 Návrh s dvěma OTA a plovoucím rezistorem 1

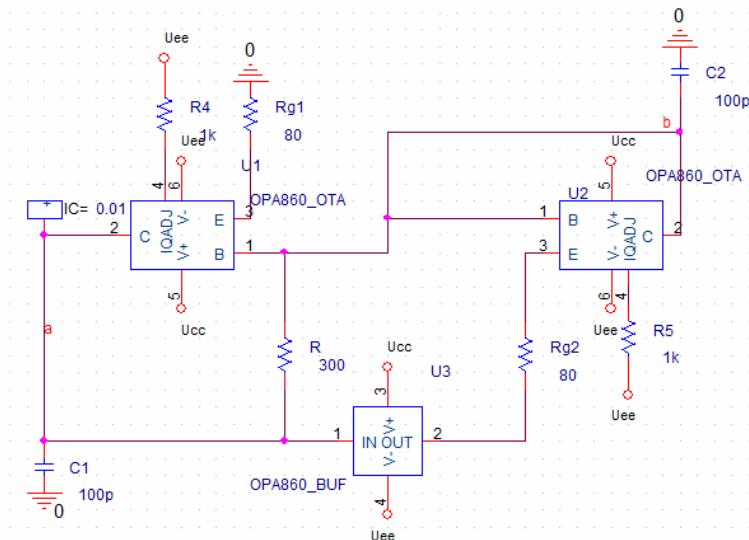
První možný návrh oscilátoru s jedním plovoucím rezistorem je demonstrován na obr 2.13 a může být popsán maticí

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} -G/C_1 & (g_{m1} + G)/C_1 \\ (G - g_{m2})/C_2 & (g_{m2} - G)/C_2 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Pro tento návrh vychází charakteristická rovnice a oscilační kmitočet

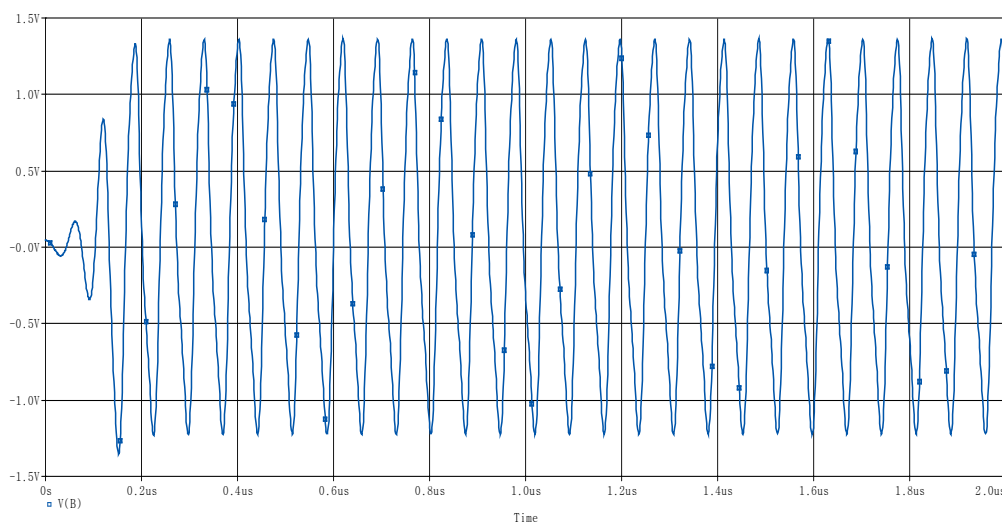
$$s^2 + \left(\frac{G - g_{m2}}{C_2} + \frac{G}{C_1} \right) s + \frac{g_{m1}(g_{m2} - G)}{C_1 C_2} = 0, \quad f_{osc} = \frac{\sqrt{g_{m1}(g_{m2} - G)}}{2\pi C} = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{g_{m1}}{R}}. \quad (9)$$

Hodnoty kondenzátorů jsou stejné jako u minulých příkladů, $C_1 = C_2 = C > 0$. Základním výpočtem je získána podmínka pro stabilní oscilace $g_{m2} \approx 2R^{-1}$. Za povšimnutí stojí, že se obvod liší od OSC1 pouze záměnou plovoucího rezistoru za uzemněný.

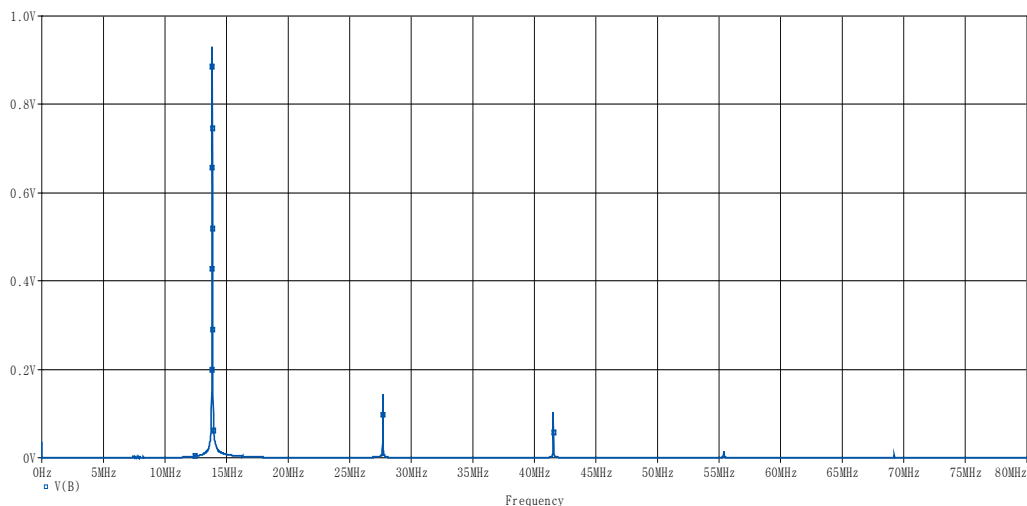


Obr 2.13 Model obvodu OSC3

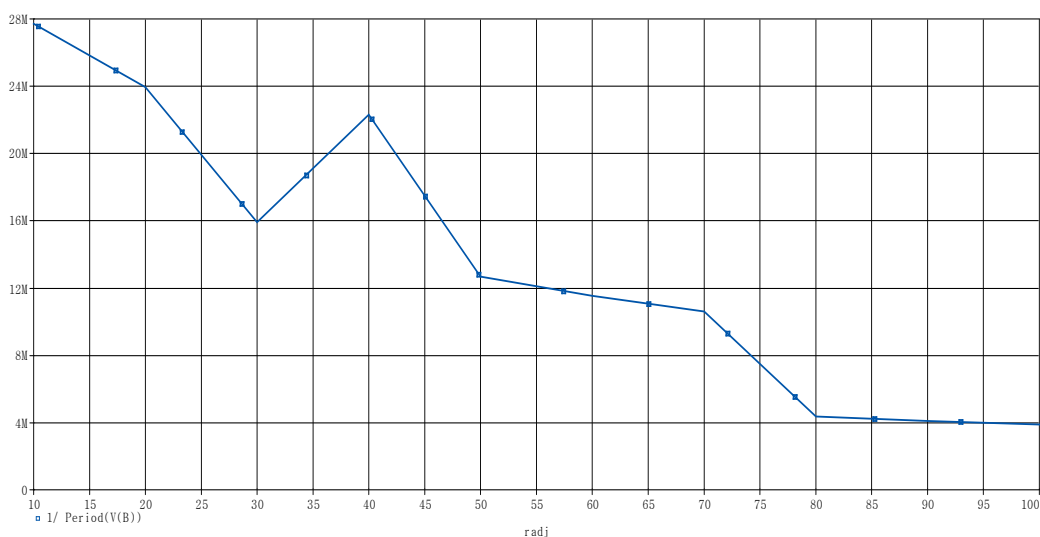
Rozsah přeladění je dán krokováním rezistoru R_{g1} , a je v rozmezí od zhruba 10 MHz do 18 MHz, viz obr 2.16.



Obr 2.14 Výstupní signál OSC3



Obr 2.15 Spektrum výstupního signálu OSC3



Obr 2.16 Možnost přeladění OSC3

2.3.4 Návrh s dvěma OTA a plovoucím rezistorem 2

Tento návrh oscilátoru zahrnuje v potaz parazitní kapacity tvořené diamantovým tranzistorem do vzorce pro oscilační kmitočet. Ale mají jen malý vliv na celkové chování obvodu, protože můžou být lehce sloučeny společně s pracovními kapacitami a odpory. Základem je stavová matice

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} (g_{m2} - G)/C_1 & G/C_1 \\ (G - g_{m1})/C_2 & -G/C_2 \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Kde $G = R^{-1}$. V tomto případě charakteristická rovnice bude velmi podobná, jako

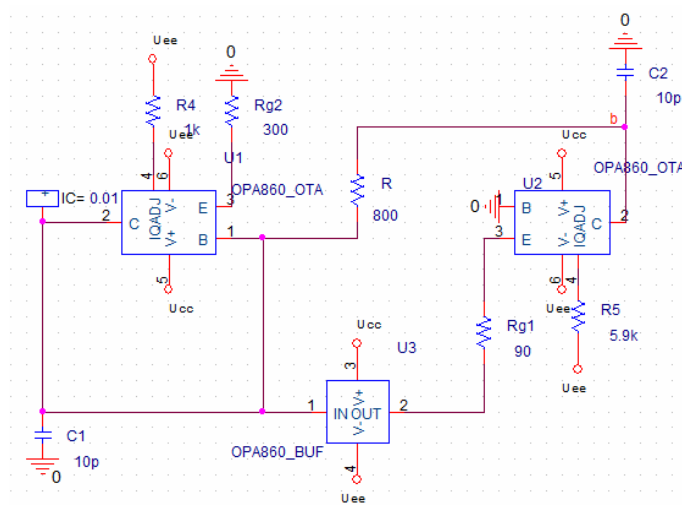
u předchozího zapojení

$$s^2 + \left(\frac{G}{C_2} + \frac{G - g_{m2}}{C_1} \right) s + \frac{G(g_{m1} - g_{m2})}{C_1 C_2} = 0. \quad (11)$$

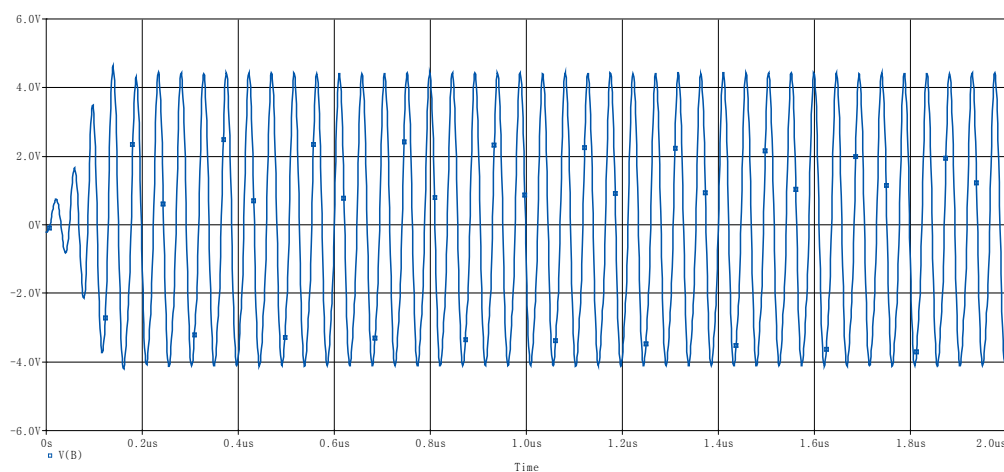
Předpokládány jsou také stejné hodnoty kapacitorů $C_1 = C_2 = C > 0$ a podmínka pro stabilní oscilace připadá na $g_{m2} \approx 2R^{-1}$. Výsledkem je vzorec pro oscilační frekvenci

$$f_{osc} = \frac{\sqrt{G(g_{m1} - g_{m2})}}{2\pi C} = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{g_{m1} - 2/R}{R}}. \quad (12)$$

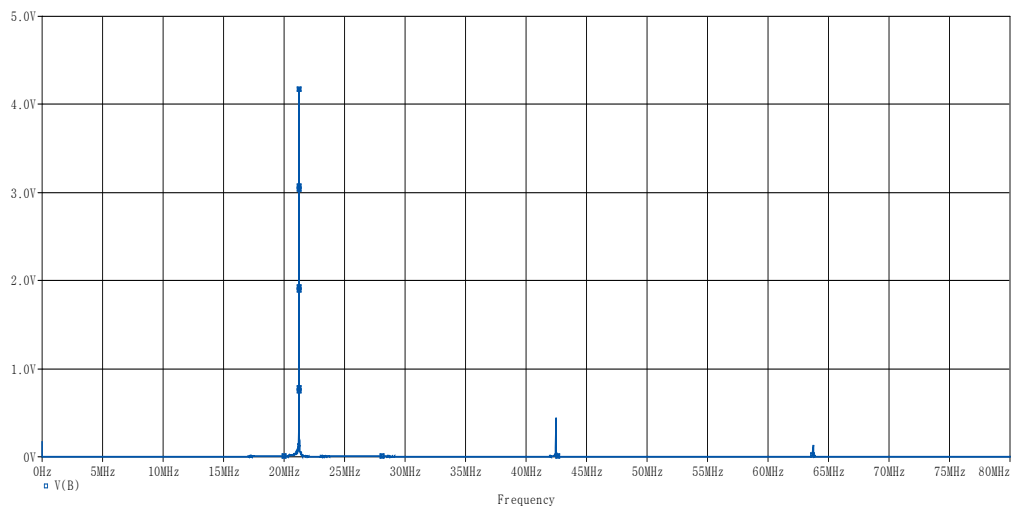
Je také důležité dodržet nerovnost $g_{m1} > 2R^{-1}$, jinak obvod nebude kmitat.



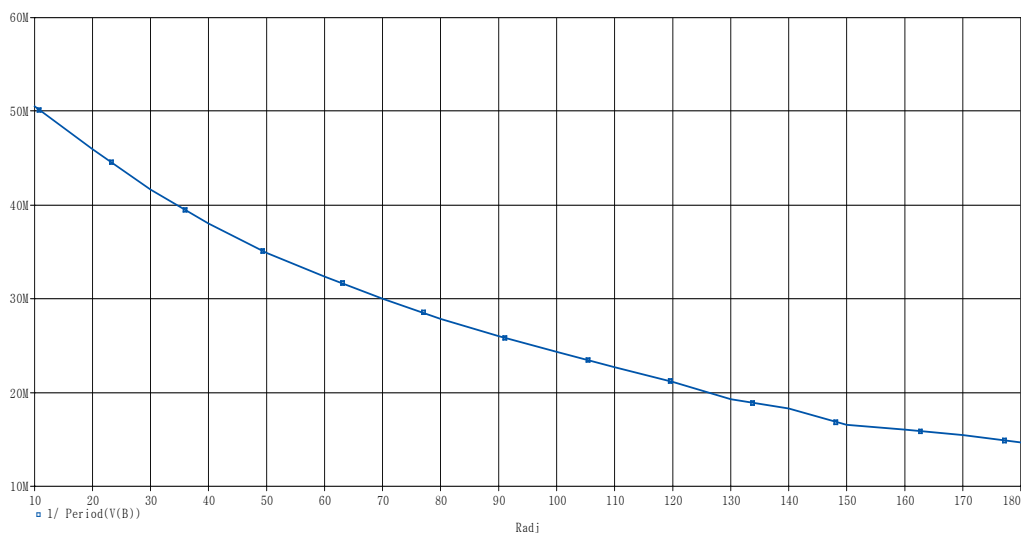
Obr 2.17 Model obvodu OSC4



Obr 2.18 Výstupní signál OSC4



Obr 2.19 Spektrum výstupního signálu OSC4



Obr 2.20 Možnost přeladění OSC4

2.3.5 Návrh s použitím BOTA, OTA a žádného rezistoru

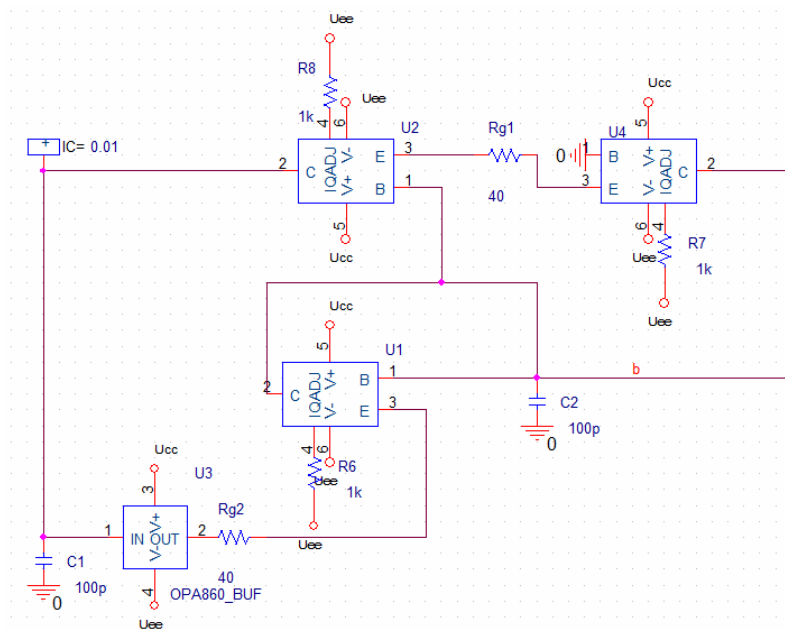
Při použití dvou aktivních prvků BOTA a OTA je možné úplně vynechat odpory a vytvořit tak oscilátor připravený pro monolitickou implementaci na chip. Pro tento případ vypadá stavová matice

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 0 & g_{m1}/C_1 \\ -g_{m2}/C_2 & (g_{m2} - g_{m1})/C_2 \end{pmatrix} \quad (13)$$

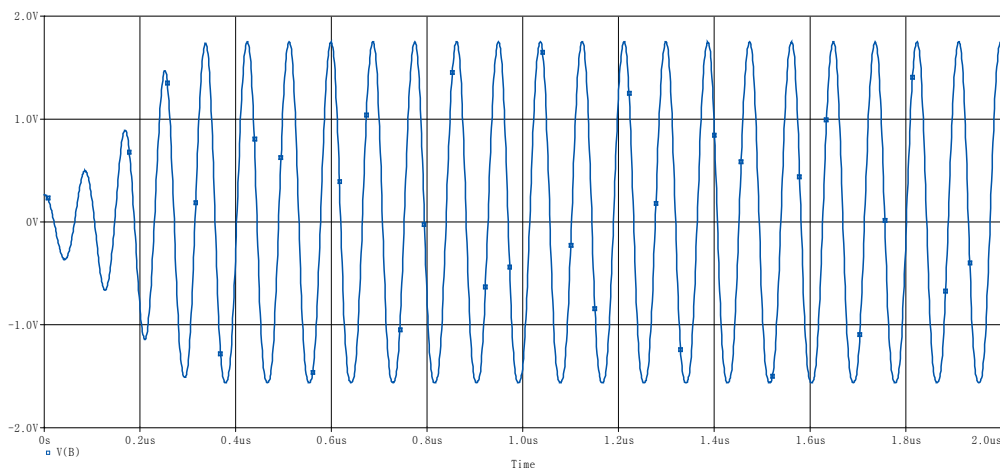
A charakteristická rovnice, společně se vzorcem pro výpočet oscilační frekvence

$$s^2 + \frac{g_{m2} - g_{m1}}{C_2} s + \frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2} = 0, f_{osc} = \frac{\sqrt{g_{m1}g_{m2}}}{2\pi C} \quad (14)$$

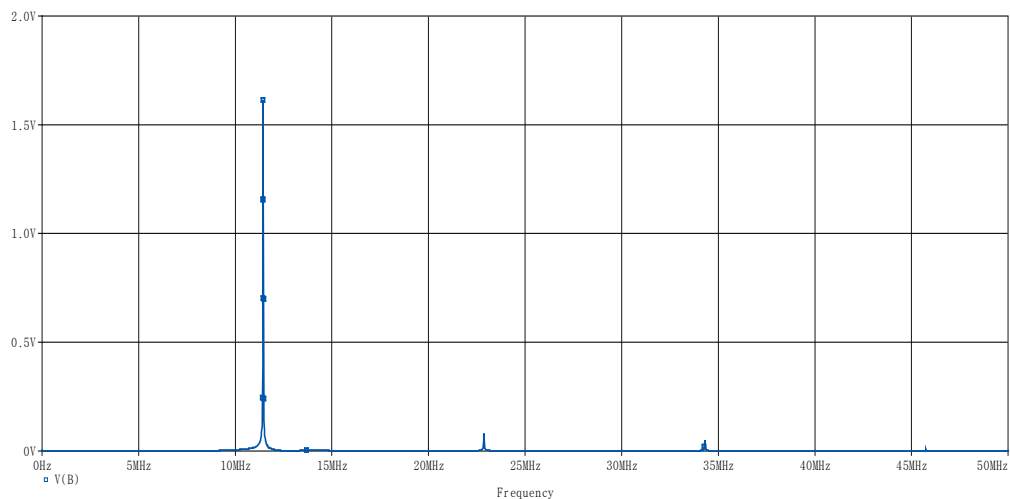
Všechny hodnoty kondenzátorů mají zase stejnou hodnotu $C_1 = C_2 = C > 0$, a podmínka pro stabilní oscilace je vypočtena $g_{m1} \approx g_{m2}$. To znamená, že transkonduktance obou tranzistorů musí být regulovány stejně.



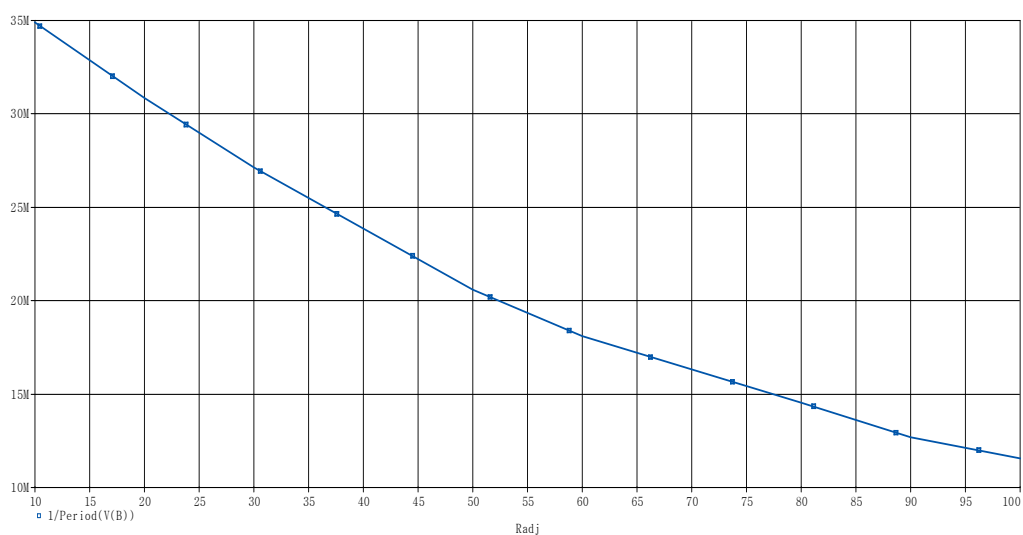
Obr 2.21 Model obvodu OSC5



Obr 2.22 Výstupní signál OSC5



Obr 2.23 Spektrum výstupního signálu OSC5



Obr 2.24 Možnost přeladění OSC5

2.3.6 Návrh pomocí BOTA, OTA a plovoucího rezistoru

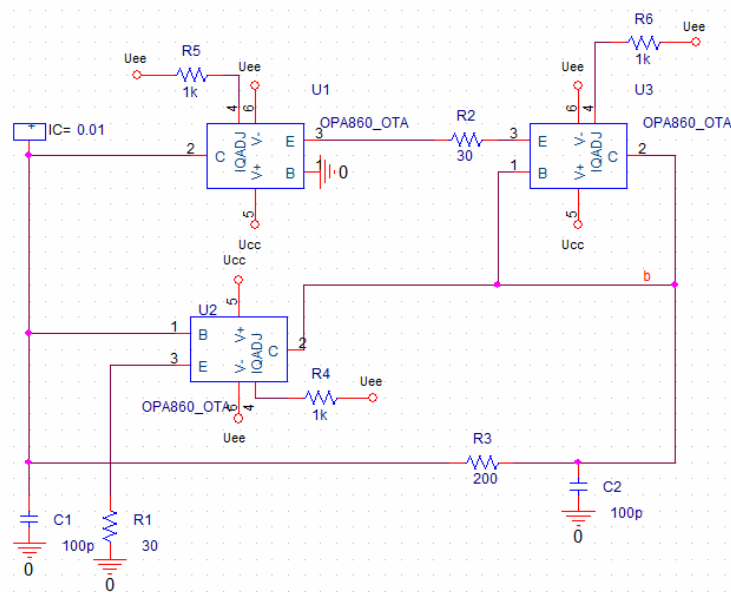
Jako poslední z možností návrhu oscilátoru pomocí aktivních prvků BOTA a OTA charakterizuje stavová matice

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} -G/C_1 & (G - g_{m2})/C_1 \\ (g_{m1} + G)/C_2 & (g_{m2} - G)/C_2 \end{pmatrix} \quad (15)$$

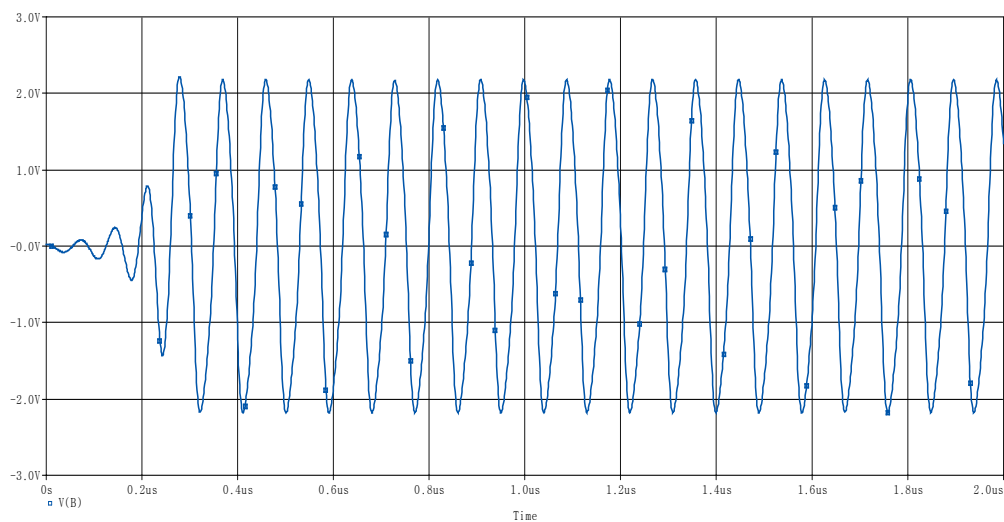
Ze které vyplývá charakteristická rovnice a vztah pro oscilační kmitočet

$$s^2 + \left(\frac{G}{C_1} + \frac{G - g_{m2}}{C_2} \right) s + \frac{g_{m1}(g_{m2} - G)}{C_1 C_2} = 0, f_{osc} = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{g_{m1}}{R}} \quad (16)$$

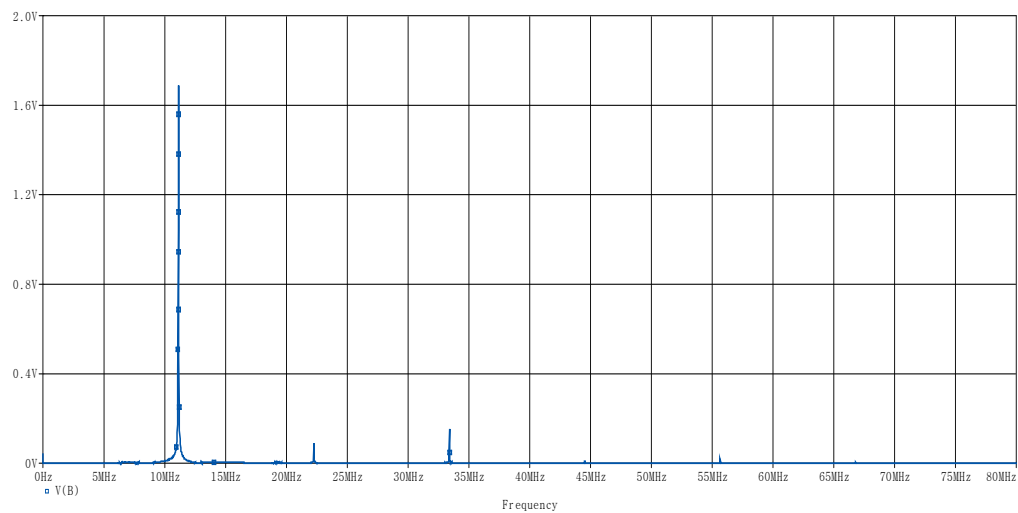
Jako i u minulých návrhů je vycházeno z toho, že všechny kondenzátory mají stejnou kapacitu $C_1 = C_2 = C > 0$. Podmínka pro stabilní oscilace připadá na $g_{m1} \approx g_{m2}$, takže transkonduktance obou tranzistorů musí být regulovány stejně.



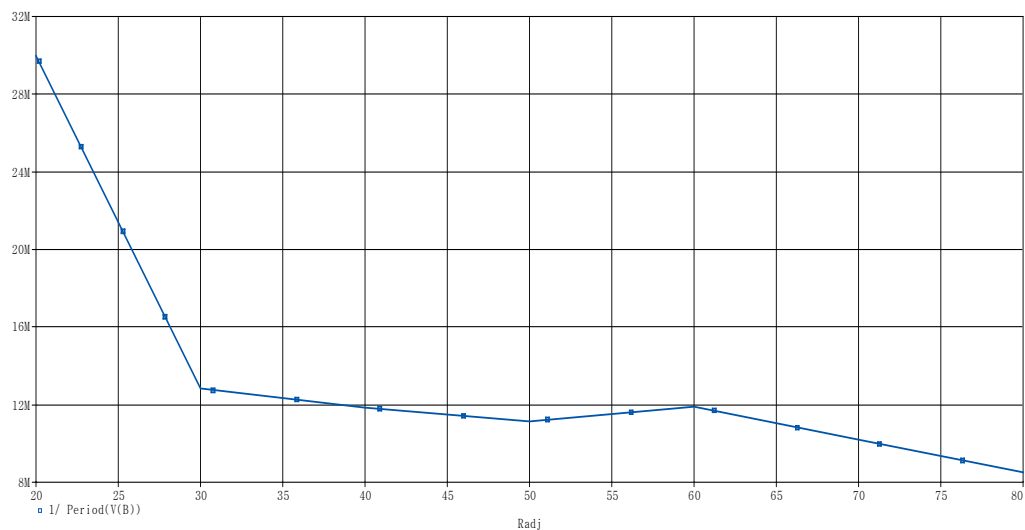
Obr 2.25 Model obvodu OSC6



Obr 2.26 Výstupní signál OSC6



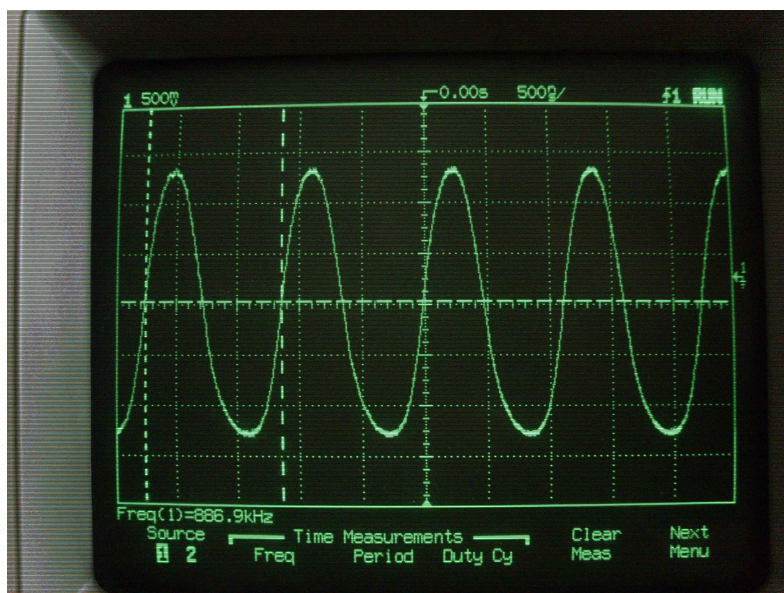
Obr 2.27 Spektrum výstupního signálu OSC6



Obr 2.28 Možnost přeladění OSC6

3 PRAKTICKÁ REALIZACE

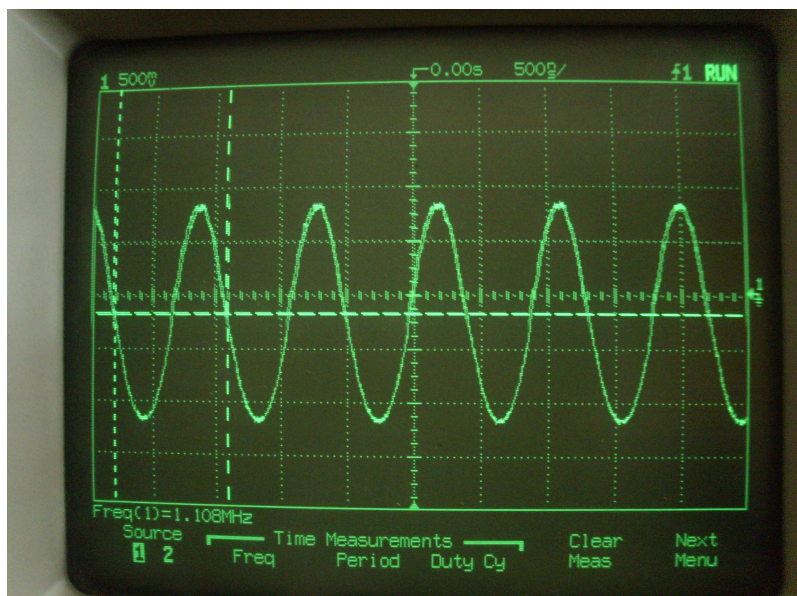
Praktická realizace byla řešena zapojením jednotlivých oscilátorů do kontaktního pole. Při připojení napájecího napětí se objevily na všech oscilátorech harmonické kmity. Tyto kmity však nedosahovaly teoretických hodnot simulovaných výše.



Obr 3.1 Výstupní signál OSC1 na osciloskopu ($f=886,9$ kHz)

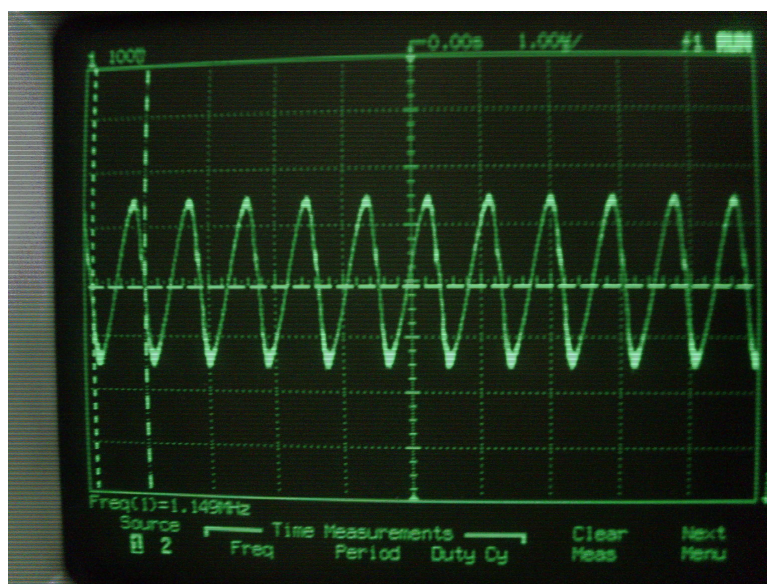
Vlivem nestability kontaktů nepájivého pole se na výstupním signálu objevovaly různé zákmity a šum, což někdy zapůsobilo negativně na přesnost měření.

Rozsah přeladění u jednotlivých obvodů se pohyboval v jednotkách MHz. Maximální hodnotu vykazoval oscilátor s dvěma OTA a s plovoucím rezistorem 2 (OSC4), a to až 3MHz. Spodní hranice oscilačního kmitočtu byla omezena konečnou hodnotou použitého potenciometru.

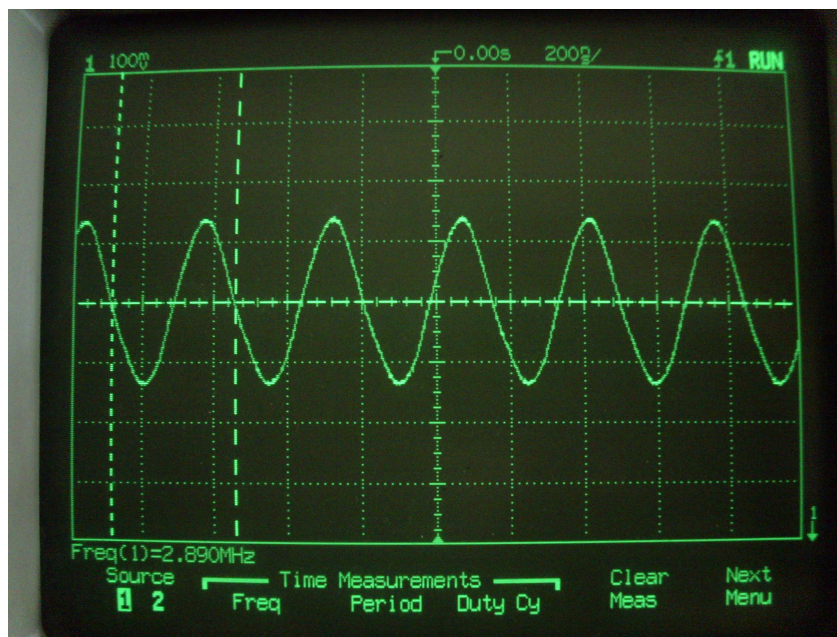


Obr 3.2 Výstupní signál OSC1 na osciloskopu ($f=1,108$ MHz)

Uvedená zapojení vykazovala vysokou stabilitu amplitudy od 100 mV do 1,4 V. Tyto hodnoty jsou uspokojující pro praktické použití.



Obr 3.3 Výstupní signál OSC4 na osciloskopu ($f=1,149$ MHz)



Obr 3.4 Výstupní signál OSC4 na osciloskopu ($f=2,890$ MHz)

K zjištění hodnoty fázového šumu byl použit spektrální analyzátor Agilent 4395A a za použití 1Hz filtru je fázový šum u oscilátorů přibližně -40 dBc/Hz. A celkové harmonické zkreslení nepřesáhlo u jednotlivých oscilátorů hodnotu 3%.

4 ZÁVĚR

V rámci semestrálního projektu jsem se seznámil s činností a vlastnostmi aktivních bloků pro syntézu obvodů ve vyšším kmitočtovém pásmu. Jde vidět, že tyto obvody mají budoucnost a značně ulehčí práci a sníží počet součástek k vytvoření potřebného zapojení.

Dále jsem navrhl struktury harmonických oscilátorů, které pracují v proudovém módu. Všechny se mi podařilo sestavit tak, aby vytvářely harmonický signál vysoké frekvence. S většinou z nich jsem dosáhl frekvence 20MHz i vyšší, což je uspokojivé. Zaměřil jsem se také na jejich elektronické přeladění, které se povedlo řádově v desítkách MHz.

V další části bakalářské práce jsem tyto struktury oživil a prakticky analyzoval. Zapojené obvody dosahovaly však značně nižších kmitočtů, než bylo dáno teoretickými výpočty. Nejvyššího kmitočtu jsem dosáhl u oscilátoru s plovoucím odporem 2, a to cca 3 MHz, při amplitudě 200 mV. Rozsah přeladění bylo spojitě řádově ve stech kHz. Limitováno bylo velikostí potenciometru, který nastavoval transkonduktanci jednotlivých OTA. Harmonické zkreslení u jednotlivých obvodů se pohybovalo kolem 3 procent, což je také uspokojující. Fázový šum dosáhl hodnoty -40 dBc/Hz.

Realizované oscilátory sice fungují správně, ale v tomto zapojení jsou prakticky nepoužitelné. S teplotou se totiž výrazně mění transkonduktance g_m , která zásadně ovlivňuje nastavení oscilační frekvence. Pro praktické použití by se měla zvážit tepelná stabilizace tohoto parametru. Dále obvody vykazují také velké proudové odběry, které mají za vinu právě zvyšování teploty aktivních členů a také vysokou spotřebu energie.

LITERATURA

- [1] BIOLEK, D., SENANI, R., BIOLKOVÁ, V., KOLKA, Z. *Active elements for analog signal processing*. Radioengineering, 2008, vol. 17, no. 4, p. 15 - 32.
- [2] HANUS, S., SVAČINA, J. *Vysokofrekvenční a mikrovlnná technika, přednášky*. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2002.
- [3] INTERSIL. Datasheet EL2082 [online]. 2006, Rev D. Dostupné na [www: <http://pdf1.alldatasheet.net/datasheet-pdf/view/59879/ELANTEC/EL2082.html>](http://pdf1.alldatasheet.net/datasheet-pdf/view/59879/ELANTEC/EL2082.html).
- [4] INTERSIL. Datasheet EL4083 [online]. 2005, Rev B. Dostupné na [www: <http://www.bmh.nu/pdf/Analogt/EL4083.pdf>](http://www.bmh.nu/pdf/Analogt/EL4083.pdf).
- [5] ANALOG DEVICES. Datasheet AD844 [online]. 2009, Rev F. Dostupné na [www: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/analogdevices/164715713AD844_e.pdf>](http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/analogdevices/164715713AD844_e.pdf).
- [6] LINEAR TECHNOLOGY. Datasheet LT1228 [online]. Dostupné na [www: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/lineartechnology/1228fbs.pdf>](http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/lineartechnology/1228fbs.pdf).
- [7] NATIONAL SEMICONDUCTOR, Datasheet LM13700 [online]. 2004. Dostupné na [www: <http://www.national.com/ds/LM/LM13700.pdf>](http://www.national.com/ds/LM/LM13700.pdf).

INTERNETOVÉ ZDROJE

- [8] URL: [<http://en.wikipedia.org>](http://en.wikipedia.org)
- [9] URL: [<http://alzat.szm.com/Oscilat/rozdela/rozdela.htm>](http://alzat.szm.com/Oscilat/rozdela/rozdela.htm)
- [10] URL: [<http://www.b324.com/ek/>](http://www.b324.com/ek/)
- [11] URL: [<http://www.tpub.com/content/neets/14181/>](http://www.tpub.com/content/neets/14181/)