View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by DSpace at VSB Technical University of Ostrava

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Aplikace moderních aktivních prvků při realizaci generátorů periodických signálů

Application of Modern Active Elements in the Implementation of Periodic Signal Generators

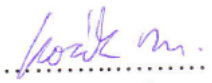
2014

Kozák Miroslav

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně.Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: *7. května 2014*



podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval **Ing. Zdeňku Tesařovi** za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

Abstrakt

Účelem bakalářské práce je analýza, simulace a experimentální ověření generátorů periodických signálů. V teoretické části jsou základně rozebrányněkteré moderní aktivní prvky.Tyto prvky, slouží jako základ pro návrh generátorů. V práci jsou analyzovány obvody pro sinusový, obdélníkový a trojúhelníkový průběh. Simulace byly provedeny v programu SNAP. Experimentální zapojení je řešeno pomocí nepájivých polí a prakticky změřené charakteristiky a hodnoty jsou srovnány s analyzovanými výpočty.

Klíčová slova

Generátor; proudový konvejor; oscilátor; komparátor; integrátor

Abstract

The purpose of this bachelor work is analysis, simulation and experimental verification of the periodic signal generators. In the theoretical part is analysis of some modern active elements. These elements serve as the basis for the design of generators. In the work are analyzed circuits for sine, square and triangle waveform. Simulations were performed in SNAP. The experimental circuit is designed by using solder stop fields. Practically, the measured characteristic values are compared and analyzed with the calculations.

Keywords

Generator; current conveyor; oscillator; comparator; integrator

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
a	[-]	Koeficient
b	[-]	Koeficient
c	[-]	Koeficient
C	[F]	Kapacita
$\boldsymbol{g_m}$	[Ω]	Přenosová vodivost
$\boldsymbol{I_0}$	[A]	Řídící proud
$\boldsymbol{I_1}$	[A]	Proud tekoucí T1
$\boldsymbol{I_2}$	[A]	Proud tekoucí T2
$\boldsymbol{I_B}$	[A]	Proud báze
$\boldsymbol{I_X}$	[A]	Napětí na svorce X
$\boldsymbol{I_{X1}}$	[A]	Napětí na svorce X_1
$\boldsymbol{I_{X2}}$	[A]	Napětí na svorce X_2
$\boldsymbol{I_{X3}}$	[A]	Napětí na svorce X_3
$\boldsymbol{I_{X4}}$	[A]	Napětí na svorce X_4
$\boldsymbol{I_Z}$	[A]	Napětí na svorce Z
$\boldsymbol{I_{Z1}}$	[A]	Napětí na svorce Z_1
$\boldsymbol{I_{Z2}}$	[A]	Napětí na svorce Z_2
$\boldsymbol{I_{Z3}}$	[A]	Napětí na svorce Z_3
$\boldsymbol{I_{Z4}}$	[A]	Napětí na svorce Z_4
k	[-]	Konstanta
L	[H]	Indukčnost
N	[-]	Počet bran
R	[Ω]	Odpor
$\boldsymbol{R_1}$	[Ω]	Odpor 1
$\boldsymbol{R_2}$	[Ω]	Odpor 2

$\boldsymbol{R_3}$	[Ω]	Odpor 3
$\boldsymbol{U_i}$	[Hz]	Perioda
$\boldsymbol{U_N}$	[V]	Proudový zdroj
$\boldsymbol{U_P}$	[V]	Rozdílové napětí
$\boldsymbol{U_{R1}}$	[V]	Napětí na invert. vstupu
$\boldsymbol{U_T}$	[V]	Napětí na výstupu
$\boldsymbol{U_{VÝST}}$	[V]	Napětí na výstupu
$\boldsymbol{U_{VST}}$	[V]	Úbytek napětí na R1
$\boldsymbol{U_X}$	[V]	Napětí na svorce X
$\boldsymbol{U_{X1}}$	[V]	Napětí na svorce X_1
$\boldsymbol{U_{X2}}$	[V]	Napětí na svorce X_2
$\boldsymbol{U_{X3}}$	[V]	Napětí na svorce X_3
$\boldsymbol{U_{X4}}$	[V]	Napětí na svorce X_4
$\boldsymbol{U_{Y1}}$	[V]	Napětí na svorce Y_1
$\boldsymbol{U_{Y2}}$	[V]	Napětí na svorce Y_2
$\boldsymbol{U_{Y3}}$	[V]	Napětí na svorce Y_3
$\boldsymbol{U_{Y4}}$	[V]	Napětí na svorce Y_4
X	[-]	Proudová vstupní brána
X+	[-]	Výstupní napěťová svorka
X-	[-]	Výstupní napěťová svorka
Y	[-]	Napěťová vstupní brána
$\boldsymbol{Y_{1+}}$	[-]	Kladná napěťová svorka 1
$\boldsymbol{Y_{2-}}$	[-]	Záporná napěťová svorka 2
$\boldsymbol{Y_{3+}}$	[-]	Kladná napěťová svorka 3
Z	[-]	Výstupní brána

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
CA	Proudový zesilovač
CC	Neinvertující proudový konvejor
CC+	Neinvertující proudový konvejor pozitivní
CC-	Neinvertující proudový konvejor negativní
CCI	Neinvertující proudový konvejor první generace
CCII	Neinvertující proudový konvejor druhé generace
CCII+	Neinvertující proudový konvejor druhé generace pozitivní
$\boldsymbol{CCII+_1}$	Neinvertující proudový konvejor druhé generace 1
$\boldsymbol{CCII+_2}$	Neinvertující proudový konvejor druhé generace 2
$\boldsymbol{CCII+_3}$	Neinvertující proudový konvejor druhé generace 3
$\boldsymbol{CCII+_4}$	Neinvertující proudový konvejor druhé generace 4
CCIII	Neinvertující proudový konvejor třetí generace
ICC	Invertující proudový konvejor
ICCI	Invertující proudový konvejor první generace
ICCII	Invertující proudový konvejor druhé generace
UCC	Univerzální proudový konvejor
AD	Analog Devices
AD844	Operační zesilovač
OPA860	Širokopásmový operační transkonduktanční zesilovač
OPA861	Širokopásmový operační transkonduktanční zesilovač
PPw	Pásmová propust Wienova článku

Obsah

1 Úvod ..... - 10 -
2 Moderní aktivní prvky ..... - 11 -
2.1 Proudové konvejory ..... - 11 -
2.1.1 Univerzální proudový konvejor ..... - 13 -
2.2 Napěťový konvejor ..... - 14 -
2.2.1 Univerzální napěťový konvejor ..... - 15 -
3 Generátory a oscilátory ..... - 16 -
3.1 Základní rozdělení generátorů ..... - 16 -
3.2 Oscilátory ..... - 17 -
3.2.1 Oscilátory LC ..... - 17 -
3.2.2 Oscilátory RC ..... - 18 -
4 Aplikace aktivních prvků pro generátory signálů ..... - 20 -
4.1 RC oscilátor v proudovém režimu ..... - 20 -
4.1.1 Proudový zesilovač CA ..... - 20 -
4.1.2 RC ocsilátor v zapojení s Wienovým článkem ..... - 21 -
4.1.3 Simulace RC osilátoru v proudovém režimu ..... - 23 -
4.1.4 Simulace zapojení Wienova článku s diamantovými tranzistory ..... - 26 -
4.2 Generátor periodických signálů ..... - 28 -
4.2.1 Neinvertující integrátor s CCII+ ..... - 29 -
4.2.2 Invertující integrátor CCII+ ..... - 30 -
4.2.3 Komparátor ..... - 30 -
4.3 Funkční generátor s CCII+ ..... - 32 -
5 Experimentální ověření ..... - 35 -
5.1 Realizace RC oscilátoru v proudovém režimu ..... - 35 -
5.1.1 Výstupní charakteristiky ..... - 36 -
5.2 Realizace funkčního generátoru s CCII+ ..... - 37 -
5.2.1 Výstupní charakteristiky ..... - 39 -
6 Závěr ..... - 42 -
Použitá literatura ..... - 43 -
Seznam příloh ..... - 45 -

1 Úvod

V první části práce jsou rozebrány některé moderní aktivní prvky. Tyto prvky představují možnou náhradu klasického operačního zesilovače. První generace byla představena již v roce 1966, o dva roky později byla představena druhá generace. Celkově vyšly tři generace toho prvku s mnoha různými variantami zapojení. Nikdy ale nedošlo k sériové výrobě toho těchto prvků. Proto můžeme tento prvek vidět pouze jako součást některých integrovaných obvodů, jako jsou například OPA860, OPA861 či AD844 se kterými pracujeme v této práci.

Druhá část práce se věnuje analýze a obvodovému řešení generátorů periodických signálů. Rozebrány jsou nejčastěji užívané průběhy a to harmonický sinusový, trojúhelníkový a obdélníkový signál. Sinusový průběh je vytvářen oscilátorem. Obdélníkový a trojúhelníkový průběh je vytvářen pomocí funkčního generátoru.

Třetí část práce spočívá v návrhu výše zmiňovaných generátorů s aplikací pozitivních proudových konvejorů druhé generace (CCII+). Návrhy jsou následně simulovány v programu SNAP.

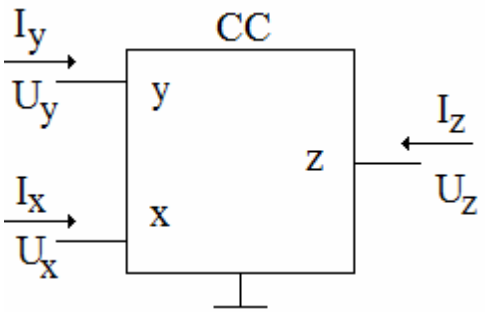
Závěrem je zde řešena praktická realizace navržených generátorů s proudovými aktivními prvky. Výsledky jsou porovnávány jak pro teoretické předpoklady, tak pro simulace.

2 Moderní aktivní prvky

Nejnovější aktivní prvky přinášejí mnoho vylepšených vlastností klasických operačních zesilovačů. V dalších částech práce tyto prvky aplikujeme a ověřujeme tedy vlastnosti, které můžeme využít v náš prospěch, což je např. zvýšená šumová odolnost, kvalitnější frekvenční vlastnosti či nižší napájecí napětí. V této kapitole se zaměřím pouze na základní rozbor vybraných aktivních prvků.

2.1 Proudové konvejory

Profesor K.C.Smith přišel poprvé s myšlenkou proudového konvejoru v roce 1966 na univerzitě v Torontu. První pokusy o vytvoření tohoto nového prvku byly provedeny pomocí bipolární technologie. Po dvou letech představil spolu s A. Sedra nové prvky, které dostali název proudové konvejory první generace (CCI). V roce 1970 Sedra a Smith, autoři první generace proudového konvejoru představili druhou generaci proudového konvejoru označovaného jako CCII viz obr. 2.1. Jedná se o tříbranný typ konvejoru, od první generace proudového konvejoru se liší pouze napěťovou svorkou Y. Ve druhé generaci konvejorů je tedy svorka Y pouze napěťovým vstupem, takže proudový přenos z X svorky na Y svorku se rovná nule. Podle orientace výstupního proudu se používá značení CCII+ (pro Z=1) nebo CCII-(pro Z=-1).[1]Třetí generaci proudového konvejoruzavedl A. Fabre v roce 1995.[3]



Obrázek 2.1: *Schématická značka tříbranného proudového konvejoru*

Brána Y představuje vysoko impedanční neinvertující napěťový vstup. Brána X je proudová brána. Výstupní brána je označena jako Z.[2]

Proudové konvejory jsou popsány přenosovými koeficienty „a, b, c“ tyto koeficienty představují proud a napětí. Koeficient značený jako „a“ udává, jestli je konvejorneinvertující nebo invertující. Dosahuje hodnot (1, -1). Koeficient „b“ určuje generaci příslušného konvejoru adosahuje hodnot (1, 0, -1). Pro hodnotu 1 se jedná o konvejor první generace, nula značí druhou generaci a -1 značí konvejor třetí generace. Koeficient „c“ určuje zda se jedná o pozitivní, nebo negativní proudový konvejor např. CCII+. [4]

. Přenosové koeficienty tedy můžeme upravit do maticové formy která určuje vztahy mezi jednotlivými veličinami.

$$\begin{bmatrix} u_x \\ i_y \\ i_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & a & 0 \\ b & 0 & 0 \\ c & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_x \\ u_y \\ u_z \end{bmatrix}$$

Základní vztahy mezi těmitobranovýmiveličinami je tedy možné vyjádřit:

$$u_x = u_y \, , i_y = \, i_x \, , i_z = i_x \tag{2.1}$$

$$u_x = a \cdot u_y \, , i_y = b \cdot \, i_x \, , i_z = c \cdot i_x \tag{2.2}$$

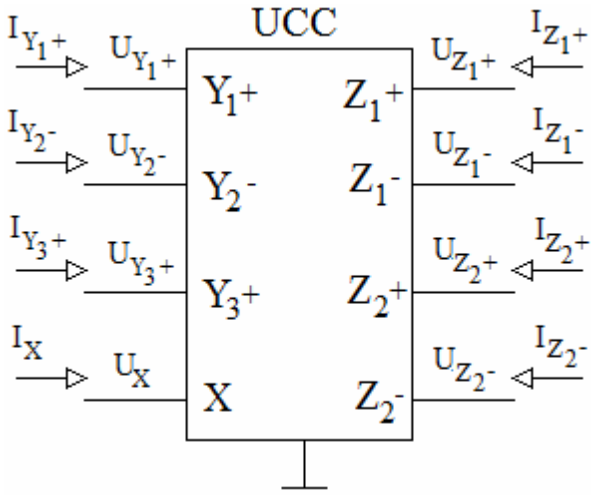
Všechny typy tříbranných proudových konvejorů představuje obr. č 2.2. Přestože veřejnosti je dostupný pouze CCII+, ostatní proudové konvejory je možné realizovat právě tímto konvejorem zapojeným do blokové struktury. CCII+ jsou součástíintegrované obvody jakojsou např. OPA860, OPA861 nebo AD844.

Druh konvejoru	Koeficienty		
	a	**b**	**c**
CCI+	1	1	1
CCI-	1	1	-1
CCII+	1	0	1
CCII-	1	0	-1
CCIII+	1	-1	1
CCIII-	1	-1	-1
ICCI+	-1	1	1
ICCI-	-1	1	-1
ICCII+	-1	0	1
ICCII-	-1	0	-1
ICCIII+	-1	-1	1
ICCIII-	-1	-1	-1

Obrázek 2.2: *Typy proudových konvejorů s koeficienty*

2.1.1 Univerzální proudový konvejor

Univerzální proudový konvejor označovaný jako UCC viz obr. č. 2.3, byl vyvinut za předpokladu, že pouze pomocí toho prvku budeme schopni zrealizovat všechny druhy proudových konvejorů. Což je také jeho největší přínos. Tento prvek je definován jako osmibran, který obsahuje tři vysokoimpedanční vstupy značené jako (Y_{1+}, Y_{2+}, Y_{3+},). Nízkoimpedanční vstup X a také čtyři proudové výstupy označené jako (Z_{1+}, Z_{1-}, Z_{2+}, Z_{2-}), znaménka popisují,zda se jedná o kladný či záporný přenos proudu.[5],[6]



Obrázek 2.3: *Schématické označení univerzálního proudového konvejoru (UCC)*

$$\begin{bmatrix} i_{Y1+} \\ i_{Y2-} \\ i_{Y3+} \\ u_X \\ i_{Z1+} \\ i_{Z1-} \\ i_{Z2+} \\ i_{Z2-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_{Y1+} \\ u_{Y2-} \\ u_{Y3+} \\ i_X \\ u_{Z1+} \\ u_{Z1-} \\ u_{Z2+} \\ u_{Z2-} \end{bmatrix}$$

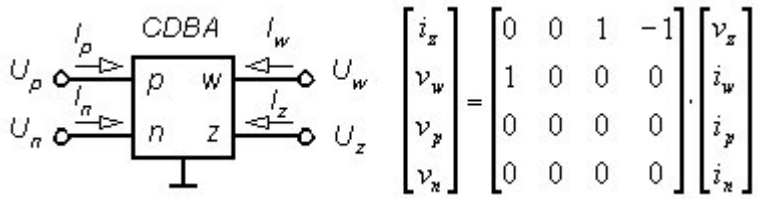
Obrázek 2.4: *Matice pro popis vlastností univerzálního proudového konvejoru*

Pro využítíkonvejoru první generace v zapojení UCC viz obr. č. 2.3, je využíván proudový vstup X a vstup Y_{1+} nebo Y_{2-} podle typu zapojení, invertující nebo neinvertující. Proudový výstup Z_{1+} nebo Z_{2+} propojíme na napěťový vstup svorky Y_{1+} nebo Y_2. Ostatní nepoužívané vstupy a výstupy se uzemní. Druhá generace proudových konvejorů je realizována obdobně jako první generace s tím, že není třeba propojovat proudový a napěťový vstup. Pro realizaci třetí generace proudového konvejoru musí být propojen jeden z negativních proudových výstupů, kladný pro neinvertující typ a záporný pro invertující typ.[5]

Univerzálnost tohoto nového aktivního prvku přínášíbohužel také nevýhody a to zhoršení kmitočtových vlastností. Hlavním problémem mohou být parazitní kapacity svorek, které jsou zde vyvedeny navíc oproti obyčejným proudovým konvejorům. [5]

2.2 Napěťový konvejor

Nový obvodový aktivní prvek pro smíšený režim dostal název Current Differential Buffered Amplifier (CDBA). Obr č 2.5 představuje schématickou značku tohoto čtyřbranu a také matici definující vztahy mezi jeho jednotlivými branami. Vstupy „n“ a „p“ jsou popsány jako vstupy s nízkou impedancí, tedy proudové. Svorka „z“ je vstupně-výstupní a svorka „w“ je pouze výstupní.Bránou „z“ protéká proud, jehož hodnota je daná rozdílem proudů na svorkách „p“ a „n“. Napětí které vzniká na této svorce je přenášeno na výstup „w“. [7]



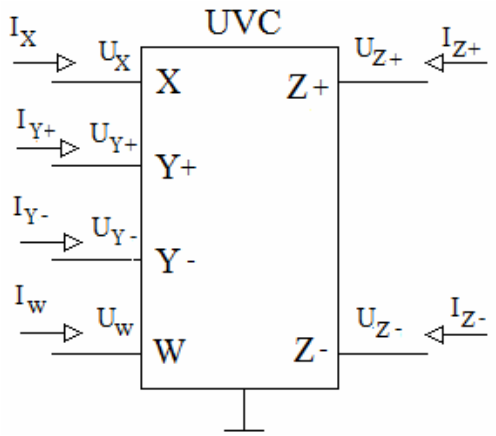
$$\begin{bmatrix} i_z \\ v_w \\ v_p \\ v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_z \\ i_w \\ i_p \\ i_n \end{bmatrix}$$

Obrázek 2.5: *Schématická značka CDBA a matice definující vztahy mezi branami*

Napěťové konvejory mohou pracovat v provozovaných obvodech v napěťovém, proudovém a smíšeném režimu. Pokud se zaměříme na definice a vlastnosti napěťových konvejorů jsou duální k definicím a vlastnostem proudových konvejorů. Všechny typy napěťových konvejorů můžou být realizovány jedním aktivním prvkem a to tzv. univerzálním napěťovým konvejorem. [8]

2.2.1 **Univerzální napěťový konvejor**

Univerzální napěťový konvejor zobrazení na obr č. 2.6 je šestibranný prvek, který obsahuje vysokoimpedanční napěťové vstupní svorky X a W, dva proudové vstupy Y_+, Y_- s nízkou impedancí. Výstupy jsou řešeny pomocí svorekY_+, Y_- .Svorka W se propojuje na kladný nebo záporný výstup pro vytvoření invertujícího nebo neinvertujícího zapojení. Univerzální napěťový konvejor slouží k realizaci, všech doposud zmíněných napěťových konvejorů. [8]



Obrázek 2.6: *Univerzální napěťový konvejor*

3 Generátory a oscilátory

3.1 Základní rozdělení generátorů

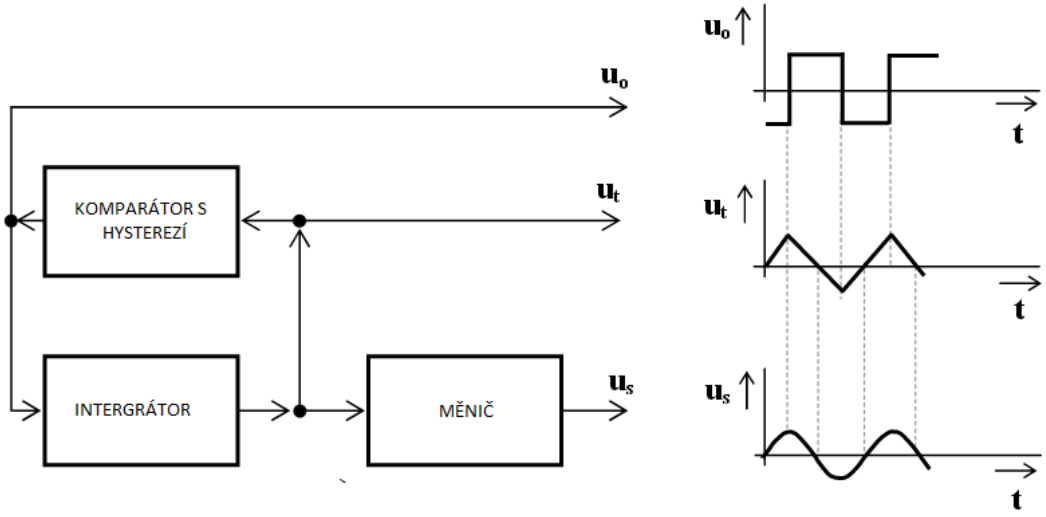
Generátory jsou zařízení, které jsou schopné vytvářet určitý signál s námi požadovaným průběhem tak, že mění energii ze stejnosměrného zdroje na energii střídavého proudu, který již odpovídá požadované frekvenci a průběhu viz obr. č. 3.1. Mezi nejčastěji používané průběhy patří např. sinusový, trojúhelníkový a obdélníkový. Jedná se tedy o zařízení, které generuje periodické kmity a obsahuje vnitřní zdroj energie a to bez vnějšího buzení, toto zařízení představuje autonomní obvod. [9]

Generátory se rozdělují dle typu výstupního signálua to na:

- periodických signálů
- neperiodických signálů - náhodné a pseudonáhodné signály

Generátory periodických signálu dále dělíme na:

- harmonické signály - oscilátory
- neharmonické - tvarové signály viz obr. 3.1



Obrázek 3.1: *Příklad zapojení funkčního generátoru a jeho výstupu*

3.2 Oscilátory

Oscilátor funguje na principu vzájemné přeměny jedné formy energie v jinou a zpět. Tento průběh tedy obsahuje výchylku určité veličiny do maximálních a minimálních hodnot. Oscilátor je charakterizovaný amplitudou, frekvencí, vnitřním odporem a tvarem výstupního signálu. Ke vzniku kmitu je potřeba akumulace energie, proto tedy musí obvod obsahovat reaktanci. Po připojení do zdroje se obvod rozkmitá tlumenými kmity. Pro udržení kmitů obvodu, musí být plněna podmínka oscilací a také správné zesílení obvodu. [10]

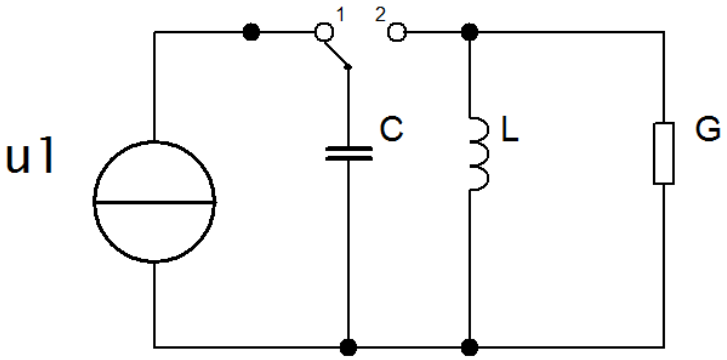
V praktické realizaci je velice důležité aby se obvod po připojení sám rozkmital. Rozkmitání obvodu je způsobeno pomocí kladné zpětné vazby. Šum se pomocí zesilovače zesílí, přivede zpětnou vazbou zpět na vstup. Signál se znovu zesiluje a amplituda signálu narůstá až do limitace zesilovače. O udržení harmonického signálu se stará automatická regulace zmenšení zesílení. [11]

Oscilátory harmonických kmitů mají na svém výstupu průběh napětí, který odpovídá funkci sinus. V praktické realizaci tohoto řešení se můžeme setkat s generátorem sinusového, nebo např. s generátoremkosinusového signálu.

U oscilátorů neharmonických kmitů má výstupní signál různý tvar, nejčastější průběhy jsou obdélníkový, trojúhelníkový, impulsní a pilovitý. Perioda se u těchto signálů opakuje. Příklad průběhů viz obr. č. 3.1.

3.2.1 Oscilátory LC

Na obr. č 3.2 je zobrazen příklad zapojení paralelního rezonančního obvodu, kde připojíme předem nabitý kondenzátor, obvod se rozkmitává vlastními kmity. Ztráty v obvodě jsou vyjádřeny rezistorem s určitou vodivostí G. Tato hodnota určuje činitel tlumení (δ), tento činitel následně určuje charakter volných kmitů. Pokud je hodnota $\delta > 0$ v obvodu trvají nějakou dobu tlumené kmity. Při $\delta = 0$ je obvod bezztrátový, tudíž je schopen kmitat harmonickými kmity o konstantní amplitudě. Pro $\delta < 0$ amplituda kmitů roste. [12]



Obrázek 3.2: *Paralelní rezonanční obvod*

3.2.2 **Oscilátory RC**

Základním principem těchto oscilátorů je zpětnovazební obvod s přenosem $\beta_{(\omega)}$. Využití nalézají hlavně na nižších kmitočtech (do 1KHz), kde je potřeba velká, technologicky náročná indukčnosta nedá se integrovat. Určujícím činitelem pro jasnou oscilaci je fázová charakteristika, která je dostatečně strmá $\varphi(\omega)$. [12]

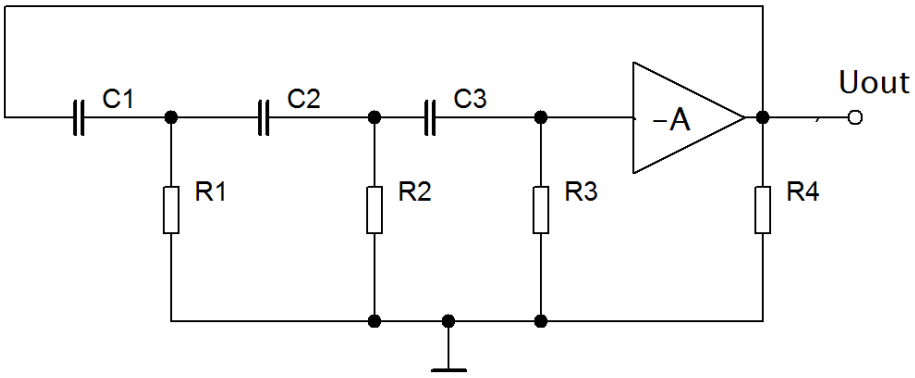
Z hlediska principu jsou rozděleny do dvou skupin:

- Oscilátor s postupně posouvanou fází (obsahují jednu smyčku zpětné vazby)
- Oscilátor můstkový (obsahuje dvě zpětnovazební smyčky)

Principiální zapojení oscilátoru s tzv. příčkovým R článkem je na obr. č. 3.3. Otočení fáze ($\varphi_A = 180^{\circ}$) je zajištěno pomocí invertujícího zesilovače. Pro splnění fázové podmínky musí zpětnovazební dvojbran otáčet fázi stejným způsobem ($\varphi_A = 180^{\circ}$). V teoretickém návrhu by k tomu stačili pouze dva RC články typu dolní nebo horní propusti. Pro zajištění dostatečně strmé fázové charakteristiky použijeme alespoň tři články RC. Tyto články nemusí být nutně shodné, ale je výhodné aby jejich impedance postupně narůstaly, takže hodnoty jednotlivých součástek volíme progresivně. Použitím napěťových sledovačů zabráníme vzájemnému ovlivnění jednotlivých článků. [12]

Platí základní návrhové vztahy:

$$\omega_{osc} = \frac{1}{R \cdot C\sqrt{6}},\ \beta_{(\omega_{osc})} = -\frac{1}{29},\ A = -29. \tag{3.1}$$



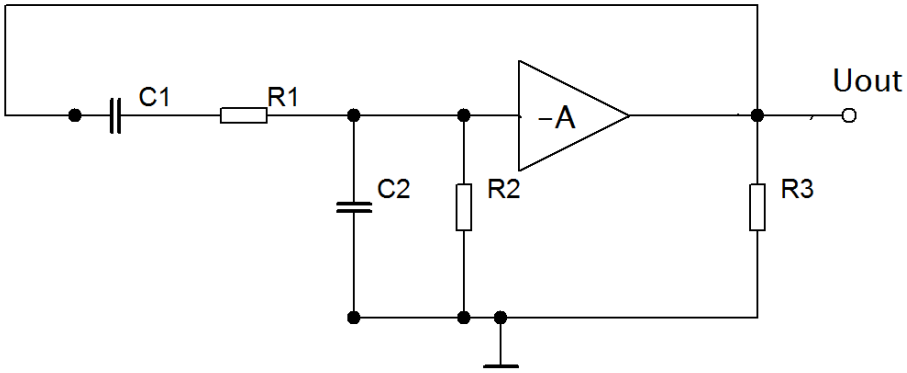
Obrázek 3.3: *Oscilátor příčkovým RC článkem*

3.2.2.1 *Oscilátor RC s Weinovým článkem*

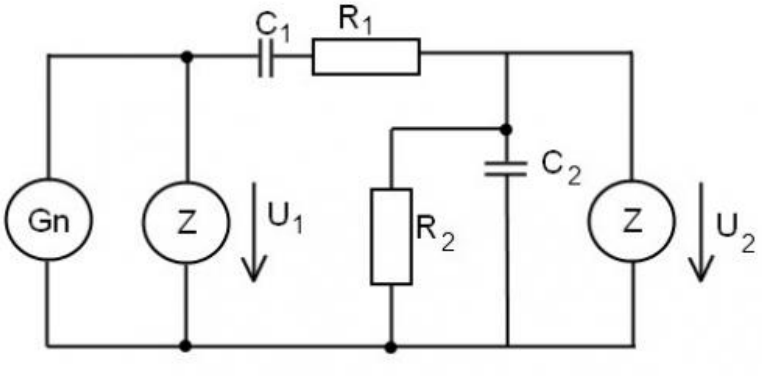
Na obr č. 3.4 je zapojení oscilátoru s Wienovým článkem. Článek zde představuje pásmovou propust 2. Řádu fázová charakteristika je strmá s přechodem v nule a ta určuje nakterém kmitočtu oscilátor kmitá. Modulová charakteristika je plochá s nevýrazným maximem. Pro splnění fázové podmínky zde musí být použit neinvertující zesilovač.[12]

Pro zapojení tohoto oscilátoru platí následující vztahy:

$$\omega_{osc} = \frac{1}{R \cdot C}\ ,\ \beta_{(\omega_{osc})} = \frac{1}{3}\ ,\ A = 3\ . \tag{3.2}$$



Obrázek 3.4: *Princip oscilátoru s Wienovým článkem*

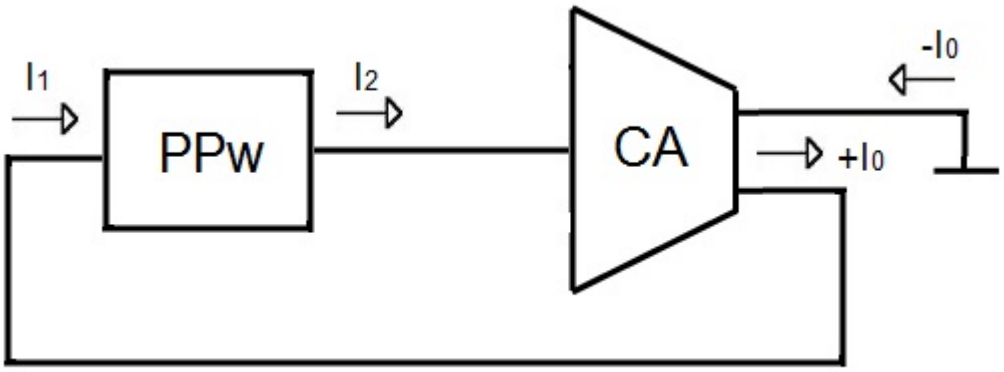


Obrázek 3.5: *Praktické zapojení Wienova článku*

4 Aplikace aktivních prvků pro generátorysignálů

4.1 RC oscilátor v proudovém režimu

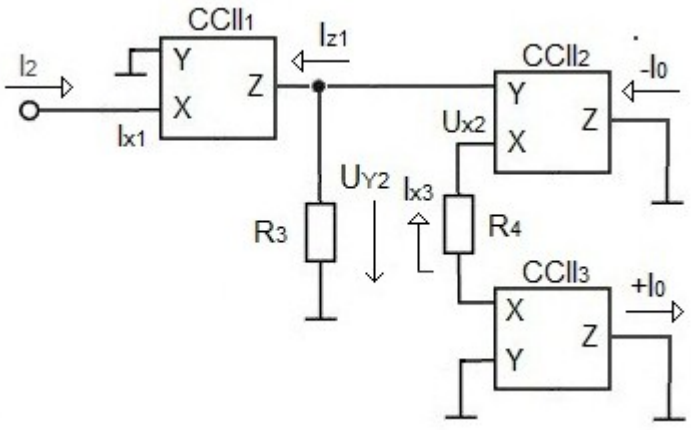
První prakticky navržené a realizované zapojení je na obr č.4.1a skládá se ze dvou částí. První část je tvořena RC oscilátorem, který jev blokovém schématu označen jako PPw a je tvořen pomocí Wienova článku a proudového zesilovače CA, který je realizovaný pomocí CCII+.



Obrázek 4.1: *Blokové schéma RC oscilátoru s wienovým článkem a zesilovačem*

4.1.1 Proudový zesilovač CA

Na obr č. 4.2 je proudový zesilovač CA, který je realizován pomocí tří pozitivních currentconvejorů druhé genenerace a má komplementární výstup.



Obrázek 4.2: *Proudový zesilovač CA s CCII+*

Proudy, které vtékají do CCII1 se dají vyjádřit:

$$I_2 = I_X \tag{4.1}$$

$$I_{Z1} = I_{X1} \tag{4.2}$$

Pomocí základních vztahů určíme všechny napětí a proudy vtékající do konvejorů:

$$U_{Y2} = -R_3 \cdot I_{Z1} \tag{4.3}$$

Napětí na svorce X třetího konvejoru:

$$U_{X3} = \emptyset \tag{4.4}$$

Napětí na svorkách X a Y jsou shodné:

$$U_{X2} = U_{Y2} = -R_3 \cdot I_{Z1} = -R_3 \cdot I_2 \tag{4.5}$$

Hodnota napětí na odporu R4

$$U_{R4} = U_{X3} - U_{X2} = \emptyset + R_3 \cdot I_2 = R_3 \cdot I_2 \tag{4.6}$$

Proudy vtékající do konvejorů dva a tři:

$$I_{X2} = I_{X3} = \frac{U_{R4}}{R4} = \frac{R_3 \cdot I_2}{R4} \tag{4.7}$$

Výsledné výstupní proudy se tedy rovnají:

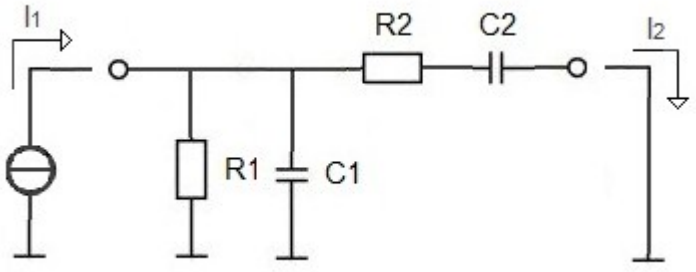
$$I_{x2} = -I_0 \tag{4.8}$$

$$I_{x3} = I_0 \tag{4.9}$$

$$I_0 = \pm \frac{R_3}{R4} \cdot I_2 \tag{4.10}$$

4.1.2 RC ocsilátorv zapojení s Wienovým článkem

Obr č.4.3 představuje praktické zapojení první části našeho obvodu označeného jako PPw. Zapojení je tvořeno kombinací sériového a paralelního zapojení odporů a kondenzátorů, které vytváří pásmovou propust. Oscilátor je tedy definován oscilační frekvencí f_0.



Obrázek 4.3: *Praktické zapojeni PPw - RC ocsilátor s wienovým článkem*

Odvození přenosu Wienova článku:

$$\mathrm{S} = \mathrm{j}\omega$$

$$\mathrm{H}_{PPW} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{S\,R_1C_2}{S^2R_1R_2C_1C_2 + S(R_1C_1 + R_2C_2 + R_1C_2) + 1}$$

Potvrzení zda se jedná o pásmovou propust dosáhneme tím, že dosadíme do rovnice ∅ a ∞ tímto nám vychází pro dolní mez nula, čímž jsme potvrdili, že se jedná o pásmovou propust.

$$\omega \to 0, \qquad \omega \to \infty$$

$$S \to 0, \qquad S \to \infty$$

$$\lim_{S\to\infty} \frac{\infty}{\infty} = \lim_{S\to\infty} \frac{\frac{d_{\check{c}}}{d_S}}{\frac{d_{j\omega}}{d_S}} = \lim_{S\to\infty} \frac{R_1C_2}{2SR_1R_2C_1C_2 + (R_1C_1 + R_2C_2 + R_1C_2)} = \emptyset$$

Odpory a kondenzátory volíme stejné velikosti, pro co nejlepší charakteristiky.

$$R_1 = R_2 = \mathrm{R}$$

$$C_1 = C_2 = \mathrm{C}$$

Charakteristické rovnice:

$$A_i = \frac{\mathrm{sRC}}{s^2R^2C^2 + s\,3RC + 1} = \frac{\mathrm{sRC}}{R^2C^2\left(s^2 + S\,\frac{3RC}{R^2C^2}\right) + \frac{1}{R^2C^2}} = \frac{\mathrm{s}\frac{1}{RC}}{s^2\left(s^2 + s\,\frac{3}{RC}\right) + \frac{1}{R^2C^2}}$$

Odvození výpočtu kmitočtuf_0:

$$\omega^2{}_0 = \frac{1}{R^2C^2} \to \omega_0 = \frac{1}{RC} \to f_0 = \frac{1}{2\pi\,R{\cdot}C} \tag{4.11}$$

Činitel jakosti Q vypovídá o šířce pásma B:

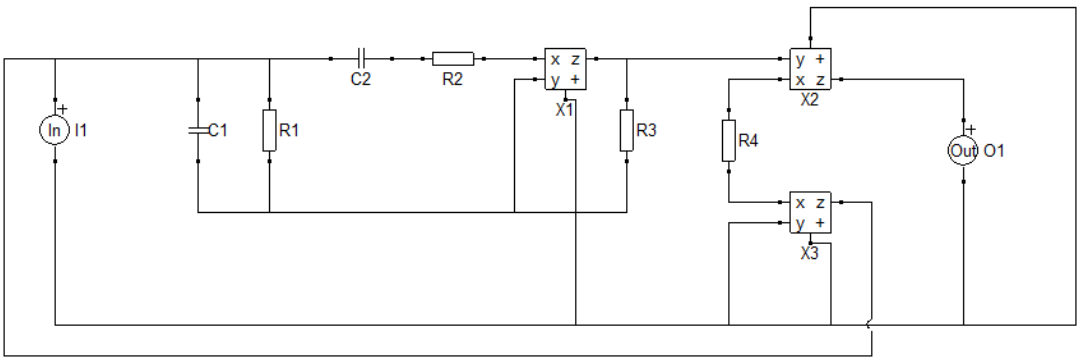
$$B = \frac{\omega_0}{Q} = \frac{1}{RC} \to Q = \omega_0 \cdot \frac{RC}{3} = \frac{1}{RC} \cdot \frac{RC}{3} = \frac{1}{3} \tag{4.12}$$

Přenos na středním kmitočtu, říká zda je splněna podmínka oscilací:

$$K\,\frac{\omega_0}{Q} = \frac{1}{RC} \to K = \frac{1}{RC} \cdot \frac{Q}{\omega_0} = \frac{1}{RC} \cdot \frac{\frac{1}{3}}{\frac{1}{RC}} = \frac{1}{3} \tag{4.13}$$

4.1.3 **Simulace RC osilátoru v proudovém režimu**

Simulace RC ocilátoruviz obr. 4.4 je provedena pomocí programu SNAP. Který nám také zobrazí charakteristickou rovnici, z této rovnice určíme reálnou a imaginární část rovnice a vypočítáme oscilační podmínky.



Obrázek 4.4: *Návrh RC oscilátoru s Wienovým článkem v programu SNAP*

Charakteristická rovnice autonomního obvodu:

$$s^2 = R_1 \cdot R_2 \cdot R_4 \cdot C_1 \cdot C_2 + s\,(R_2 \cdot R_4 \cdot C_2 + R_1 \cdot R_4 \cdot C_1 + R_1 \cdot R_4 \cdot C_2 - R_1 \cdot R_3 \cdot C_2) + R_4 = \emptyset$$

$$p = j\omega$$

$$(j\omega)^2 \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot R_4 \cdot C_1 \cdot C_2 + j\omega(R_2 \cdot R_4 \cdot C_2 + R_1 \cdot R_4 \cdot C_1 + R_1 \cdot R_4 \cdot C_2 - R_1 \cdot R_3 \cdot C_2) + R_4 = \emptyset$$

Určení reálné a imaginární části rovnice:

$$\omega^2 \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot R_4 \cdot C_1 \cdot C_2 + R_4 + j\omega(R_2 \cdot R_4 \cdot C_2 + R_1 + R_4 C_1 + R_1 \cdot R_4 \cdot C_2 - R_1 \cdot R_3 \cdot C_2) = \emptyset$$

Odvození vztahu pro výpočet frekvence:

$$1 - \omega^2 R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2 = \emptyset$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}} \tag{4.14}$$

Pro odvození podmínky, můžeme také využít následující postup:

$$R_2 \cdot C_2 + R_1 \cdot C_1 + R_1 \cdot C_2 - R_1 \cdot \frac{R_3}{R_4} \cdot C_2 = \emptyset$$

$$R_1 \cdot C_2 \left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{C_1}{C_2} + 1 - \frac{R_3}{R_4}\right) = \emptyset$$

$$\left(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_1}{C_2} - \frac{R_3}{R_4}\right) \leq \emptyset$$

Poměr mezi odpory musí být větší nebo roven 3 aby byla splněna podmínka pro oscilace obvodu:

$$\frac{R_3}{R_4} = 1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_1}{C_2} \geq 3 \tag{4.15}$$

4.1.3.1 ***Návrh součástek pro oscilátor***

Pro kmitočet oscilátoru jsme zvolili tři frekvence f_0, dále kondenzátor C a z odvozeného vzorce pro kmitočet $f_0$vypočítáme odpor R. Frekvence jsou voleny s ohledem na vhodnost použití pro naše zapojení. Součástky vybíráme z řady E24, které odpovídají vypočítaným hodnotám:

Zvolené frekvence kmitů pro oscilátor:

$$f_0 = 10kHz\,; 100kHz; 1MHz$$

Zvolený kondenzátor:

$$C = 1n$$

Výpočet odporů pro jednotlivé frekvence:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\, R{\cdot}C} \tag{4.16}$$

$$\mathrm{R} = \frac{1}{2\pi\, f_0{\cdot}C} \tag{4.17}$$

$$R_{10kHz} = \frac{1}{2\pi\, f_0 \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot\ 10^4 \cdot 10^{-9}} = \frac{1}{2\pi} \cdot 10^5 = 0.159 \cdot 10^5 = R_{10kHz} = 15.9k\Omega$$

$$R_{100kHz} = 1.59k\Omega$$

$$R_{1MHz} = 159\Omega$$

f_0	C = C1 = C2	R = R1 =R2	E24
$10kHz$	$1nF$	$15.9k\Omega$	$[16k]$
$100kHz$	$1nF$	$1.59k\Omega$	$[1.6k]$
$1MHz$	$1nF$	159Ω	$[220R]$

Tabulka 1.1: *Zvolené a vypočítané součástky pro RC oscilátor v proudovém režimu*

Aby se obvod rozkmital musí platit:

$$A_i = \frac{R_3}{R_4} = 3 \tag{4.18}$$

Velikost odporu R_4 je volena:

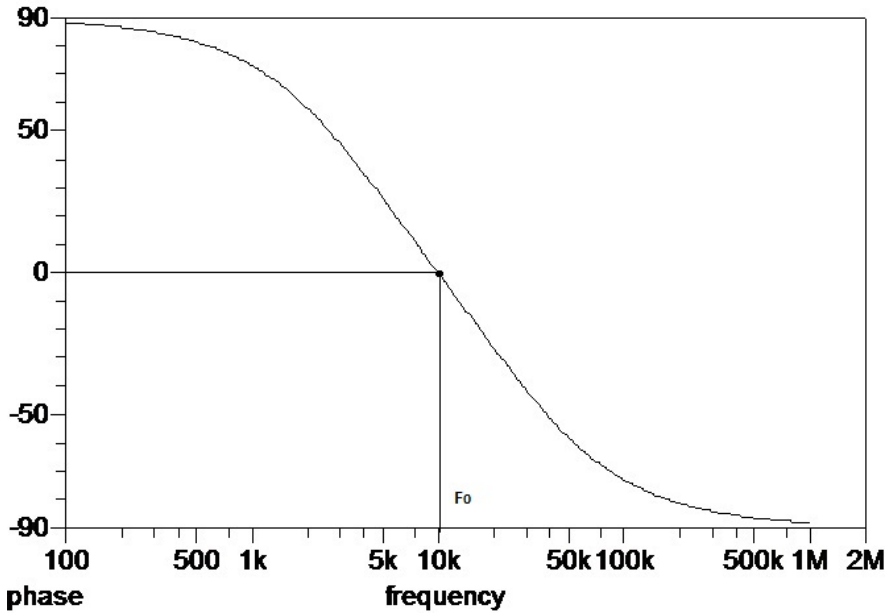
$$R_4 = 510\Omega$$

Odpor R_3 musí být třikrát vetší než odpor R_4 aby byla splněna podmínka oscilací:

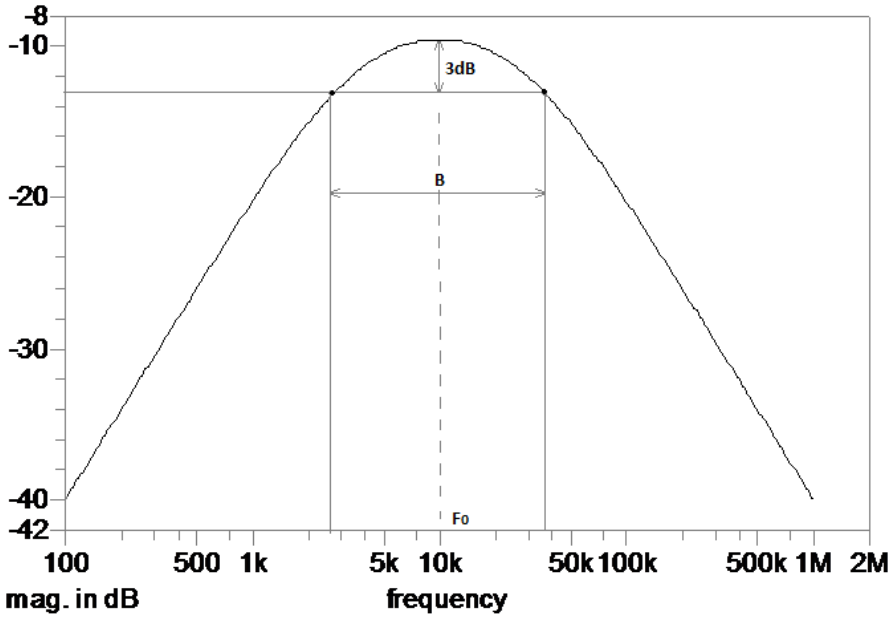
$$R_3 = 3 \cdot 510 = 1530\Omega$$

4.1.3.2 Výstupní charakteristiky simulovaného RC oscilátoru

Fázová charakteristika je zobrazena na obr. č 4.5. Stejně tak frekvenční charakteristika viz obr. 4.6, tyto charakteristikyjsou zobrazeny pro zvolenou frekvenci 10kHz viz tabulka 1.1. Z charakteristik vyplívá, že provedené výpočty oscilačních podmínek a následně součástek jsou správné. Charakteristiky pro 100kHz a 1MHz vypadají obdobně.

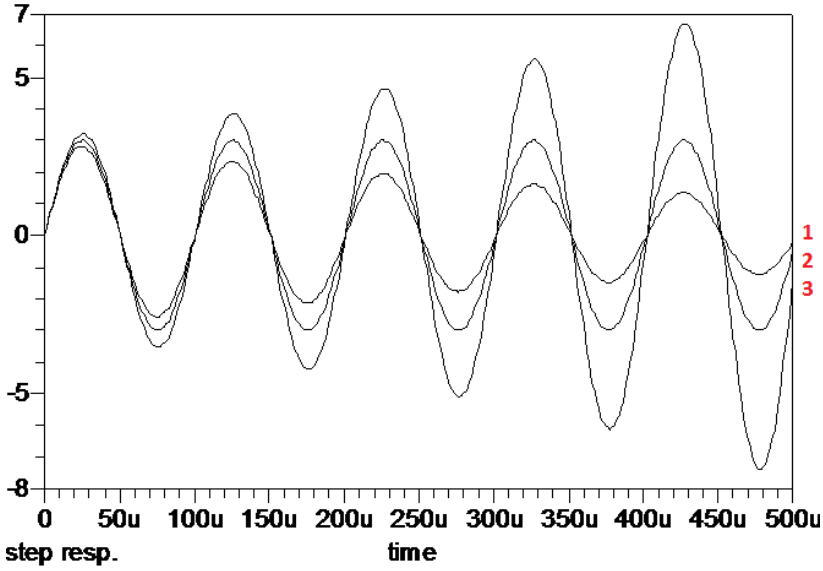


Obrázek 4.5: *Fázová charakteristika RC oscilátoru v proudovém režimu*



Obrázek 4.6: *Frekvenční charakteristika RC oscilátoru v proudovém režimu*

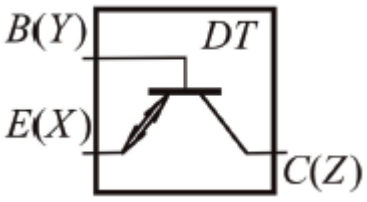
Na obrázku 4.7 je zobrazena přechodová charakteristika RC oscilátoru v proudovém režimu, kroky jsou nastaveny na odporu R_3viz obr.č. 2.4 a to v rozmezí od 1500Ω do 1560Ω. Jsou zde zobrazeny tři sinusové výstupní průběhy. Pro průběh č.1. se rovná odpor $R_3 = 1500\Omega$ čili je to nižší odpor něž jsme spočítali, proto není splněna podmínka oscilací a amplituda signálu klesá dokud signál úplně nezmizí. Protože u průběhu č.3. taktéž není splněna oscilační podmínka bude amplituda signálu stoupat a nebude stabilní. Pouze u nastavení správné velikosti odporu $R_3 = 1530\Omega$ dosáhneme stabilní amplitudy, viz průběh č. 2.



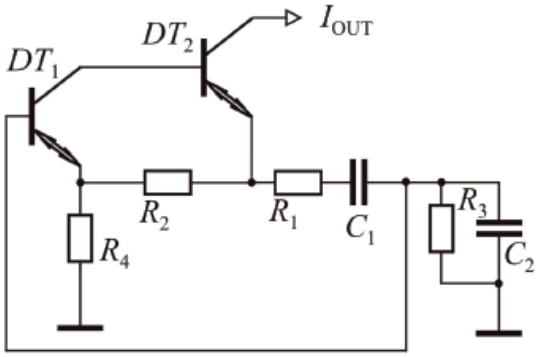
Obrázek 4.7: *Přechodová charakteristika RC oscilátoru v proudovém režimu*

4.1.4 Simulace zapojení Wienova článku s diamantovými tranzistory

Na obr č. 4.8 je zapojení diamantového tranzitoru pomocí CCII+. Pro simulaci je tedy potřeba překreslit zapojení z obr. č 4.9, tak aby svorka Y byla zapojena jako báze (B), svorka X jako emitor (E) a svorka Z jako kolektor (C). Odpory R2 a R4 nastavují zisk neinvertujícího zesilovače. Díky použití dvou diamantových tranzistorů je k dispozici napětový i proudový výstup

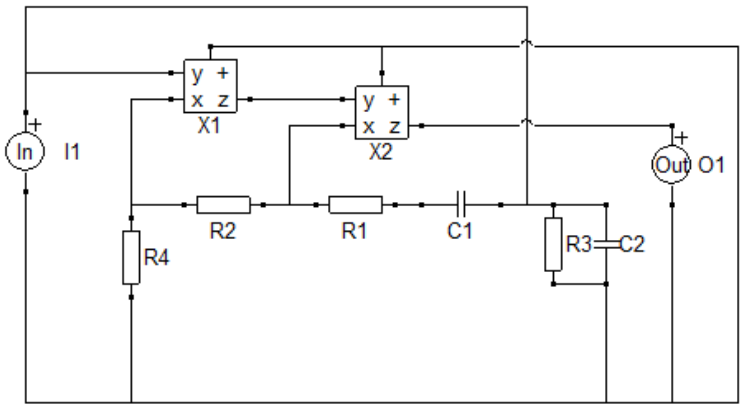


Obrázek 4.8: *Zapojení diamantové tranzistoru jako CCII+*



Obrázek 4.9: *Schématické zapojení Wienova článku s diamantovými tranzistory*

Na obr. 4.10je zobrazeno schématické zapojení simulovanéhoWienova článku se zapojením pro CCII+. Pro zapojení opět uvažujeme $R_1 = R_2 = R$ *a* $C_1 = C_2 =$ C. Hodnoty odporů R2 a R4 odvodíme a musí být zvoleny tak, aby byla splněna podmínka pro rozkmitání obvodu.



Obrázek 4.10: *Schématické zapojení pro simulaci Wienova článku s diamantovými tranzistory*

Pomocí SNAPU odvodíme charakteristickou rovnici autonomního obvodu:

$$s^2 = R_1 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot C_1 \cdot C_2 + s\,(R_3 \cdot R_4 \cdot C_2 + R_1 \cdot R_4 \cdot C_1 + -R_2 \cdot R_3 \cdot C_1) + R_4 = \emptyset$$

$$p = j\omega$$

$$(j\omega)^2 \cdot R_1 \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot C_2 + \left(R_3 \cdot C_2 + R_1 C_1 - R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4} \cdot C_1\right) + 1 = \emptyset$$

Určení reálné části rovnice a odvození výpočtu kmitočtu:

$$1 - \omega^2 \cdot R_1 \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot C_2 = \emptyset$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot C_2}} \qquad (4.19)$$

Imaginární část rovnice:

$$R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot C_1 - \frac{R_2}{R_4} \cdot R_3 \cdot C_1 = \emptyset$$

Pro odvození podmínky, je využit následující postup:

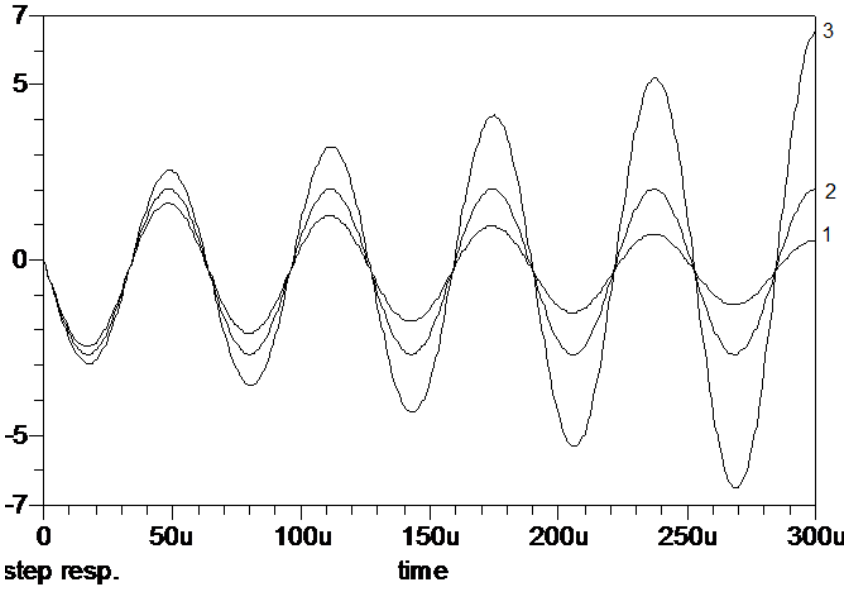
$$R_3 \cdot C_1 \cdot \left(\frac{C_2}{C_1} + \frac{R_1}{R_3} - \frac{R_2}{R_4}\right) \leq \emptyset$$

Poměr mezi odpory musí být tedy větší nebo roven 2 aby byla splněna podmínka pro oscilace obvodu:

$$1 + 1 = \frac{R_2}{R_4} \geq 2 \tag{4.20}$$

4.1.4.1 ***Výstupní charakteristika Wienova článku s diamantovými tranzistory***

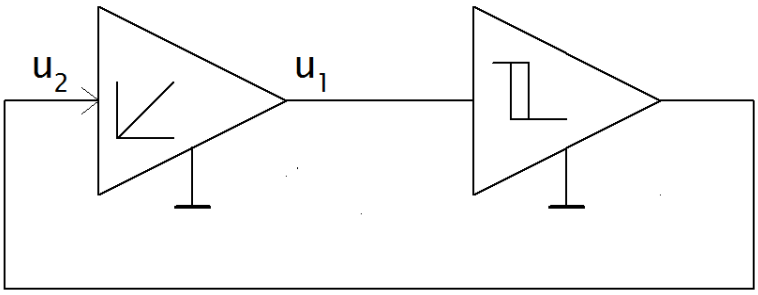
Přechodová charakteristika Wienova článku s diamantovými tranzistory, které jsou zapojené jako dva CCII+ je zobrazena na obr č. 4.11 . Pro výsledné průběhy platí stejný popis jako v kapitole 4.1.3.2 s tím rozdílem že krokujeme na odporu R2 a nastavení kroků je provedeno v rozsahu od 2.9kΩ do 3.1kΩ.



Obrázek 4.11: *Přechodová charakteristika Wienova článku s diamantovými tranzistory*

4.2 Generátor periodických signálů

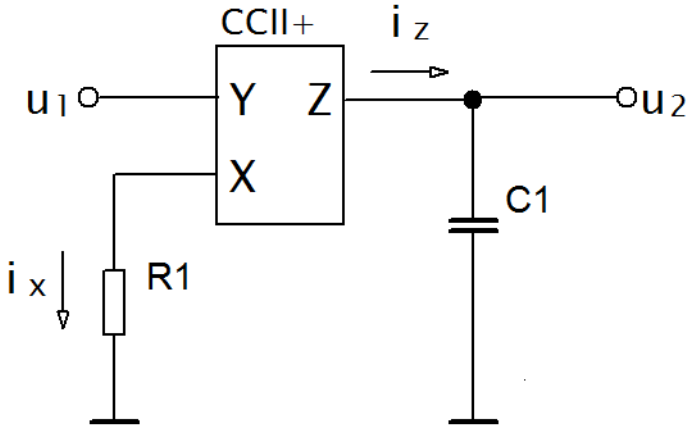
Základem funkčního generátoruviz obr. 4.12jsou dva funkční bloky a to integrátor a komparátor s hysterezí. Pro experimentální zapojení musíme zvolit zapojení bud´ s neinvertujícím integrátorem a invertujícím komparátorem nebo naopak invertujícím integrátorem a neinvertujícím komparátorem. Proto se nejdříve zaměřím na rozbor těchto prvků.



Obrázek 4.12: *Blokové schéma funkčního generátoru*

4.2.1 Neinvertující integrátor s CCII+

Na obrázku 4.13 je schématické zapojení neinvertujícího oscilátoru. Pokud je na vstup přivedeno konstantní napětí U > 0, kondenzátor se začne nabíjet a výstupní napětí začíná růst, čili na výstupu bude lineární proměnná.



Obrázek 4.13: *Neinvertující integrátor s CCII+*

Napětí a proudy se dají vyjádřit jako:

$$u_2 = u_c;\ u_2 = u_c;\ i_c = i_x = i_z; i_x = \frac{u_1}{R} \tag{4.21}$$

Ze základního vzorce pro výpočet náboje Q odvodíme čemu se rovná napětí:

$$Q = C \cdot U; Q = I \cdot t; U = \frac{Q}{C} = \frac{1}{C} \cdot Q = \frac{1}{C} \cdot I \cdot t \tag{4.22}$$

Napětí na kondenzátoru se tedy rovná:

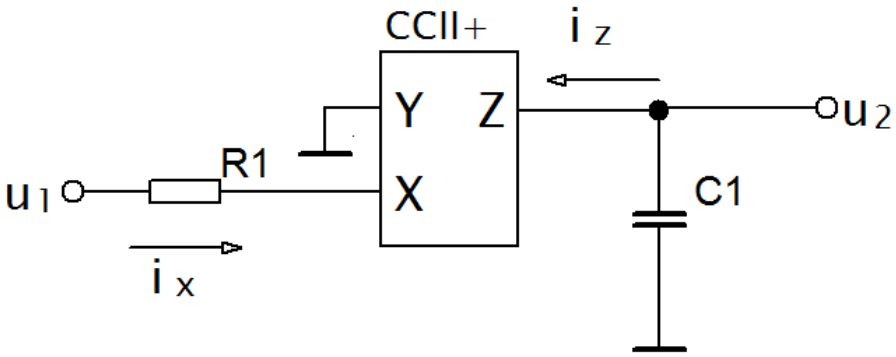
$$u_C = \frac{1}{C}\int_0^t i_c dt \tag{4.23}$$

Po dosazení do rovnice se výstupní napětí u_2 rovná:

$$u_2 = \frac{1}{R \cdot C}\int_0^t u_1 dt \tag{4.24}$$

4.2.2 **Invertující integrátor CCII+**

Zapojení invertujícího integrátoru CII+, pracuje obdobně, jako neinvertující viz obr 4.13 s tím rozdílem, že zaměníme pouze vstup ze svorky Y na svorku X viz obr. č. 4.14.



Obrázek 4.14: *Invertující integrátor CCII+*

Určíme proudy vtékající do konvejoru a také výstupní napětí:

$$u_2 = -u_c \tag{4.25}$$

$$i_z = i_x = \frac{u_1}{R} \tag{4.26}$$

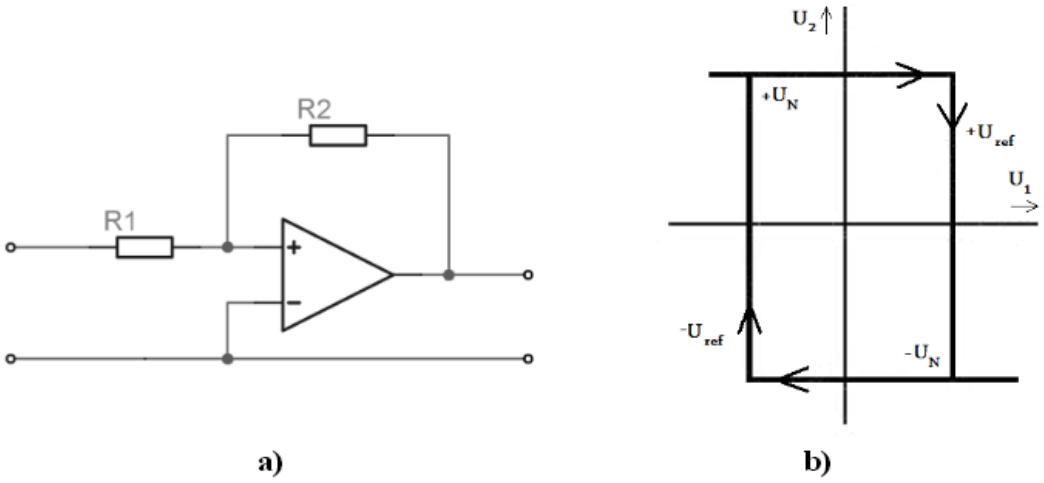
$$u_C = \frac{1}{C}\int_0^t i_c dt \tag{4.27}$$

$$u_2 = -\frac{1}{R \cdot C}\int_0^t u_1 dt \tag{4.28}$$

4.2.3 **Komparátor**

Komparátory slouží k porovnání dvou hodnot, nejčastěji referenčního napětí a napětí vstupního, které porovnáváme. Výstup je dá se říci dvoustavový, analogicky řečeno 1 nebo 0. Vstupní napětí může být průběh spojitý. Výstupní napětí se tedy mění skokově při dosažení dané referenční úrovně, proto komparátor může tvořit například přechod mezi digitální a analogovou částí obvodu.

Operační zesilovač je základním prvkem komparátoru. Jeho zesílení musí být tak velké, aby jeho chovaní jako aktivního prvku byla zanedbatelná. Proto je třeba mírně upravit konstrukci komparačního zesilovače. Aby se zabránilo rozkmitání komparátoru, při průchodu aktivní části komparačního zesilovače, je třeba zavést opatření v podobě kladné zpětné vazby do komparátoru. Z takovéhoto zapojení vzniká hystereze.[13]



Obrázek 4.15: *a) neinvertující komparátor b) převodní charakteristika*

4.2.3.1 ***Invertující a neivertující zapojení komparátoru s CCII+***

Schématické zapojení komparátoru s hysterezí zapojeného pomocí dvou CCII+ je na Obr. 4.16. První čast obvodu označenéo jako CCII+1 představuje neinvertující část. Druhá část obvodu označeného jako CCII+2 představuje invertující část. Na výstupu můžeme tedy získat napětí opačných hodnot, Výstup je tedy komplementární. [14]

Napětí svorky X se rovná napětí na svorce Y a proudy se dají zapsat:

$$I_{x1} = I_{z1}$$

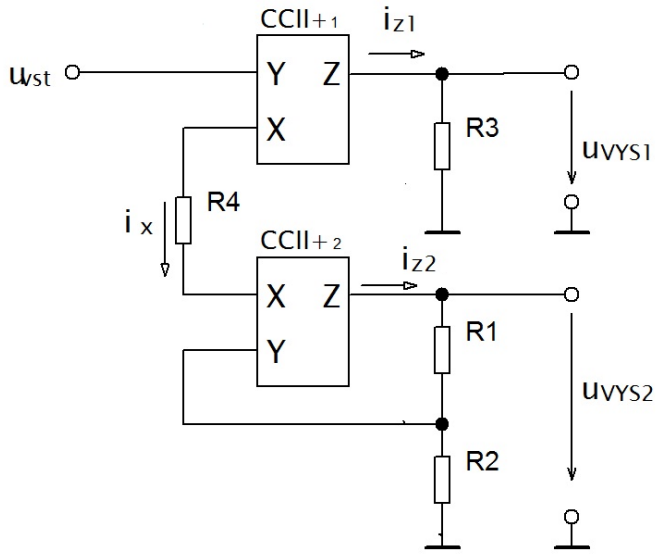
$$I_{x1} = I_{x2} = I_{z2}$$

Pokud má napětí na svorce Y CCII+2 maximální pozitivní úroveň, výstup lze zapsat:

$$u_2 = +U_{2SAT} \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} = +U_{2SAT} \cdot \beta \tag{4.29}$$

Pokud má napětí na svorce Y CCII+2 minimální pozitivní úroveň, výstup lze zapsat:

$$u_2 = -U_{2SAT} \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} = -U_{2SAT} \cdot \beta \tag{4.30}$$

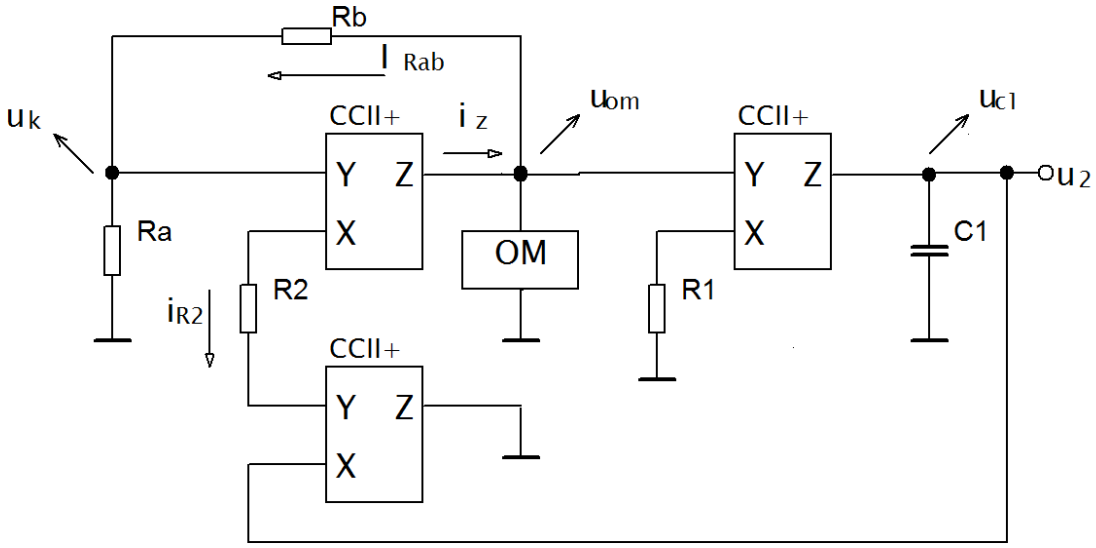


Obrázek 4.16: *Invertují a neinvertující komparátor s hysterezí*

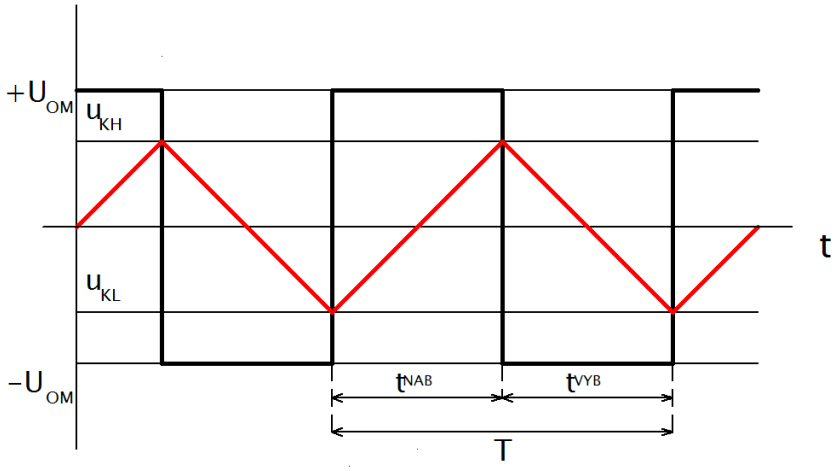
4.3 Funkční generátor s CCII+

Pro návrh zapojení funkčního generátoru na obr. jsou použity tři CCII+. Zapojení vychází z kapitoly 4.2, návrh obsahuje invertující komparátor s hysterezí a neinvertující integrátor.

Trojúhelníkové napětí se získá pomocí integrace obdélníkového napětí. Princip spočívá v tom, že po připojení se komparátor nachází v bud´v saturačním napětí kladné, nebo záporné polarity. Napětí se poté přenese na kondenzátor, který je zapojen ve zpětné vazbě a následně na vstup integrátoru. Integrátor začne integrovat do té doby, až dosáhne rozhodovací úrovně komparátoru. Následně se komparátor překlopí a tím způsobí, že změněné napětí vytvoří integraci opačným směrem, celý tento proces se opakuje.



Obrázek 4.17: *Funkční generátor s CCII+*



Obrázek 4.18: *Přechodová charakteristika funkčního generátoru*

Celková doba nabíjení a vybíjení kondenzátoru je rovna:

$$T = t_{NAB} + t_{VYB} \tag{4.31}$$

Přenos komparátoru:

$$\beta = \frac{R_a}{R_a + R_b} \tag{4.32}$$

Určení hranice komparačních úrovní:

$$u_{KH} = \beta \cdot U_{OM} \tag{4.33}$$

$$u_{KL} = -\beta \cdot U_{OM} \tag{4.34}$$

Odvození vztahu pro výpočet frekvence:

$$\frac{\Delta U_{C1}}{\Delta t} = \frac{u_{KH} - u_{KL}}{\mathrm{t}_{NAB}} = \frac{\beta \cdot U_{OM} - (-\beta \cdot U_{OM})}{\mathrm{t}_{NAB}} = \frac{\beta \cdot U_{OM} + \beta \cdot U_{OM}}{\mathrm{t}_{NAB}} = \frac{2 \cdot \beta \cdot U_{OM}}{\mathrm{t}_{NAB}} \tag{4.35}$$

Dosazení do vzorce pro výpočet nanapětí (4.27):

$$U_{C1} = \frac{1}{C} \int i_c dt \ , U_{C1} = \frac{U_{OM}}{R_1 \cdot C_1} \cdot t \ => \frac{\Delta U_{C1}}{\Delta t} = \frac{U_{OM}}{R \cdot C} \tag{4.36}$$

$$\frac{\Delta U_{C1}}{\Delta t} = \frac{2 \cdot \beta \cdot U_{OM}}{\mathrm{t}_{NAB}} = \frac{U_{OM}}{R_1 \cdot C_1} = \frac{2 \cdot \beta}{\mathrm{t}_{NAB}} = \frac{1}{R \cdot C} \tag{4.37}$$

Doba nabíjení kondenzátoru se tedy dá zapsat jako:

$$2 \cdot \beta \cdot R \cdot C = \mathrm{t}_{NAB} \tag{4.38}$$

Z toho plyne celková doba nabíjení T:

$$\mathrm{t}_{NAB} = \mathrm{t}_{VYB} \rightarrow T = 2 \cdot \mathrm{t}_{NAB} = 4 \cdot \beta \cdot R_1 \cdot C_1 \tag{4.39}$$

Výsledný vzorec pro výpočet frekvence funkčního generátoru:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4 \cdot \beta \cdot \mathrm{R} \cdot \mathrm{C}} \tag{4.40}$$

Napětí špička-špička trojúhelníkového průběhu:

$$u_{2PP} = u_{C1PP} \approx 4 V_{PP} \tag{4.41}$$

$$u_{2PP} = u_{KH} - u_{KL} = 2 \cdot \beta \cdot U_{OM} = 2 \cdot \frac{R_a}{R_a + R_b} \cdot U_{OM} \tag{4.42}$$

Přenos obvodu je menší než jedna:

$$\beta = \frac{u_{2PP}}{U_{OM}} < 1 \tag{4.43}$$

Z přenosu β je možné určit hodnotu odporů R_a a R_b:

$$\beta = \frac{R_a}{R_a + R_b}, R_a + R_b = R_{ab} = \frac{U_{OM}}{\mathrm{I}_{Rab}} \tag{4.44}$$

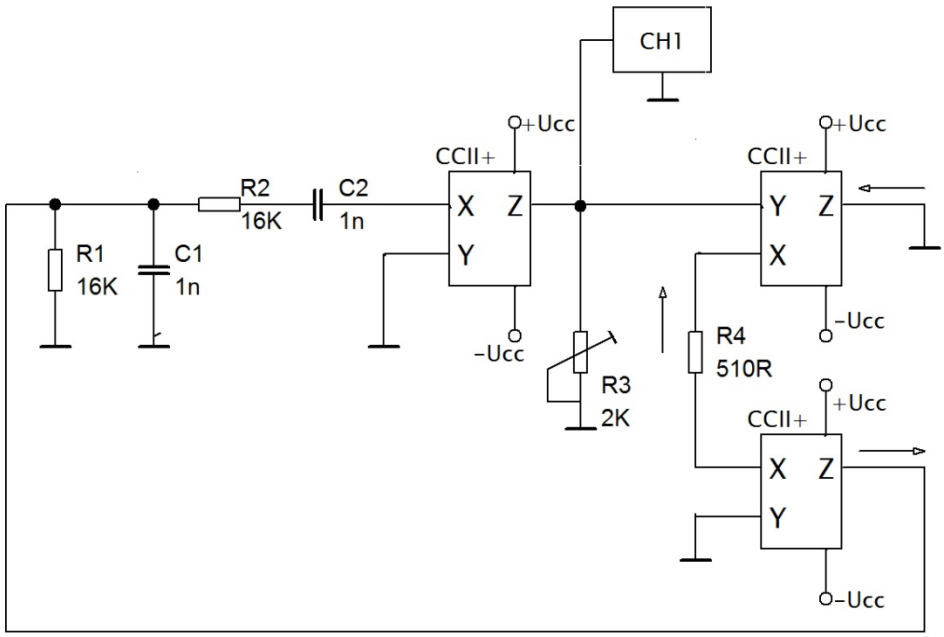
$$\beta = \frac{R_a}{R_{ab}}, R_a = \beta \cdot R_{ab}, R_b = R_{ab} - R_a \tag{4.45}$$

5 Experimentální ověření

Experimentální ověření obvodů je realizováno pomocí nepájivého pole. Důraz byl kladen na dobré umístění příslušných obvodových součástek a co nejbližší propojení pomocí propojovacích drátů. Jako obvodový prvek, představující CCII+, byl kvůli dostupnosti zvolen AD844 .

5.1 Realizace RC oscilátoru v proudovém režimu

Pro zapojení RC oscilátoru je použita funkční struktura viz obr.5.1, která nahrazuje klasický operační zesilovač, celkové zapojení i s příslušnými hodnotami součástek viz obr. 4.3.Napájení každého AD844 je řešeno přivedením napětí Ucc = +15V a -15V na příslušné svorky obvodu viz příloha A.Oscilační frekvence jsou zvoleny $f_0 = 10kHz, 100kHz, 1MHz$ a je uvažováno, že $R = R_1 = R_2$ a $C = C_1 = C_2$ vice v kapitole 4.1.3.1. Nejprve byl zvolen kondenzátor, protože následně dopočítaný rezistor, je vybírán k co nejbližší možné hodnotě z odporové řady E24.

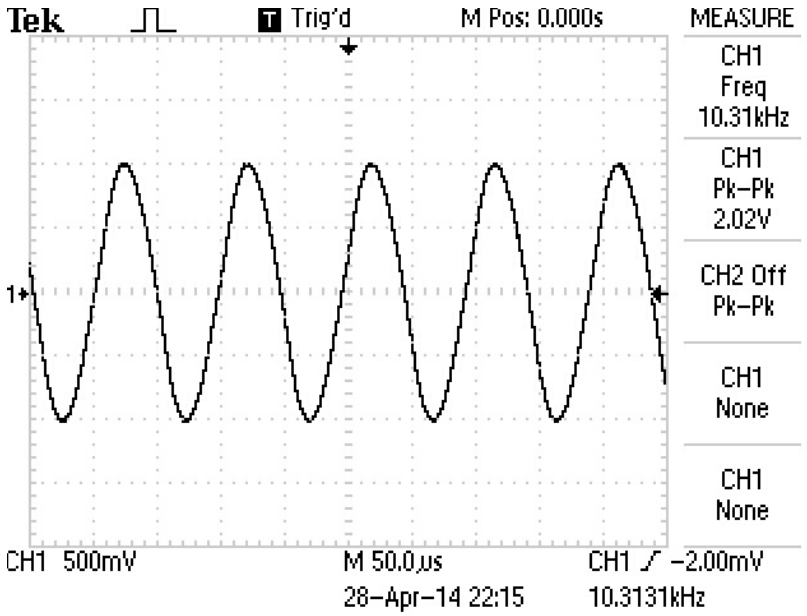


Obrázek 5.1: *Realizace RC oscilátoru s CCII+ pro f0=10kHz*

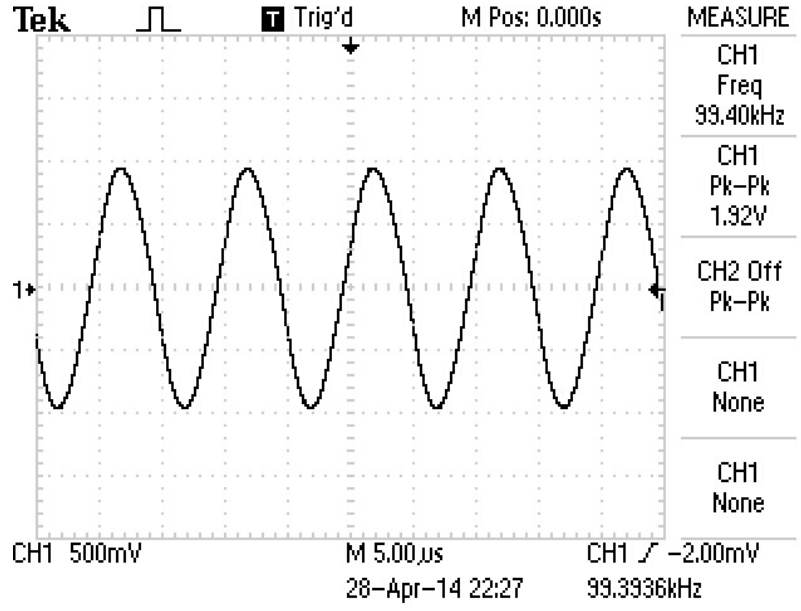
Odpor R4 je zvolen 510Ω s ohledem na odpor R3. Protože největším problémem u tohoto zapojení, je nastavení přesného zesílení, tak aby se obvod rozkmital. Zesílení musí být nastaveno na hodnotu tři, případně tak aby lehce přesahovalo hodnotu tři. Oproti teoretickému návrhu, byl místo odporu s pevnou hodnotou zvolen trimr o hodnotě 2kΩ, kterým nastavujeme rozkmit oscilací. Tento trimr umožňuje nastavení odporu, tak aby byly splněny všechny podmínky a obvod se bezproblému rozkmital.

5.1.1 **Výstupní charakteristiky**

Uvedený výstup z osciloskopu zobrazujevygenerovaný periodický signál, na kterém oscilátor osciluje. Viz obr. č. 5.2 až obr. č. 5.4.

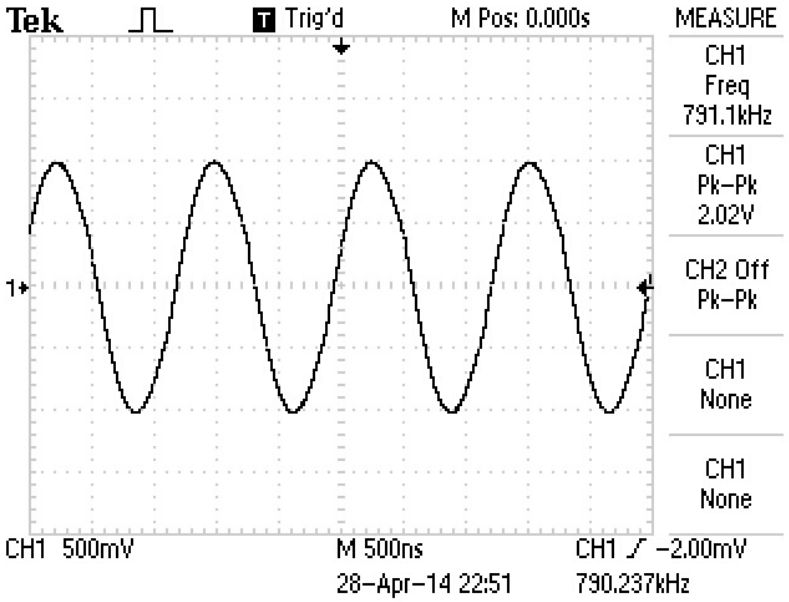


Obrázek 5.2: *Časový průběh RC oscilátoru s CCII+ pro f0=10kHz*



Obrázek 5.3: *Časový průběh RC oscilátoru s CCII+ pro f0=100kHz*

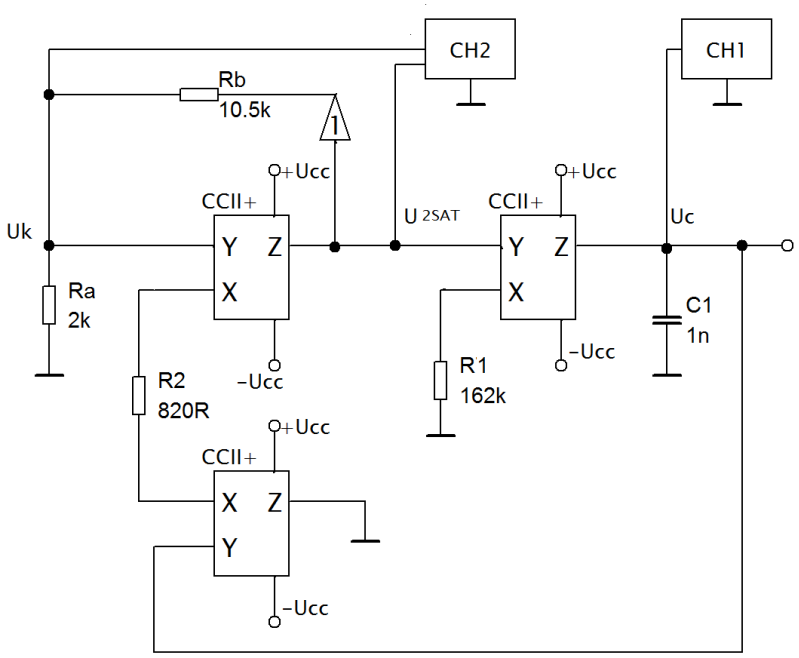
Pro námi zvolenou frekvenci 1MHz se s vypočítanými součástkami, podařilo dosáhnout frekvence pouze okolo 800kHz, chyba je způsobena velikostí odporu R1 a R2, protože byl místo vypočítaných 159Ω zvolen odpor 220Ω. Což způsobilo pokles frekvence o 200kHz.



Obrázek 5.4: *Časový průběh RC oscilátoru s CCII+ pro f0=1MHz*

5.2 Realizace funkčního generátoru s CCII+

V praktické realizaci tohoto obvodu, byla oproti teoretickému návrhu provedena změna v podobě odstranění omezovače OM, viz obr. č. 5.5, omezení tedy spočívá pouze v saturačním napětí U_{Z1SAT}. Měřené zapojení je znázorněno na obr. č. 5.5.Obvody AD844 jsou opět napájeny napětím Ucc = +15V a -15V. Kanál číslo jedna je připojený na bod označený jakoU_c, pro měření trojúhelníkového napětí.Kanál číslo dvě slouží k zobrazení obdélníkového průběhu z bodů U_k a U_{2SAT}. Oscilační frekvence jsou opět zvoleny $f_0 = 10kHz, 100kHz, 1MHz$ a jetaké uvažováno, že $R = R_1 = R_2$ a $C = C_1 = C_2$ vice v kapitole 4.3. Jako první byl zvolen opět kondenzátor C_1a z odvozeného vzorce pro výpočet frekvence byl následně vypočítán odpor.



Obrázek 5.5: *Realizace Funkčního generátoru s CCII+ pro f0=10kHz*

Proud protékající odporem R2:

$$i_{x12max} < 5mA$$

Napětí na odporu R2:

$$U_{R2max} = U_{KH} - U_{KL} = 4V$$

Odpor R2 je určen dosazením do U_{R2max} a proudu i_{x12max}:

$$R_2 > \frac{U_{R2max}}{i_{x12max}} = \frac{4}{5 \cdot 10^{-3}} = 820\Omega$$

Pro výpočet odporů je třeba znát přenos β, který je menší než jedna:

$$\beta = \frac{U_{R2max}}{2 \cdot U_{2SAT}} = \frac{4}{2 \cdot 12.5} = 0.16$$

Odpory vypočítáme z odvozeného vzorce (4.40):

$$R = \frac{1}{4 \cdot \beta \cdot f \cdot C}$$

Výpočet odporu pro frekvenci 10kHz:

$$R_{10kHz} = \frac{1}{4 \cdot 0.16 \cdot 10^4 \cdot 10^{-9}} = \frac{1}{4 \cdot 0.16} \cdot 10^5 = 156250 = 156k\Omega$$

Tabulka 1.2 pro všechny vypočítané odpory a kondenzátory:

f_0	C = C1 = C2	R = R1 =R2	E24
$10kHz$	$1nF$	$159k\Omega$	$[162k]$
$100kHz$	$1nF$	$16k\Omega$	$[16k]$
$1MHz$	$1nF$	1590Ω	$[1.6k]$

Tabulka 1.2: *Hodnoty odporů a kondenzáorů pro zvolené frekvence*

Hodnoty odporů Ra a Rb vypočítáme pro zvolený proud 1mA:

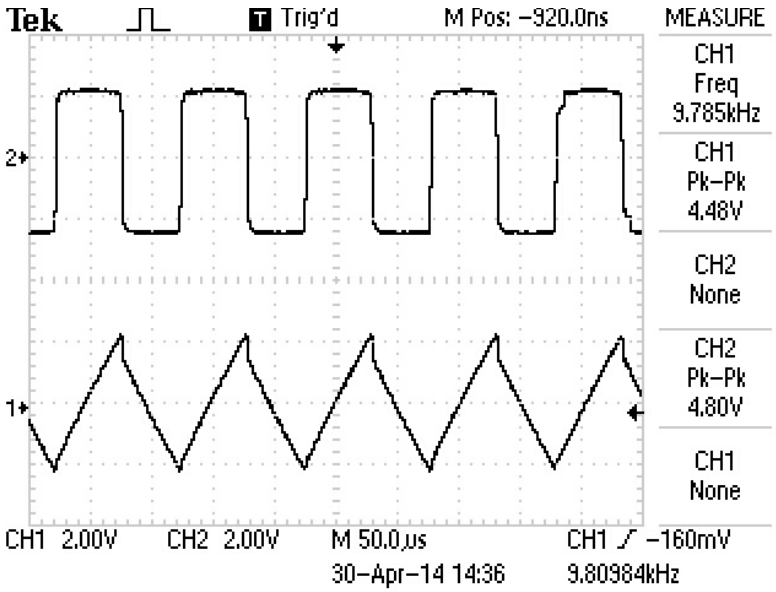
$$R_{ab} = \frac{U_{2SAT}}{I_{ab}} = \frac{12.5}{0.001} = 12500\Omega$$

$$R_a = \beta \cdot R_{ab} = 0.16 \cdot 12500 = 2000\Omega$$

$$R_b = R_{ab} - R_b = 12500 - 2000 = 10500\Omega$$

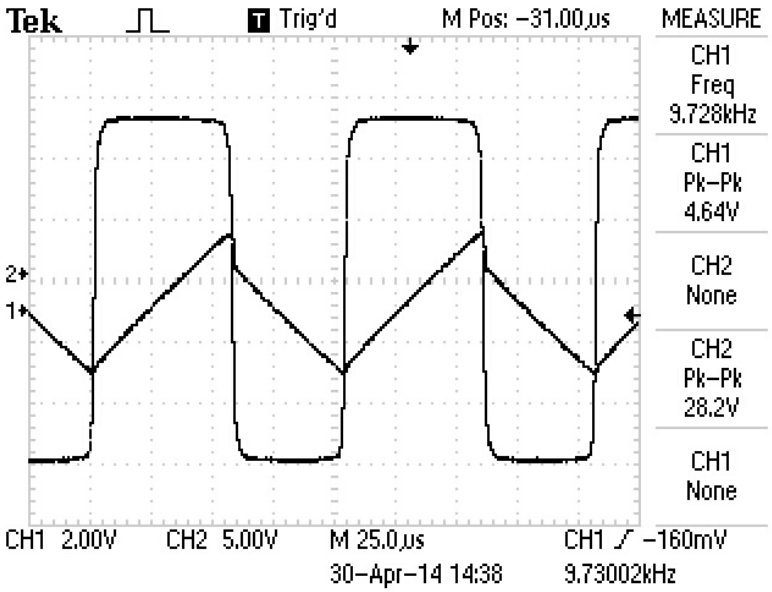
5.2.1 **Výstupní charakteristiky**

Výsledné výstupní průběhy pro určené frekvence, jsou zobrazeny na obr. č 5.6 až obr č. 5.9. Amplituda průběhů je určena velikostí hystereze komparátoru. Signál číslo jedna zobrazuje trojúhelníkový průběh měřený a signál číslo dvě představuje obdélníkový průběh.



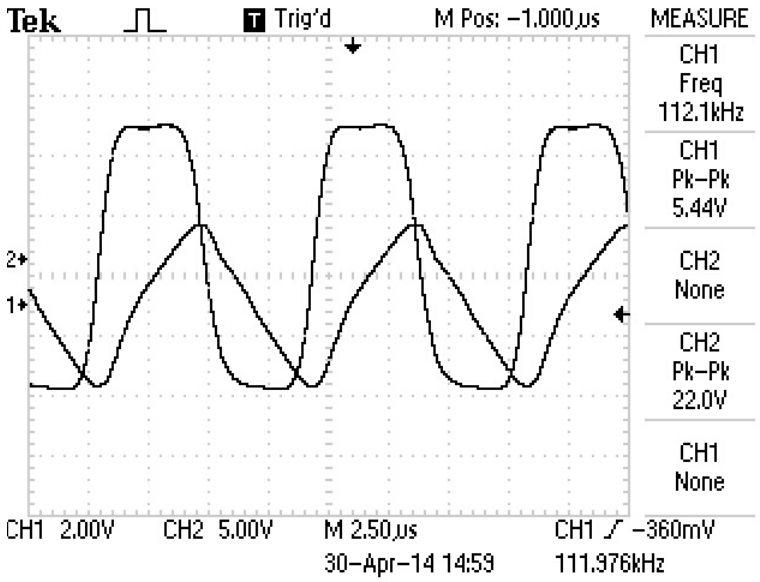
Obrázek 5.6: *Časový průběh funkčního generátoru s CCII+ pro f0=10kHz*

V průběhu na obr. č. 5.7 pro frekvenci 10kHz, je zobrazen obdélníkový průběh měřený v bodě U2sat, změna lze vidět v hodnotě napětí špička – špička.



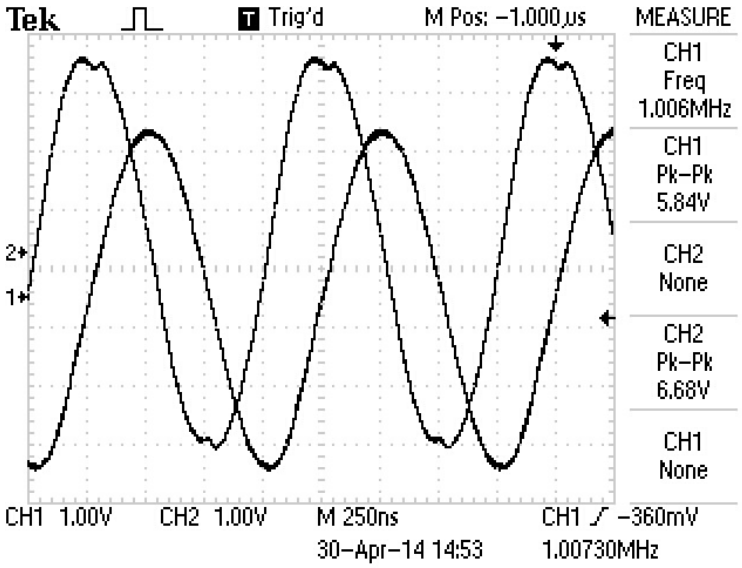
Obrázek 5.7: *Časový průběh funkčního generátoru s CCII+ pro f0=10kHz*

Pro frekvenci 100kHz, začíná být průběh zkreslený a integrátor začíná pracovat jako ztrátový.



Obrázek 5.8: *Časový průběh funkčního generátoru s CCII+ pro f0=100kHz*

Pro frekvenci 1MHz, jsou již průběhy velice zkreslené, integrátor pracuje jako ztrátový. Generátor generuje zkreslený harmonický průběh.



Obrázek 5.9: *Časový průběh funkčního generátoru s CCII+ pro f0=1MHz*

6 Závěr

Bakalářská práce je věnována funkčním generátorům, jejich analýze, simulaci a následné realizaci.

V úvodu práce jsou rozebrány některé moderní aktivní prvky, které jsou dále využívané pro návrh generátorů periodických signálů. Dále jsou rozebrány klasické zapojení generátorů a oscilátorů. V další části jsou navrženy generátory pro sinusový, trojúhelníkový a obdélníkový průběh na tyto návrhy jsou aplikovány moderní aktivní prvky v podobě CCII+. Funkčnost návrhů je ověřena pomocí simulace v programu SNAP. Simulované výsledky jsou uspokojivé a navrhované zapojení jsou vhodné pro praktickou realizaci.

V závěrečné části práce jsou realizovány návrhy generátorů a to s pomocí integrovaných obvodů AD844, které představují proudový konvejor II. generace. Tento prvek je jediný komerčně dostupný. Z naměřených výsledků vyplývá, že generátory pracují podle teoretických předpokladů. První navržené zapojení funguje bez problému pro všechny frekvence. Pouze pro teoreticky vypočítané hodnoty součástek pro vyšší frekvenci 1MHz se nepodařilo v praktické realizaci dosáhnout tohoto kmitočtu, což je způsobeno nepřesnou hodnotou odporů. Odstranění této chyby, může být docíleno zapojením několika menších odporů do série, tak aby byl výsledný odpor přesně shodný s hodnotou vypočítaného odporu. Z naměřených výsledků funkčního generátoru plyne, že generátor sice odpovídá teoretickým předpokladům, ale pouze pro nízké frekvence do 10kHz, trojúhelníkový signál u sestupné hrany je mírně zkreslený. Při vyšších kmitočtech je již patrné vysoké zkreslení a to jak u obdélníkového průběhu, tak u trojúhelníkového průběhu. Reálné výsledky se tedy od teoretických liší, protože při návrhu počítáme pouze s ideálními prvky, které mají v reálu určitá omezení.

Přínosem bakalářské práce je otestování dostupných moderních aktivních prvků při realizaci generátorů periodických signálů. Praktické porovnání simulovaných výsledků s výsledky reálnými a také zvýšení povědomí o těchto aktivních prvcích v zapojení pro generátory periodických signálů.

Použitá literatura

[1] SEDRA, A. S. - ROBERTS, G. W. - GOHH, I.: Thecurrentconveyor: historyprogress and *newresults*. IEEE PROCEEDINGS, Vol. 137, Pt. G, No. 2, April 1990, p.p. 78 – 87

[2] ČAJKA, Josef, Tomáš DOSTÁL a Kamil VRBA. Nové názvosloví a sjednocující pohled na *proudové konvejory*[online]. 2001[cit. 2014-04-29]. Dostupné z: http://www.elektrorevue.cz/clanky/01024/index.html

[3] FABRE, A.: Third-generationcurrentconvejor: a newhelpfulactive element. El. Letters,Vol. 31, No. 5, pp. 338-339, 1995.

[4] KLEIN, Lukáš. *Proudové a napěťové konvejory*. Doplňující učební text. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2011.

[5] BEČVÁŘ, Daniel a Kamil VRBA. *Univerzální proudový konvejor*[online]. 2000[cit. 2014-04-30].

Dostupné z: http://www.elektrorevue.cz/clanky/00007/index.html.

[6] Jeřábek, Jan a Kamil VRBA. *Vybrané vlastnosti univerzálního proudového konvejoru, ukázka návrhu aplikace* [online]. 2006[cit. 2014-04-30]. Dostupné z http://www.elektrorevue.cz/clanky/06041/index.html

[7] BEČVÁŘ, Daniel. *Napěťové konvejory*[online]. 2001[cit. 2012-04-30]. Dostupné z: http://www.elektrorevue.cz/clanky/01051/index.html

[8] MINARČÍK, Martin. *UNIVERSAL VOLTAGE CONVEYOR AND ITSAPPLICATIONS* [online]. 2005[cit. 2014-04-30]. Dostupné z: http://www.feec.vutbr.cz/EEICT/2005/sbornik/02-Magisterske_projekty/01-Elektronika/06-xminar08.pdf

[9] elektrika.cz [online]. [cit. 2014-4-24]

Dostupné z: http://elektrika.cz/data/clanky/zdroje-periodickych-signalu/view

[10] dmaster.wz.cz [online]. [cit. 2014-4-25]

Dostupné z: http://www.dmaster.wz.cz/teorie/oscilatory/oscilatory.htm

[11] cs.wikipedia.org [online]. [cit. 2014-4-25]

Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Oscilátor

[12] DOSTÁL, T. *Analogové elektronické obvody*. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUTv Brně, 2004

[13] KOLOUCH, J. BIOLKOVÁ, V. Impulzová a číslicová technika. Elektronické skriptum Brno: FEKT VUT v Brně, 2003

[14] MIŠUREC, Jiří a Jaroslav KOTON. SchmittTriggerwithControllableHysteresisUsingCurrentConveyors [online]. 2012, Vol 1, No 1 [cit. 2014-04-27].

Dostupné z: http://www.ijates.org/index.php/ijates/article/download/9/63

Seznam příloh

Příloha A: *Katalogový list integovaného obvodu AD844*

Příloha B: *Naměřené průběhy RC oscilátoru*

Příloha C: *Naměřené průběhy funkčního generátoru*