

Jihočeská universita v Českých Budějovicích
Pedagogická fakulta

Konstrukce a realizace generátoru tvarového signálu

Bakalářská práce

Břehov 2008

Autor: Václav Ruso

Vedoucí práce: doc. PaedDr. Petr Adámek, Ph.D.

Anotace

V této práci je uveden přehled vybraných typů oscilátorů a generátorů podle principu jejich funkce. Práce dále obsahuje návrh řešení generátoru, jeho praktickou realizaci a aplikaci. Je zde popsáno začlenění generátoru do laboratorní úlohy a jeho naměřené parametry.

Abstract

This thesis introduces an overview of selected types of oscillators and generators according to their functions, also suggestions of the construction of generators, their practical usage and application. There is also a described integration of generators into a laboratory task and its measured parameters.

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Pedagogická fakulta
Katedra fyziky
Akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Václav RUSO**

Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Měřicí a výpočetní technika**

Název tématu: **Konstrukce a realizace generátoru tvarového signálu**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

- popis principu analogových a digitálních generátorů tvarového signálu
- návrh řešení a volba obvodů pro konstrukci generátoru
- praktická realizace generátoru, ověření jeho parametrů
- začlenění generátoru do laboratorní úlohy, vypracování návodu k aplikační úloze

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy: cca 40-50 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- VEDRAL, J., KUBÍČEK, M.: Elektrické obvody měřicích přístrojů. Praha, Vydavatelství ČVUT, 1993.
- ČERNOCH, H., VALENTA, V.: Aplikovaná elektronika, Praha, ČVUT v Praze, 1992.
- ĎAĎO, S., SEDLÁČEK, M.: Měření aktivních elektrických veličin s anharmonickými průběhy. Praha, SNTL, 1987.
- Firemní materiály - katalogové listy el. součástek
- Harris Semiconductor?, Datasheets

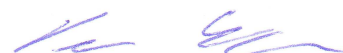
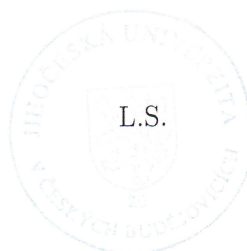
Vedoucí bakalářské práce: doc. PaedDr. Petr Adámek, Ph.D.
Katedra fyziky

Datum zadání bakalářské práce: 26. dubna 2007

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. dubna 2008



doc. PhDr. Alena Hošpesová, Ph.D.
děkanka



prof. RNDr. Petr Špatenka, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 26. dubna 2007

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracoval samostatně, pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Břehově dne 25. dubna 2008

.....

Václav Ruso

Děkuji vedoucímu práce doc. Adámkovi za připomínky k návrhu práce a ochotu se mnou konzultovat veškeré mé dotazy ohledně bakalářské práce.

Obsah

1 Úvod a cíle práce.....	8
2 Principy analogových a analogově digitálních generátorů.....	9
2.1 Oscilátory.....	9
2.1.1 Oscilátory LC.....	10
2.1.2 Oscilátory řízené krystalem.....	13
2.1.3 Oscilátory RC.....	15
2.2 Nízkofrekvenční generátory.....	17
2.2.1 Funkční generátory.....	17
2.3 Vysokofrekvenční generátory.....	19
2.3.1 Signální generátory.....	19
2.3.2 Generátory s amplitudovou modulací (generátory AM).....	20
2.3.3 Generátory s kmitočtovou modulací (generátory FM).....	21
2.4 Impulsové generátory.....	21
2.5 Šumové generátory.....	23
2.5.1 Generátor normálního šumu pro nízké kmitočty.....	24
2.6 Programovatelný generátor do 100 kHz.....	25
3 Návrh řešení generátoru.....	27
3.1 Schéma generátoru.....	27
3.2 Popis činnosti.....	29
3.3 Seznam použitých součástek.....	30
4 Praktická realizace.....	32
4.1 Napájení obvodu.....	33
4.2 Skříň generátoru.....	33
5 Začlenění generátoru do laboratorní úlohy.....	36
5.1 Tranzistorový zesilovač.....	36
6 Závěr a dosažené parametry.....	39
7 Seznam použité literatury.....	40

1 Úvod a cíle práce

Ve fyzikálním praktiku z elektroniky, které je součástí studia, se pracuje s různými elektronickými součástkami a integrovanými obvody. K úspěšné a efektivní práci s těmito součástkami je zapotřebí několik nezbytných přístrojů, které samy o sobě neměří žádnou veličinu, ale bez nichž by nebylo možné splnit některé laboratorní úlohy. Jedná se především o stabilizované zdroje napětí, generátory tvarových signálů apod.

V této práci je uveden přehled několika základních typů generátorů podle principu jejich funkce. Generátory byly rozděleny na nízkofrekvenční generátory, vysokofrekvenční s amplitudovou nebo kmitočtovou modulací, impulsové a šumové generátory.

Při zadání této práce byly stanoveny následující cíle:

Jednoduchost zapojení

Generátor by měl být co nejjednodušší pro snadné pochopení principu činnosti, aby studenti byli schopni ho ovládat a případně porozumět jeho základním funkcím.

Úplná dokumentace

K danému zařízení musí být k dispozici schéma zapojení, návrhy plošných spojů a rozměry skříně, ve které bude generátor uložen.

Cenová dostupnost

Při výběru součástek vybraných k zhotovení obvodu je zapotřebí vyhledat vhodnou kompozitu z hlediska ceny a dalších vlastností, aby neměla negativní vliv na obvod.

Hmotnost a rozměry skříně

Hmotnost a rozměry by neměly být příliš velké, aby bylo jednoduché s daným přístrojem manipulovat a případně přenášet, ale zároveň musí být zajištěna robustnost konstrukce pro případné nešetrné zacházení.

2 Principy analogových a analogově digitálních generátorů

Generátory měřicích elektrických signálů jsou zdroje elektrického napětí nebo proudu, jehož velikost, případně i časový průběh jsou známy s tak velkou přesností, že mohou při měření sloužit jako míry.

Generátory se používají při kalibraci a kontrole přístrojů k měření elektrického napětí a proudu nebo také k měření veličin charakterizujících jejich časový průběh. Slouží také k měření elektrických vlastností součástek a obvodů v měřeném objektu. Z těchto důvodů jsou nezbytné pro některá měření.

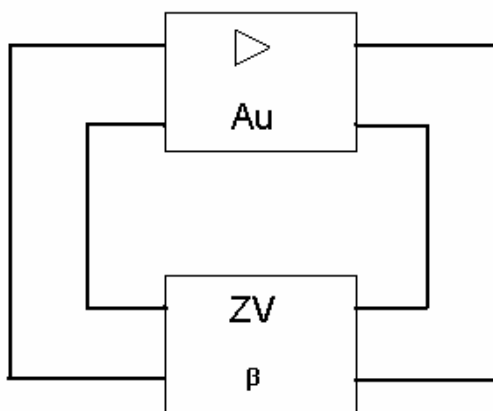
2.1 Oscilátory

Tvoří samostatnou skupinu elektrických obvodů [1], které nezpracovávají žádný vstupní signál, ale naopak jsou samy zdrojem – generátorem střídavého elektrického signálu od nejnižších do nejvyšších frekvencí pro další obvody. Jsou označovány za autonomní obvod, tj. takový obvod, který vytváří signál bez vnějšího buzení.

Oscilátory se používají ve všech odvětvích elektrotechniky – v radiotechnice, výpočetní technice, měřicí technice, atd.

Základem oscilátorů je zesilovač s vhodně vytvořenou zpětnou vazbou. Podle průběhu časového signálu rozdělujeme oscilátory na:

- 1) harmonické - generují kmity sinusového průběhu: a) LC
b) krystalové
c) RC
- 2) neharmonické - generují kmity nesinusového průběhu např.: obdélníkové, pilové, trojúhelníkové nebo stupňovité.



Zesilovač aktivní čtyřpól a obvod zpětné vazby pasivní čtyřpól určuje frekvenci generovaného napětí.

Zesílení zesilovače se zpětnou vazbou.

$$A' u = \frac{Au}{1 - \beta Au} \quad (1)$$

Obr. 1. Blokové zapojení zpětnovazebního oscilátoru.

Pro určitou frekvenci je $1 - \beta Au$ rovno 0 $\Rightarrow \beta Au = 1$.

Pro kmitání oscilátoru musí být splněny dvě podmínky:

- 1) amplitudová $\beta Au - 1$ – přenos zpětnovazební smyčky = 1
- 2) fázová $\varphi_A + \varphi_B = 2\pi$ φ_A = fázový posun zesilovacího prvku
 φ_B = fázový posun zpětnovazebního čtyřpólu

2.1.1 Oscilátory LC

Jedná se o nejpoužívanější oscilátory elektronických zařízení [1]. Skládají se z rezonančního obvodu složeného z cívky a kondenzátoru, tranzistoru jako zesilovacího členu a kladné zpětné vazby, pomocí níž vznikají netlumené kmity s konstantní amplitudou a frekvencí určenou rezonančním obvodem. Oscilátory tohoto typu mají nejméně zkreslený průběh výstupního napětí, protože rezonanční obvod potlačuje vyšší harmonické složky, a to i tehdy, je-li aktivní prvek nelineární. Kmitočet těchto oscilátorů je určen Thomsonovým vztahem:

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

Je u nich požadována přeladitelnost a stabilita kmitočtu:

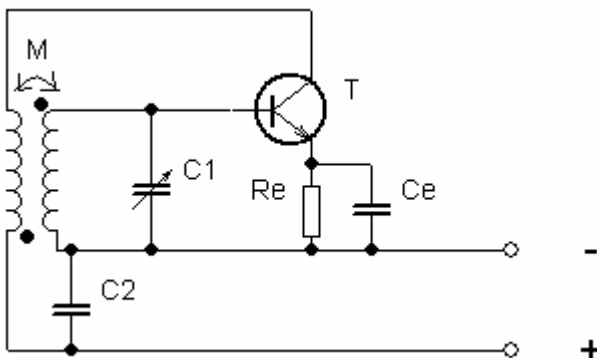
$$S = \left| \frac{\Delta f}{f_0} \right| \quad (3)$$

Stabilita kmitočtu bývá přibližně 10^{-3} .

Podle zapojení rezonančního obvodu rozlišujeme oscilátory LC:

- s indukční vazbou
- tříbodové oscilátory

Oscilátor LC s indukční vazbou



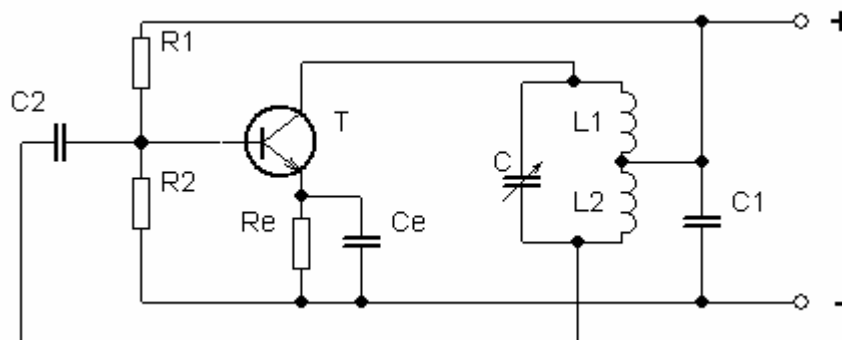
Obr. 2. Rezonanční obvod oscilátoru LC s indukční vazbou, převzato z [1].

Po přivedení napětí se proudovým nárazem rezonanční obvod LC rozkmitá. Indukční vazba je dána vzájemnou indukčností cívek. Tranzistor zapojený se společným emitorem otáčí fázi o $180^\circ \Rightarrow \varphi_A + \varphi_B = 360^\circ$ čímž je splněna fázová podmínka pro vznik oscilací. Zesílení tranzistoru je větší než útlum zpětné vazby - splnění amplitudové podmínky.

Tříbodové oscilátory

Označují se tak oscilátory LC [1], u kterých je rezonanční obvod připojen k zesilovači ve třech bodech. To je provedeno tak, že je buď vytvořena odbočka na cívce s indukčností L_1 a L_2 a paralelně s nimi je kondenzátor C (Hartleyův oscilátor), a nebo děleným kondenzátorem C_1 a C_2 a paralelně s nimi je cívka L (Colpittsův oscilátor). Toto jsou typické oscilátory pro radiotechnická zařízení a podle uspořádání rezonančních obvodů je označujeme jmény jejich prvních konstruktérů.

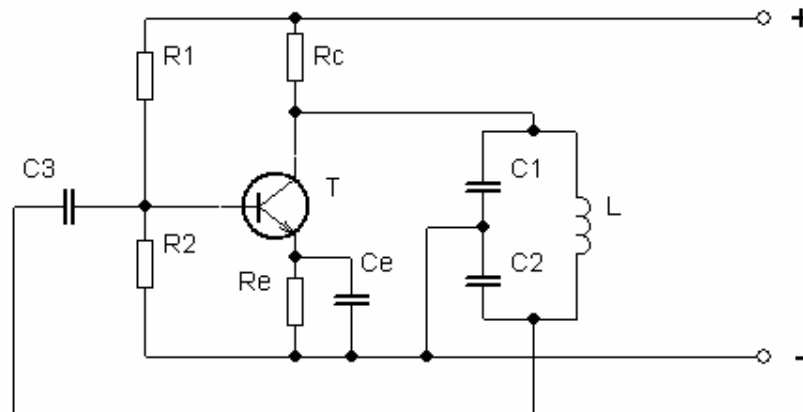
a) Hartleyův oscilátor



Obr. 3. Hartleyův oscilátor, převzato z [2].

V tomto oscilátoru pracuje tranzistor v zapojení se společným editorem. Mezi oběma částmi cívky existuje vzájemná indukčnost. Tento oscilátor používá jednu cívku rezonančního obvodu s odbočkou, která je uspořádána jako autotransformátor. Spodní konec cívky má opačnou fázi signálu a přes oddělovací kondenzátor C_2 budí bázi zesilovacího členu. Pro přeladování kmitočtu slouží ladící kondenzátor C_1 . Stabilita kmitočtu podle vztahu (3) je 10^{-3} .

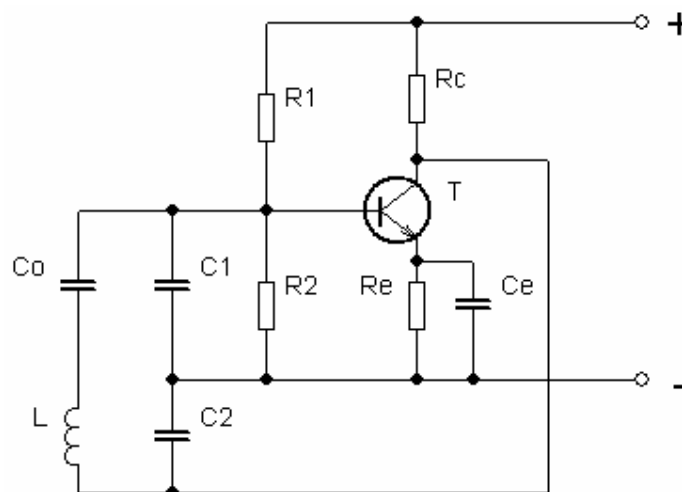
b) Colpittsův oscilátor



Obr. 4. Colpittsův oscilátor, převzato z [2].

Tranzistor zde pracuje v zapojení se společným emitorem. Tento oscilátor má rezonanční obvod vytvořený cívku L_1 a kondenzátory C_1 a C_2 . Kladná zpětná vazba je vyvedena z odbočky kapacitního děliče C_1 , C_2 přes kondenzátor C_3 na bázi. Kapacita sériového zapojení kondenzátorů C_1 a C_2 je současně kapacitou rezonančního obvodu. Pro přeladování kmitočtu se používá ladící cívka L_1 . Stabilita kmitočtu podle vztahu (3) je opět přibližně 10^{-3} .

c) Clappův oscilátor



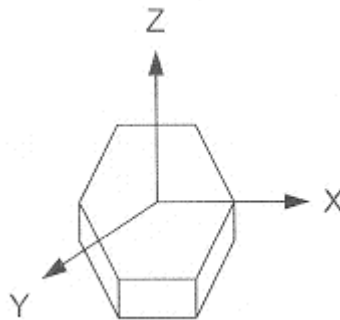
Obr. 5. Clappův oscilátor, převzato z [1].

Jak je patrné ze schématu (obr. 5) má tento oscilátor oproti minulému zapojení přidán do rezonančního obvodu kondenzátor C_0 . Při výpočtu rezonanční frekvence se zde uvažuje sériové zapojení kondenzátorů C_1 , C_2 a C_0 ($C_0 \gg C_1$ resp. C_2). Stabilita kmitočtu (3) u tohoto typu je až 10^{-5} .

2.1.2 Oscilátory řízené krystalem

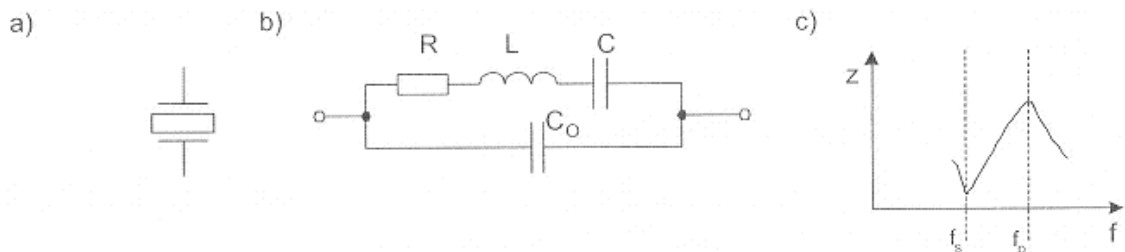
Vyznačují se vysokou frekvenční stabilitou. Jako řídicí prvek se u těchto oscilátorů [1] používá piezoelektrický rezonátor. Jejich základní částí jsou krystalické látky, které, jsou-li mechanicky namáhány (tlakem nebo tahem), vykazují na svém povrchu elektrické náboje. Opatříme-li tyto krystaly elektrodami, můžeme na nich snímat napětí úměrné velikosti mechanického namáhání. Tyto látky prokazují i jev inverzní, tj. přivedeme-li napětí na krystal dochází k jeho mechanické deformaci. Tento jev se nazývá piezoelektrická elektrostrikce.

Oba tyto popsané jevy jsou využívány ke konstrukci krystalových filtrů a rezonátorů. Ty využívají jevu, že krystal může kmitat jen ve velmi úzkém rozsahu frekvence. V případě, že přivedeme na elektrody široké spektrum kmitočtů, uplatní se a přenášejí jenom ty, které odpovídají svou hodnotou vlastní rezonanci krystalu.



Obr. 6. Křemenný výbrus.

Je známo, že látky krystalizující, mají své atomy uspořádány v určitém systému. Vlastnosti krystalového výbrusu, tj. rezonanční kmitočty, závisí na tom, jakým způsobem je destička vyříznuta, jak je silná, jak je homogenní, na teplotě a na jiných vlastnostech výbrusu.



Obr. 7. Piezoelektrický rezonátor: a) schematická značka, b) náhradní schéma, c) závislost impedance výbrusu na frekvenci.

Elektrické chování krystalu popisujeme náhradním elektrickým schématem. Toto naznačené schéma (obr. 7) v sobě zahrnuje jak parametry krystalu (sériový rezonanční obvod RLC) tak i kapacitu přívodu (C_0).

R – představuje ztráty v krystalu

L – krystalovou hmotu

C – pružnost krystalu

Z náhradního schématu (obr. 7b) a charakteristiky (obr. 7c) vyplývá, že rezonátor má dvě rezonanční frekvence:

- při sériové rezonanci je impedance nejnižší

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \quad (4)$$

- při paralelní rezonanci je impedance největší

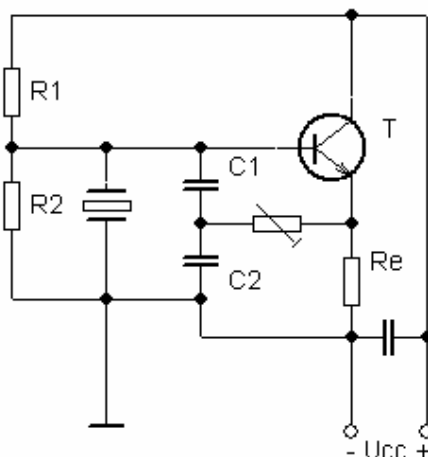
$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{CC_0}{C+C_0}L}}. \quad (5)$$

Oba kmitočty leží blízko sebe. Paralelní rezonance je využívána tak, že krystal je součástí rezonančních obvodů; sériová – krystal je součástí zpětné vazby.

Je zřejmé, že rezonanční kmitočty vyjádřené tvary (4 a 5) jsou závislé na provedení výbrusu, a proto je lze měnit jen velmi obtížně. Tyto rezonátory se proto používají pro jednu pevně stanovenou frekvenci v rozsahu 100 Hz až 10 MHz. Jsou velmi jakostní, a při použití speciálního zapojení se u nich dosahuje stability kmitočtu dle vztahu (3) od 10^{-4} až 10^{-9} . To je předurčuje jako kalibrační zdroje u měřících přístrojů.

Krystalové oscilátory

Tyto oscilátory jsou z hlediska frekvenční stability nejvýhodnější. Jejich řídicí obvod tvoří piezoelektrický rezonátor.



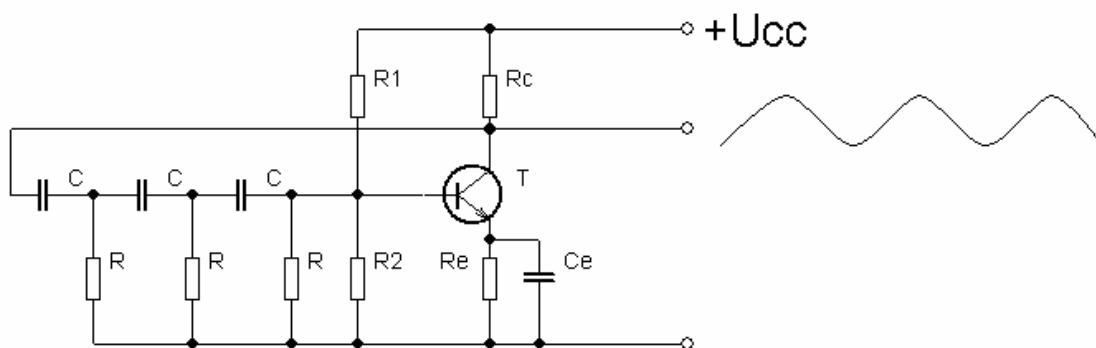
Obr. 8. Krystalový oscilátor, převzato z [1].

Jedná se v podstatě o Clappův oscilátor (obr. 5), ve kterém je řídicí obvod LC nahrazen piezoelektrickým rezonátorem. Frekvence generovaných kmitů je mezi sériovou (4) a paralelní (5) rezonanční frekvencí piezoelektrického rezonátoru. $f_s < f_0 < f_p$. Čím větší jsou kapacity C_1 a C_2 , tím je frekvence f_0 bližší frekvenci f_s a tím je lepší frekvenční stabilita (3) (lepší než 10^{-5}). Střídavý proud nesmí v krystalových oscilátorech překročit určitou mezní hodnotu, protože by se mohla narušit stabilita, nebo by se mohl mechanicky poškodit krystal. Proto se amplituda kmitů omezí a stabilizuje zápornou zpětnou vazbou. Do emitorového obvodu se zařadí např. potenciometr, kterým se omezí amplituda kmitů. Krystalové oscilátory vyrábějí napětí s frekvencí až do 50 MHz.

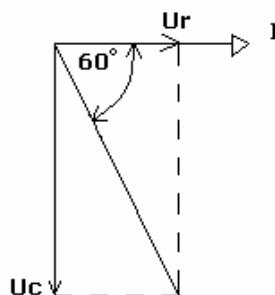
2.1.3 Oscilátory RC

Oscilátory LC jsou vhodnější pro vyšší frekvence, pro nízké frekvence jsou vhodnější oscilátory RC [3].

Jsou to napěťově zesilovací stupně s kmitočtově závislou kladnou zpětnou vazbou. Zpětná vazba se uzavírá přes selektivní RC členek, který určuje frekvenci oscilátoru. Změna kmitočtu se provádí změnou časové konstanty RC článku.



Obr. 9. Schéma zapojení oscilátoru RC.



Obr. 10. Fázová charakteristika jednoho článku RC.

Aby byla splněna fázová podmínka, musí být fázový posun 180° , jeden článek RC musí způsobit fázový posun 60° .

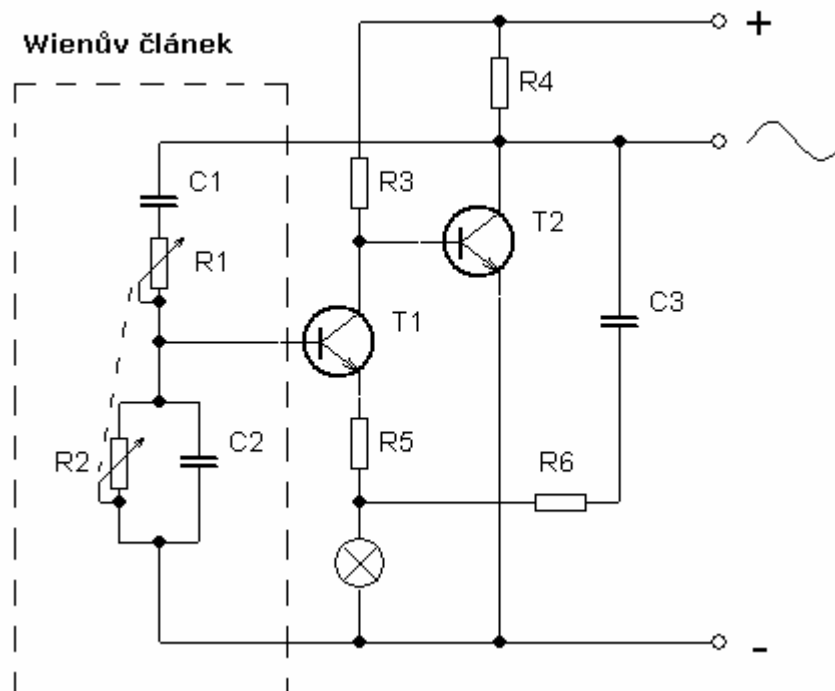
$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}}, \quad (6)$$

použijeme-li místo derivačního článku články integrační pak

$$f_0 = \frac{\sqrt{6}}{2\pi RC}. \quad (7)$$

Oscilátory RC jsou obtížně přeladitelné, proto se obvykle používají pro jednu frekvenci.

Oscilátor RC s Wienovým článkem



Obr. 11. Schéma oscilátoru RC s Wienovým článkem, převzato z [4].

Zpětnovazební čtyřpól - Wienův článek se selektivními vlastnostmi. Napěťový přenos dosahuje maxima při určité frekvenci, při které má Wienův článek nulový fázový posun. Na této frekvenci vznikne kladná zpětná vazba a oscilátor na této frekvenci kmitá dle vztahu (8).

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}, \quad (8)$$

mají-li rezistory a kondenzátory stejnou hodnotu pak platí:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}. \quad (9)$$

Aktivní čtyřpól- dvoustupňový tranzistorový zesilovač v zapojení se společným emitorem. Fázový posun je $2 \times 180^\circ$, tím je splněna fázová podmínka.

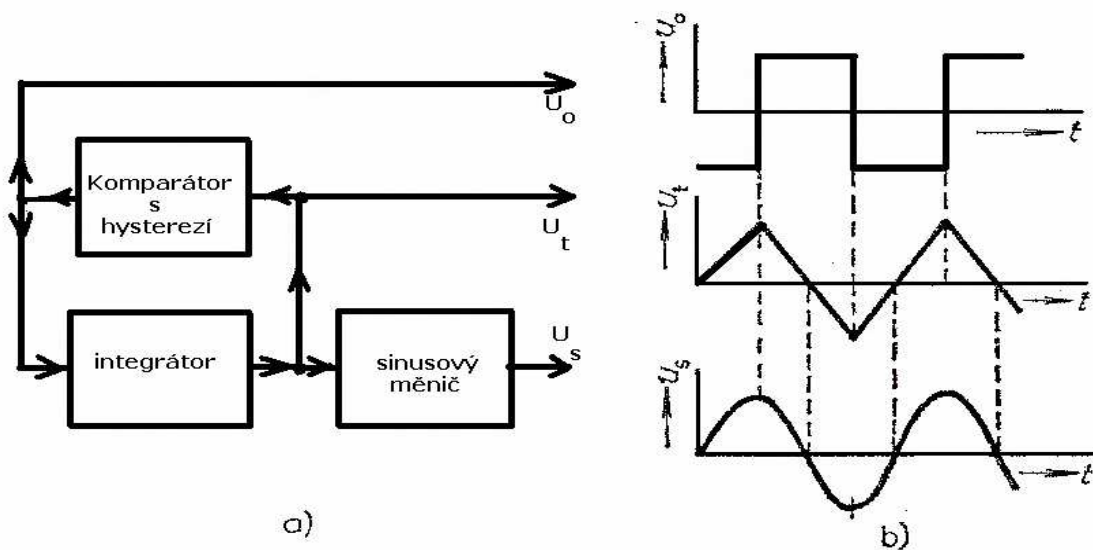
Žárovka slouží ke stabilizaci velikosti výstupního sinusového napětí - zvětší-li se amplituda výstupního napětí, zvětší se i napětí na žárovce, žárovkou teče větší proud, teplota vlákna se zvýší a tím se zvýší i jeho odpor. Tím se zvětší velikost emitorového rezistoru tranzistoru T1 a tím i záporná zpětná vazba. Zmenší se zesílení a amplituda kmitu se zmenší.

2.2 Nízkofrekvenční generátory

Dávají signál obvykle sinusového průběhu [5], ale i tvarového jehož kmitočet lze plynule měnit od desítek hertzů do tisíců hertzů. Výstupní napětí bývá nastavitelné od milivoltů do desítek voltů. Používá se k měření kmitočtu, k měření frekvenčních charakteristik, ale také i jako napájení měřících můstků.

2.2.1 Funkční generátory

Funkčními generátory se nazývají generátory s výstupním napětím sinusového, trojúhelníkového a obdélníkového průběhu v široké kmitočtové oblasti. Princip jejich zapojení je prostý (obr. 12).



Obr. 12. Funkční generátor: a) princip zapojení, b) průběhy napětí, převzato z [5].

Obdélníkové a trojúhelníkové napětí se vytváří zpětnovazebním spojením integrátoru a komparátoru s hysterezí. Má-li integrátor jediný vstup, musí se na něj přivádět napětí střídající se polarity (obdélníkové napětí). U diferenčního integrátoru se přivádí napětí stejné polarity střídavě na jeden a druhý vstup. Opačný vstup se připojuje k nule.

Potřebné spínání obstarávají tranzistory. Komparátor s hysterezí řídicí spínače bývá tvořen vhodným zapojením operačního zesilovače.

Pro sledovaný účel musí mít obdélníkové napětí u_o střídu 1:1. Je-li vstupní napětí integrátoru U a má-li trojúhelníkové napětí u_t špičkovou hodnotu U_m stejně velkou v kladné i záporné části, platí pro kmitočet f generovaného napětí vztah

$$f = \frac{U}{4RCU_m}, \quad (10)$$

kde RC je časová konstanta integrátoru. Z výrazu (10) je zřejmé, že kmitočet lze řídit změnou časové konstanty integrátoru a změnou vstupního napětí integrátoru. Druhý způsob je výhodný při elektrickém řízení kmitočtu např. při jeho rozmítání.

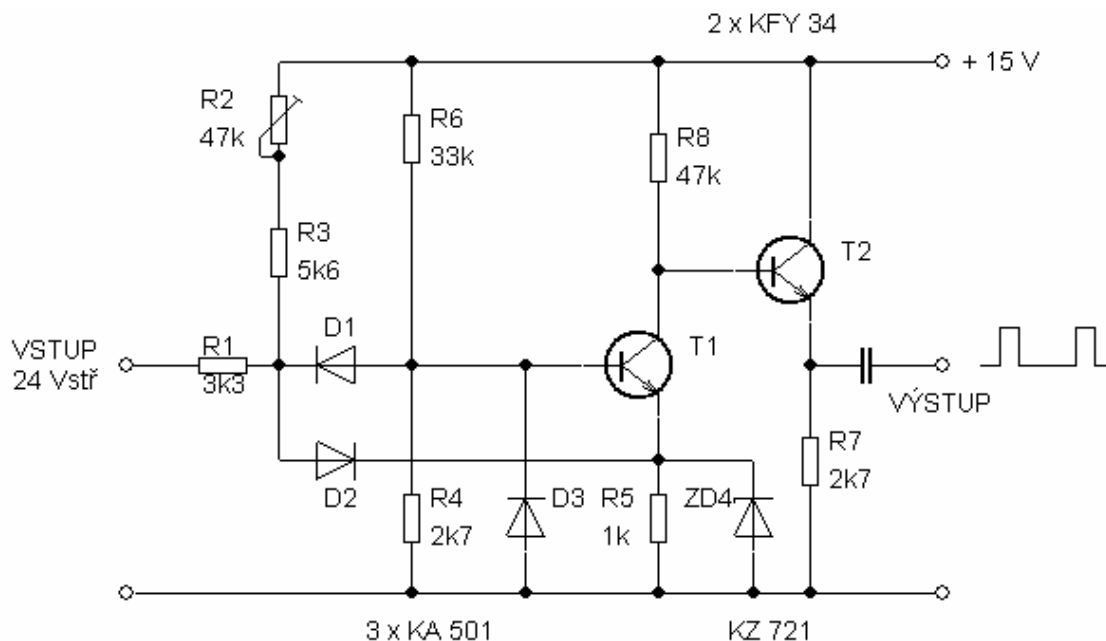
Harmonické napětí se z trojúhelníkového napětí vytvoří funkčním měničem se sinusovou závislostí výstupního napětí u_s na vstupním napětí u_t . Nejlepších výsledků se dosahuje diodovým aproximačním měničem. Přijatelné výsledky však dává i jednoduchý měnič s tranzistorem řízeným elektrickým polem.

Generátor impulsů s frekvencí 100 Hz

Generátor (obr. 13) je možné budít všude [6], kde požadujeme impulsy přesně sfázované elektrickou sítí, např. v tyristorových regulátorech střídavého napětí. Dá se použít také v jiných aplikacích, např. jako generátor hodinových impulsů v nenáročných obvodech. Generátor pracuje jako detektor přechodu vstupního napětí nulovou hodnotou. Zapojení pracuje symetricky pro kladnou i zápornou půlperiodu vstupního napětí. Na výstupu vznikají krátké impulsy se šířkou asi 0,1 ms a frekvencí 100 Hz.

Když je na vstupu nulové napětí, tranzistor T_1 je zapnutý. Zapnutí tranzistoru zabezpečují odporové děliče v bázi a editoru, tj. rezistory R_2 až R_6 . Tranzistor T_2 je zapojený jako emitorový sledovač, takže průběh napětí na jeho editoru jen kopíruje průběh na kolektoru tranzistoru T_1 .

Až vstupní napětí z pomocného zdroje (např. z transformátoru připojeného na síťové napětí) dosáhne kladné hodnoty s velikostí přípustného napětí diody D_2 , na editoru tranzistoru T_1 začne narůstat napětí a tranzistor se rozezne. Až se napětí na vstupních svorkách obvodu sníží do záporných hodnot, tranzistor T_1 se rozezne přes diodu D_1 . Dioda D_3 a Zenerova dioda D_4 zabezpečují ochranu přechodu editor-báze tranzistoru T_1 .



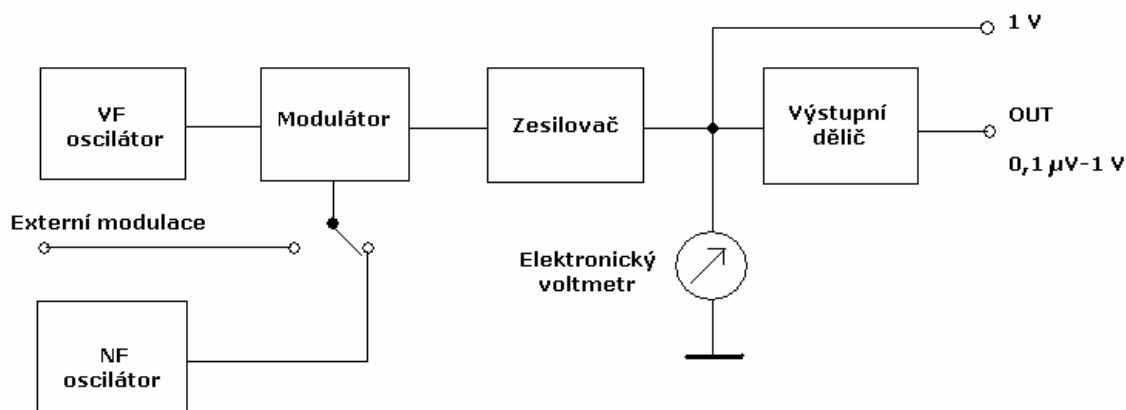
Obr. 13. Generátor impulsů s frekvencí 100 Hz řízený sítí, převzato z [6].

2.3 Vysokofrekvenční generátory

Frekvenční pásmo u těchto generátorů bývá od desítek kilohertz až jednotky gigahertz. Výstupní napětí se pohybuje v rozmezí mikrovoltů až jednotky voltů. Výstupní výkon je až několik wattů. Používá se mimo jiné k měření a nastavování radiotelevizní techniky.

2.3.1 Signální generátory

Používají se k výrobě, měření, údržbě a zkoušení vysokofrekvenčních zařízení např.: vysokofrekvenčních zesilovačů, oscilátorů a radiotelevizních přijímačů. Požadavky na tyto generátory je stabilita kmitočtu a výstupního napětí a minimální zkreslení.



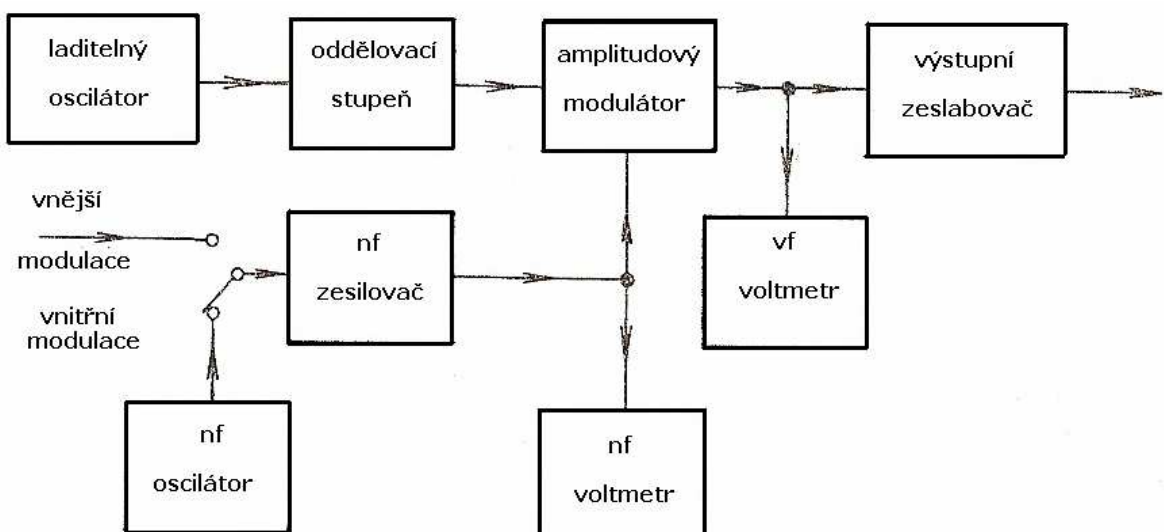
Obr. 14. Blokové schéma signálního generátoru, upraveno z [5].

Vysokofrekvenční oscilátor je přeladitelný v širokém rozsahu, který je rozdělen do několika pásem. Amplitudová nebo frekvenční modulace je přiváděna z externího zdroje. Elektronický voltmetr slouží zároveň jako modulometr.

2.3.2 Generátory s amplitudovou modulací (generátory AM)

V signálních generátorech s amplitudovou modulací nedochází k přeměně kmitočtu; kmitočet výstupního napětí se rovná kmitočtu základního oscilátoru, který je výchozím blokem struktury generátoru (obr. 15). Kmitočtový rozsah bývá poměrně široký a je rozdělen do řady dílčích rozsahů, ve kterých se oscilátor dá plynule přeladovat. Pohyb ladícího členu je vázán s pohybem ukazovatele nebo kmitočtové stupnice. Za oscilátorem někdy následuje oddělovací stupeň, který zabraňuje ovlivňování oscilátoru.

Vysokofrekvenční napětí se amplitudově moduluje v modulátoru nízkofrekvenčním napětím. Zdrojem modulačního napětí je nízkofrekvenční oscilátor zabudovaný v generátoru (v tomto případě jde o tzv. vnitřní modulaci, často s kmitočtem 1 kHz) nebo se modulační napětí do generátoru zavádí zvenčí (tzv. vnější modulace). Modulační napětí se popřípadě zesiluje v nízkofrekvenčním zesilovači. Měřením modulačního napětí při určité úrovni nosného vysokofrekvenčního napětí se určuje hloubka modulace. Vysokofrekvenční napětí se měří před kalibrovaným výstupním zeslabovačem, který je posledním členem struktury generátoru a slouží k nastavování úrovně výstupního napětí generátoru.

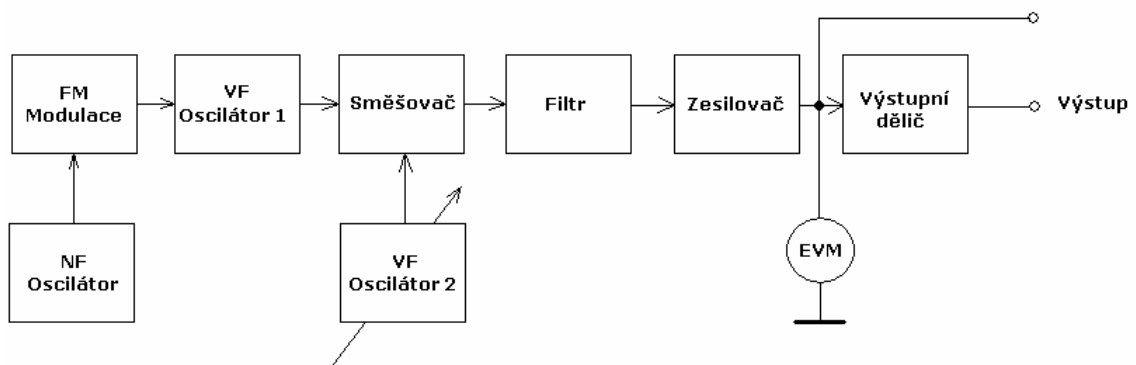


Obr. 15. Blokové schéma generátoru s amplitudovou modulací, převzato z [5].

Struktura jednotlivých generátorů AM se může lišit od uvedené koncepce. V jednodušších generátorech pro servisní účely někdy chybí oddělovací stupeň, nízkofrekvenční zesilovač, popř. i voltmetry. Rovněž konstrukce je různá a závisí na výši kmitočtu generovaného signálu.

2.3.3 Generátory s kmitočtovou modulací (generátory FM)

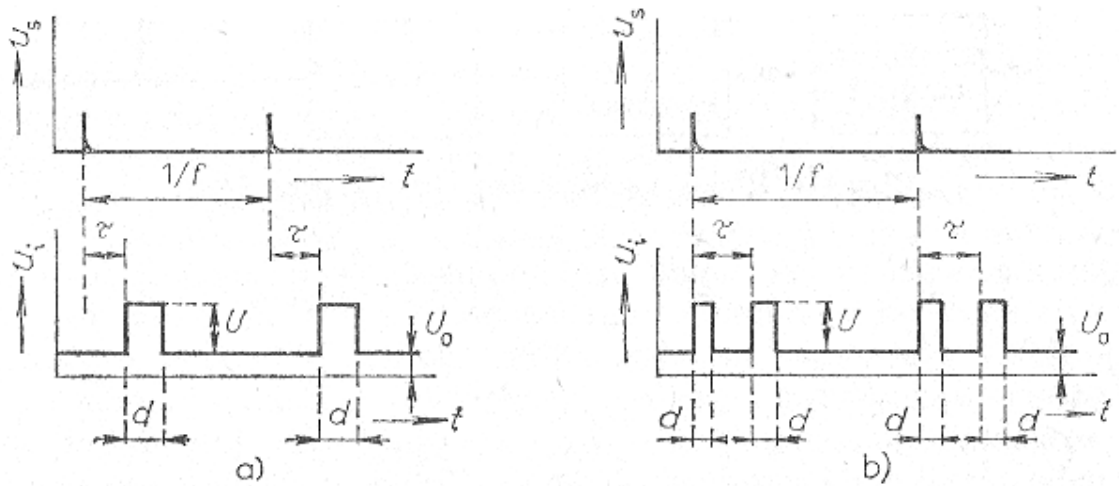
Pracuje na principu směřování dvou kmitočtů. Frekvenčně modulovaný je oscilátor 1 pevného kmitočtu. Pomocí přeladitelného oscilátoru 2 a směšovače se frekvenčně modulovaný signál převede do určitého kmitočtového pásma.



Obr. 16. Blokové schéma generátoru s kmitočtovou modulací, upraveno z [5].

2.4 Impulsové generátory

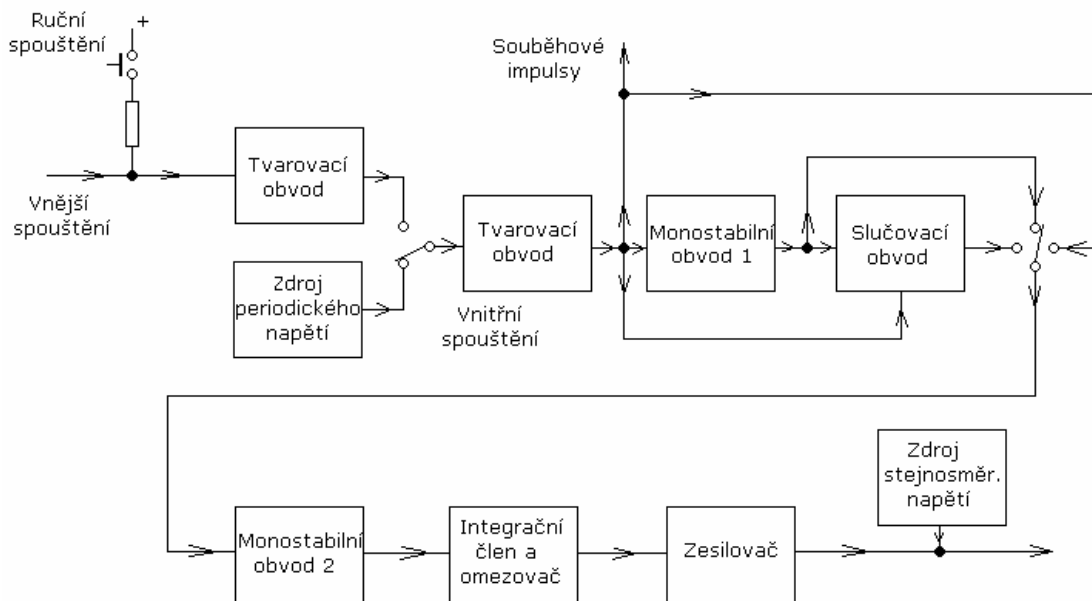
Jsou to takové generátory [5], které dávají napětí ve tvaru pravoúhlých impulsů (obr. 17). Zpravidla se od nich žádá, aby se mohl podle potřeby nastavovat kmitočet opakování impulsů f , trvání impulsů d a amplituda impulsů U . Dále se požaduje dobrý pravoúhlý tvar impulsů, co nejkratší čelo a tyl impulsů, průběh bez zákmitů, konstantní hodnota napětí během impulsu a mezi impulsy. Rovněž je výhodné, jestliže se dá volit polarita impulsů a je-li stavitelná stejnosměrná úroveň U_0 impulsů. Mnohdy je vítané, když impulsový generátor dává kromě měřících impulsů u_i vyhovující uvedeným požadavkům ještě na jiném výstupu souběhové impulsy u_s předcházející měřící impulsy, přičemž zpoždění τ měřících impulsů za souběhovými impulsy je také stavitelné. V některých impulsových generátorech se dá nastavovat nezávisle na sobě i čelo a tyl impulsů. Impulsový generátor může být také zdrojem impulsů řazených do skupin. U dvojitých impulsů (obr. 17b) bývá kromě jejich trvání stavitelný i jejich časový odstup. K impulsovým generátorům patří i generátory slov, které dávají sledy impulsů odpovídajícím bitům ve slově.



Obr. 17. Průběh souběhových impulsů u_s a u_i :
a) jednoduchých, b) dvojitých, převzato z [5].

Uspořádání impulsových generátorů

Typické uspořádání impulsových generátorů ukazuje blokové schéma na obr. 18. Při práci s impulsovým generátorem se nejčastěji používá vnitřního spouštění; kmitočet výstupních impulsů se rovná kmitočtu periodického napětí davaného laditelným multivibrátorem nebo oscilátorem. Generátor se však dá spouštět i periodickým napětím přiváděným zvenčí (vnější spouštění) anebo na každé stisknutí tlačítka dá jeden impuls (ruční spouštění). Ze spouštěcího napětí se tvarovacím obvodem vytvoří krátké impulsy,

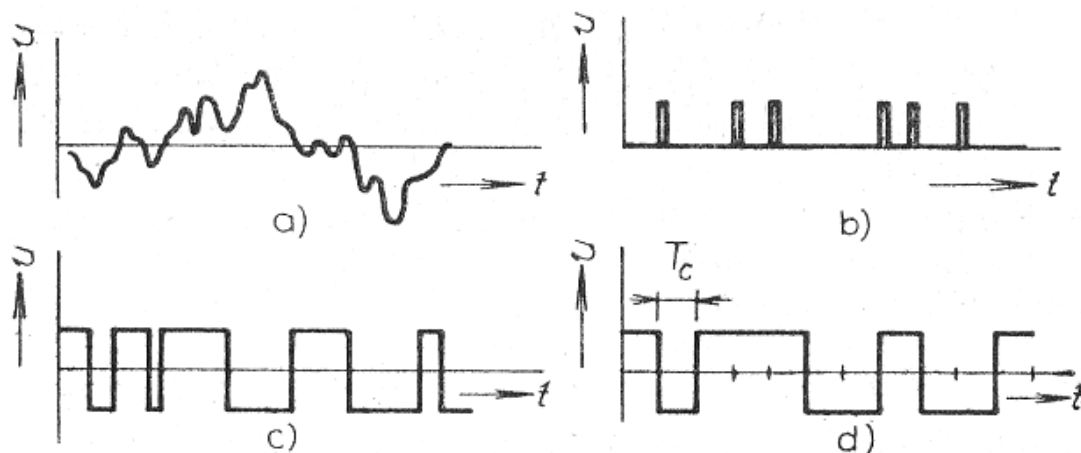


Obr. 18. Blokové schéma impulsového generátoru, upraveno z [5].

kteřé spouštějí další obvody v generátoru a kromě toho se vyvádějí z generátoru jako souběhové impulsy. Prvním monostabilním obvodem se nastavuje zpoždění výstupního impulsu proti spouštěcímu impulsu, druhým se nastavuje délka výstupního impulsu. Druhý monostabilní obvod se může spouštět třemi způsoby: původními spouštěcími impulsy, impulsy zpožděnými prvním monostabilním obvodem spouštěným původními spouštěcími impulsy nebo původními i zpožděnými impulsy. Těmto způsobům spuštění odpovídá trojí druh výstupních impulsů: nezpožděné impulsy, zpožděné impulsy nebo dvojice impulsů, z nichž první je nezpožděný a druhý je zpožděný.

2.5 Šumové generátory

Při některých měřeních se potřebuje náhodný signál (běžně zvaný šum), jehož okamžitá hodnota je náhodnou funkcí času. Náhodný signál se vytváří vhodným zdrojem. Aby tento zdroj byl schopen funkce a měl požadované vlastnosti, musí se doplnit dalšími obvody (např. napájecím zdrojem, měřicím přístrojem), se kterými tvoří funkční celek zvaný generátor náhodného signálu nebo stručněji šumový generátor [5]. Z hlediska využití v měřicí technice se od takového generátoru požaduje, aby dával stacionární náhodný signál, jehož spektrální hustota je známá a konstantní v potřebném kmitočtovém rozsahu. Dále je žádoucí, aby hodnota spektrální hustoty byla stavitelná.

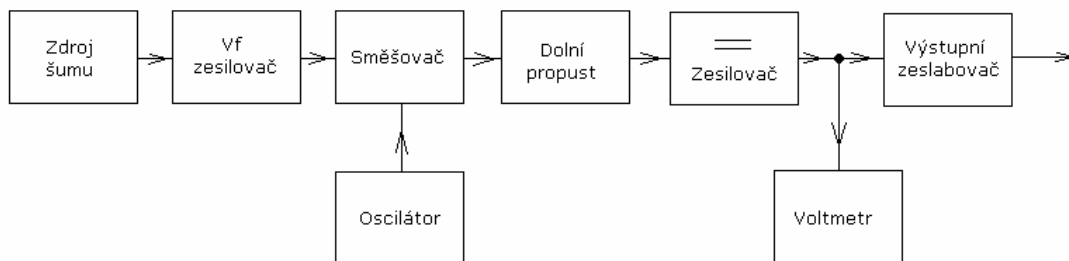


Obr. 19. Druhy náhodných signálů: a) spojitý s přibližně normálním rozdělením, b) impulsový, c) binární asynchronní, d) binární synchronní, převzato z [5].

Průběh náhodného signálu může být různý. Nejdůležitější je (obr. 19) spojitý náhodný signál s přibližně normálním rozdělením, impulsový náhodný signál, asynchronní binární náhodný signál a synchronní binární náhodný signál. Jeden druh náhodného signálu se dá převést na jiný druh. Proto může mít výstupní signál generátoru odlišný průběh než má náhodný signál vlastního zdroje.

2.5.1 Generátor normálního šumu pro nízké kmitočty

Dává šum, který má rovnoměrné spektrum i v oblasti velmi nízkých kmitočtů. Takový šum lze získat kmitočtovou transpozicí šumu z oblasti vyšších kmitočtů (obr. 20). Šumové napětí vhodného zdroje se po zesílení v selektivním zesilovači směšuje ve směšovači s harmonickým napětím z oscilátoru. Dolní propustí za směšovačem projdou jen složky s rozdílovými kmitočty. Směšovač se může nahradit řízeným usměrňovačem. Takto kmitočtově transponovaný šum se ještě zesiluje ve stejnosměrném zesilovači. Šumové napětí na výstupu zesilovače se měří voltmetrem reagujícím na efektivní hodnotu a nastavuje se výstupním zeslabovačem. Spektrum výstupního šumu sahá od nuly až k meznímu kmitočtu dolní propusti a zesilovače za ní.



Obr. 20. Blokové schéma šumového generátoru pro nižší kmitočty, převzato z [5].

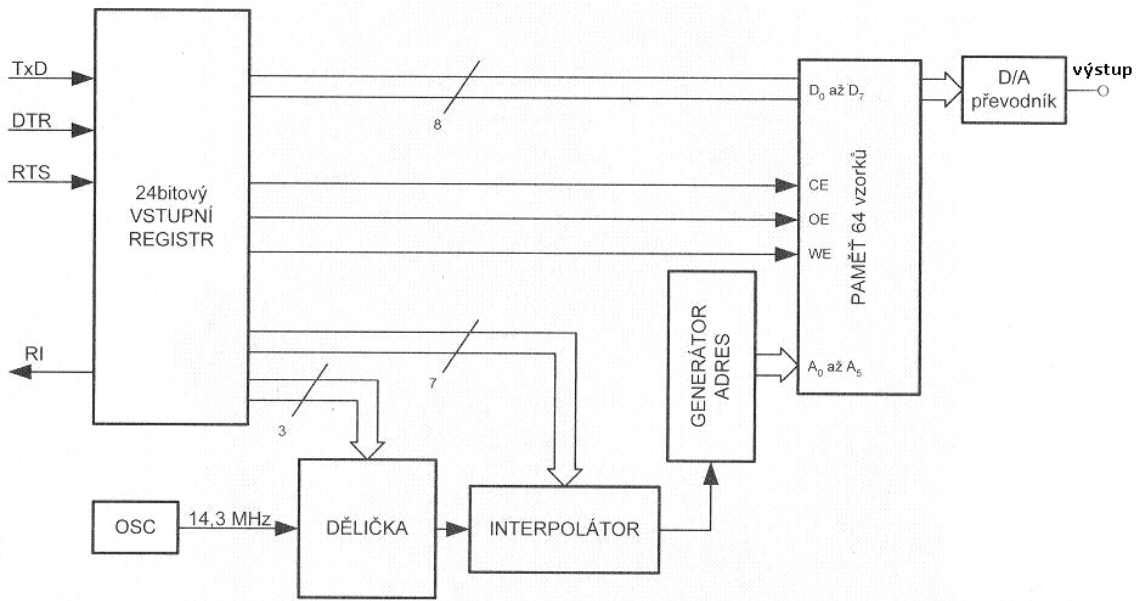
2.6 Programovatelný generátor do 100 kHz

Programovatelný generátor [7] produkuje na svém výstupu napětí s volitelným tvarem, kmitočtem a střídou. Profesionální generátory umožňují nastavit amplitudu výstupního napětí i jeho posunutí (offset).

Generátor pracuje v kmitočtovém rozsahu zhruba 1 Hz až 100 kHz. Střída obdélníkového a pilovitého signálu je nastavitelná v rozmezí 1:10 až 10:1 (po jednom stupni). Blokové schéma je zakresleno na obr. 21. Programovatelný generátor je tvořen z těchto částí:

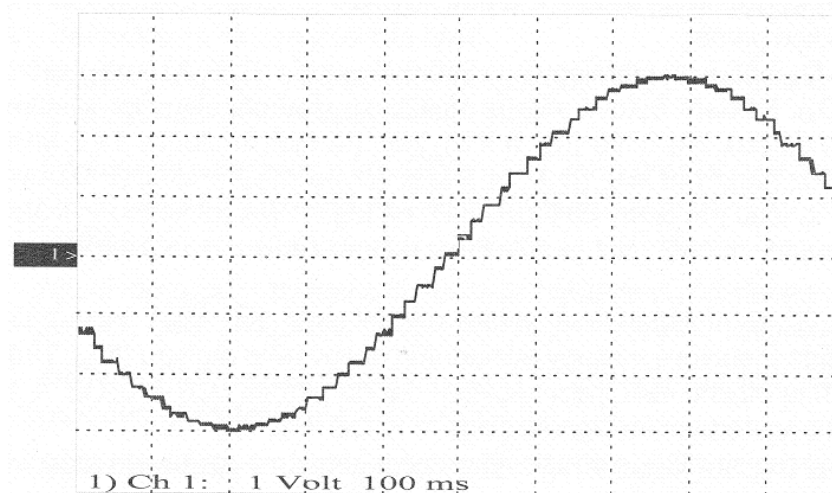
- 24bitový vstupní registr přijímá data posílána po sériové lince z počítače, je realizován třemi obvody 74HCT595,
- krystalový oscilátor s kmitočtem 14,3 MHz (krystal s tímto kmitočtem lze získat i ze starších desek sériových portů PC) je použit jako zdroj pracovního kmitočtu,
- hrubá regulace pracovního kmitočtu je zajištěna čtyřmi dekadickými děličkami ze dvou čítačů 74LS390, výběr výstupu je proveden multiplexerem 74LS151,
- pro jemnější nastavení kmitočtu je použit kmitočtový interpolátor

- generátor adres slouží pro postupné generování adres 000000 až 111111 pro dále připojenou paměť (perioda signálu obsahuje 64 vzorků). Generátor adres je tedy binární čítač.
- paměť (obvod 6116) obsahuje vzorky signálu, které jsou periodicky vyčítány a převáděny pomocí D/A převodníku na výstupní napětí. Tím dochází k vytváření předem zvoleného tvaru výstupního napětí.

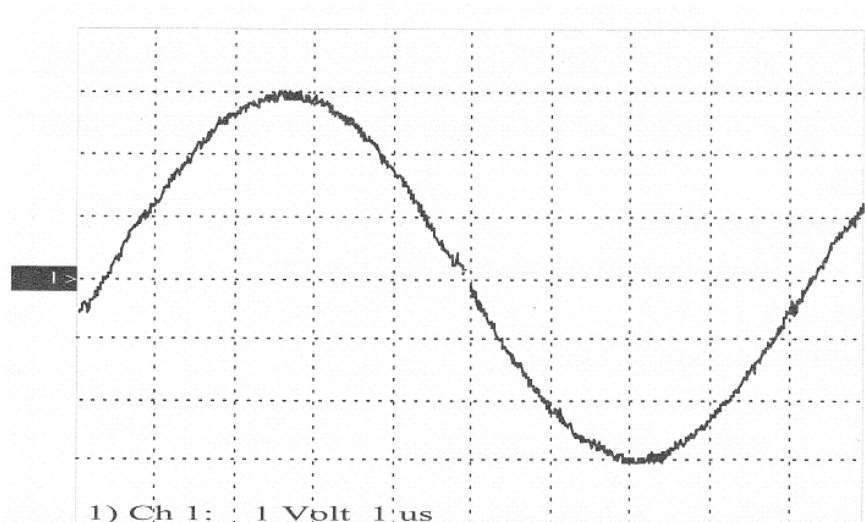


Obr. 21. Blokové schéma programovatelného generátoru do 100 kHz, převzato z [7].

Modul generátoru je napájen ze souměrného zdroje ± 12 V (postačí i ± 8 V), pro napájení číslicových obvodů je použit stabilizátor $\mu A7805$.



Obr. 22. Časový průběh sinusového výstupu pro kmitočet 0,87 Hz (minimum).



Obr. 23. Časový průběh sinusového výstupu pro kmitočet 110,85 kHz (maximum).

Obr. 22 a obr. 23 ukazují dosažené průběhy výstupu pro kmitočty 0,87 Hz (minimum) a 110,85 kHz (maximum). Na nižších kmitočtech je patrná schodovitost průběhu, kterou lze odstranit tzv. rekonstrukčním filtrem.

3 Návrh řešení generátoru

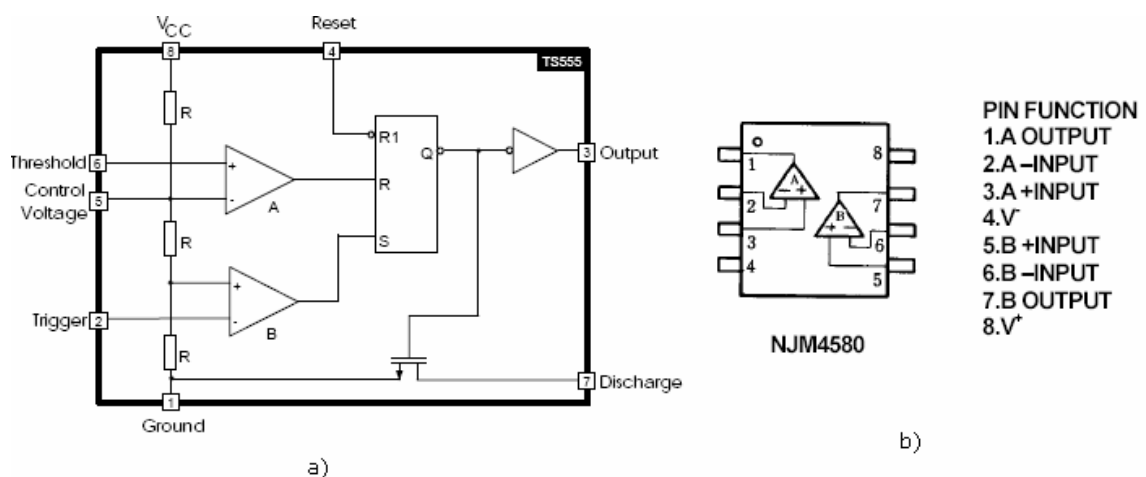
Z typů generátorů uvedených v předchozí kapitole je možné vybrat nejvhodnější model k realizaci. Při výběru typu zpracování byl kladen důraz na všechny předem stanovené cíle projektu uvedené v úvodu. Daný model bude používán především k výukovým účelům a laboratorním měřením, proto ne všechny principy činnosti obvodu musí odpovídat standardům používaným při výrobě komerčních generátorů.

Cílem práce bylo zkonstruovat generátor tvarového signálu. Tento přístroj bude používán ve spojení s osciloskopem, na kterém bude možno sledovat průběh výstupního signálu.

3.1 Schéma generátoru

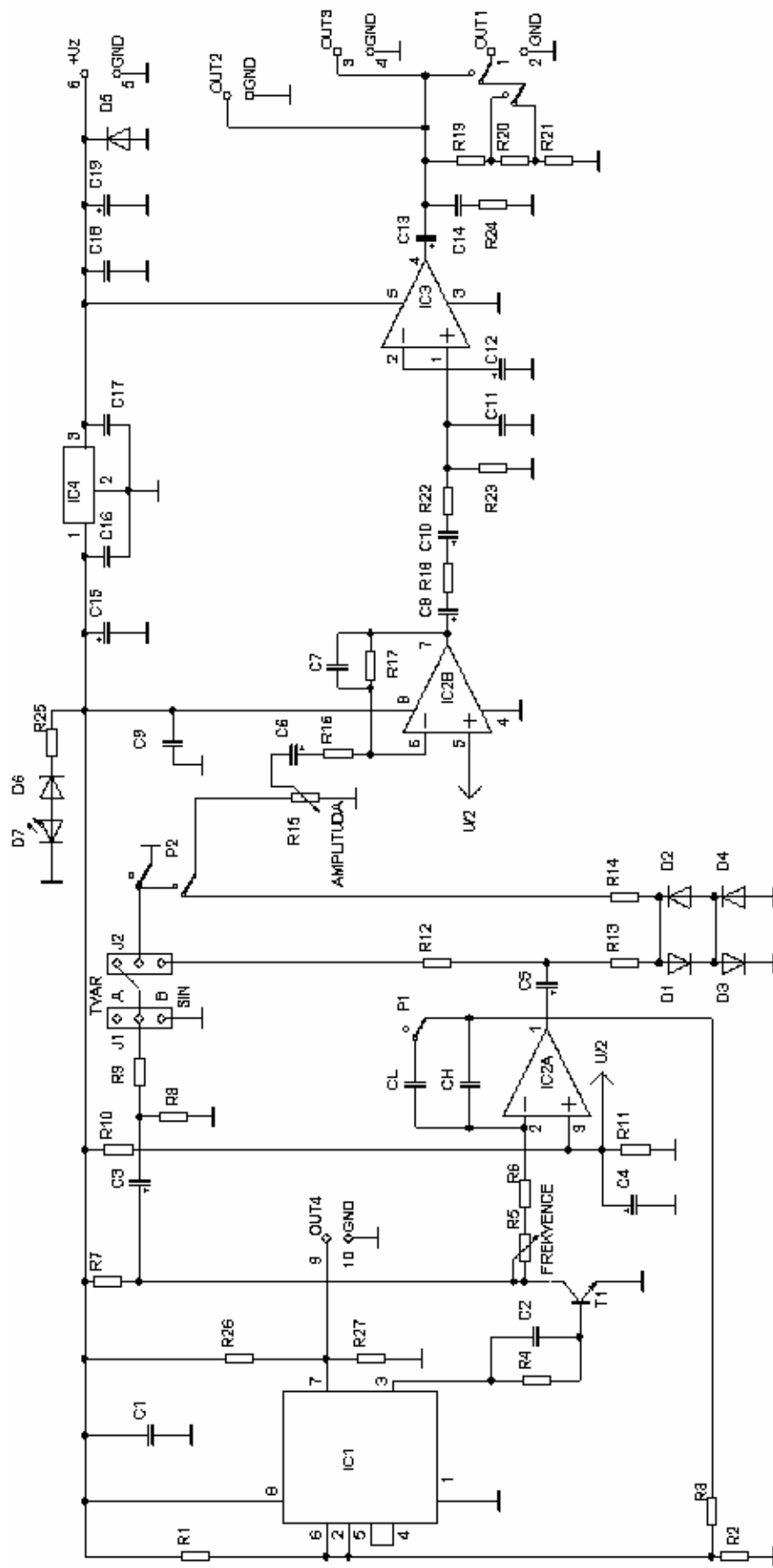
Byla splněna předem stanovená kritéria: Jednoduchost zapojení, úplná dokumentace, cenová dostupnost a rozměry skříně. Podle těchto kritérií byl zvolen nízkofrekvenční generátor tvarových kmitů s nesymetrickým napájením, viz (obr. 25). Jako základ k jeho konstrukci posloužilo schéma z [8], které bylo následně upraveno. Byl zvolen jiný koncový stupeň, přepracovaný pro účely praktika. Tento koncový stupeň tvoří výkonový zesilovač TDA2030, popis jeho vývodů je zobrazen na obrázku 26.

Mezi nejdůležitější součástky toho obvodu patří integrované obvody CMOS555 a NJM4580, které jsou blíže popsány blokovými schémata dle obrázku 24. Podle výrobce jsou vývody značeny v anglickém jazyce, protože překlad do češtiny není tak výstižný.



Obr. 24. Blokové schéma integrovaného obvodu:

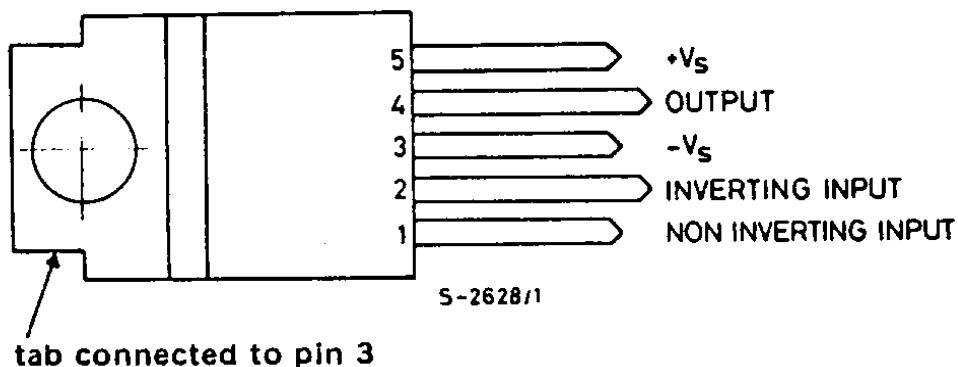
a) CMOS555, b) NJM4580, čerpáno z [9].



Obr. 25. Schéma generátoru.

3.2 Popis činnosti

Jádrem generátoru je oscilátor tvořený obvodem časovačem IC1 a operačním zesilovačem IC2A zapojeným jako integrátor. Kmitočet je ve dvou rozsazích hrubě nastavován přepínačem P1 a jemně lze nastavit potenciometrem R5. V poloze FL (z angličtiny “frequency low“) je možné kmitočet nastavit cca od 18 do 600 Hz, v poloze FH (z angličtiny “frequency high“) pak od cca 560 Hz do 18 kHz. Přesnost krajních kmitočtů je závislá na hodnotách příslušných kondenzátorů CL a CH a především R5. Obdélníkový signál je odebírán z kolektoru tranzistoru T1. Trojúhelníkový signál z výstupu IC2A je přiveden na diodový tvarovací stupeň a na rezistoru R14 je k dispozici sinusový signál s malým zkreslením. Pomocí propojek J1, J2 a přepínače P2 v poloze TVAR je na potenciometr R15 ve vhodné velikosti přiveden buď obdélníkový (J1 a J2 v poloze A) nebo trojúhelníkový signál (J1 a J2 v poloze B). Je-li P2 v poloze SIN je zvolen sinusový průběh. Velikost signálu je nastavována potenciometrem R15. Signál z jezdce je přiveden na vstup koncového stupně generátoru (IC2B). Výstup tohoto stupně je veden na vstup výkonového zesilovače tvořeného TDA2030 v základním zapojení. Z výstupu tohoto integrovaného obvodu (IC3) je možno budít (zkoušet) reproduktory. Na výstupu výkonového zesilovače je zařazen dělič 1:10 a 1:100. Pomocí přepínače P4 volíme buď maximální výstupní úroveň (pro sinusový signál je to $1 V_{ef}$) nebo úroveň 10x nebo 100x nižší, v závislosti na poloze přepínače P3. Napájecí napětí oscilátoru je stabilizováno obvodem IC4. Výstupní amplituda je konstantní v celém kmitočtovém rozsahu. Výstup OUT3 je určen pro případné připojení milivoltmetru, výstup OUT4 (pravoúhlý průběh) slouží k připojení čítače pro měření kmitočtu.



Obr. 26. Popis vývodů integrovaného obvodu TDA2030, čerpáno z [9].

Popis vývodů:

- 1 OUT1 výstup generátoru
- 2 GND zem výstupu
- 3 OUT2 výkonový výstup (pro reproduktor apod.)
- 4 GND zem výkonového výstupu
- 5 GND zem napájení
- 6 + Uz kladné napájecí napětí
- 7 OUT3 výstup pro nf milivoltmetr
- 8 GND zem nf milivoltmetru
- 9 OUT4 výstup pro čítač
- 10 GND zem čítače

3.3 Seznam použitých součástek

Rezistory:

R ₁	220 kΩ
R ₂	150 kΩ
R ₃	68 kΩ
R ₄ , R ₁₀ , R ₁₁ , R ₁₄ , R ₁₆	47 kΩ
R ₅	trimr CA9MH 500 kΩ
R ₆	13 kΩ
R ₇	1,5 kΩ
R ₈ , R ₁₂	100 kΩ
R ₉	180 kΩ
R ₁₃	10 kΩ
R ₁₅	trimr CA9MH 25 kΩ
R ₁₇	330 kΩ
R ₁₈	100 Ω
R ₁₉ , R ₂₆	4,7 kΩ
R ₂₀	470 Ω
R ₂₁	51 Ω
R ₂₂	51 kΩ
R ₂₃	22 kΩ
R ₂₄	4,7 Ω

R ₂₅	150 Ω
R ₂₇	1 kΩ

Kondenzátory:

C ₁ , C ₉ , C ₁₆ , C ₁₇ , C ₁₈	TK 100 nF
C ₂	TK 100 pF
C ₃	ELRA 22 μF/50 V
C ₄ , C ₅ , C ₈ , C ₁₂ , C ₁₅	ELRA 100 μF/16 V
C ₆	ELRA 10 μF/50 V
C ₇	TK 3,3 pF
C ₁₀	TC 1M RM5 (1 μF)
C ₁₁	TK 47 pF
C ₁₃	ELRA 1 mF/10 V
C ₁₄	TC 100 nF
C ₁₉	ELRA 1 mF/16 V
C _L	TC 47 nF
C _H	TC 1,5 nF

Diody:

D ₁ , D ₂ , D ₃ , D ₄	1N4148
D ₅	1N4007
D ₆	BZX55/4V3
D ₇	LED3R

Tranzistory:

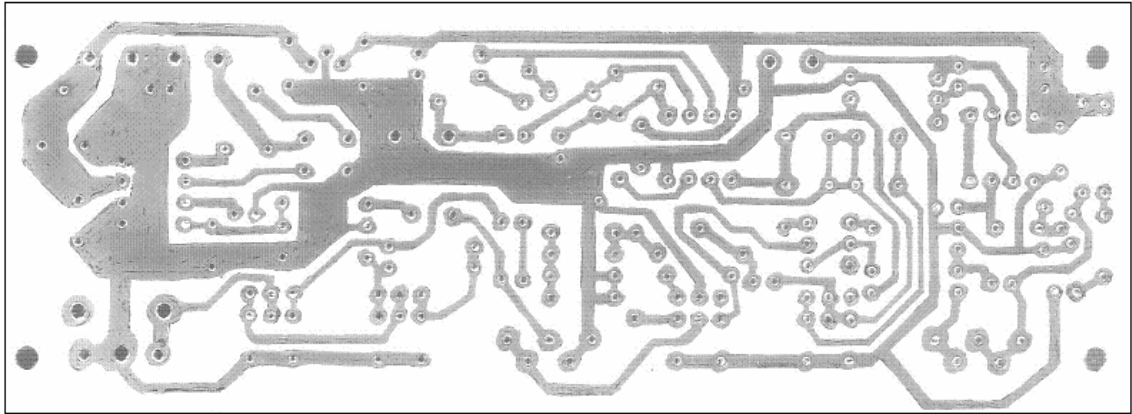
T ₁	BC546B
----------------	--------

Integrované obvody:

IC ₁	CMOS555
IC ₂	NJM4580
IC ₃	TDA2030
IC ₄	78L06

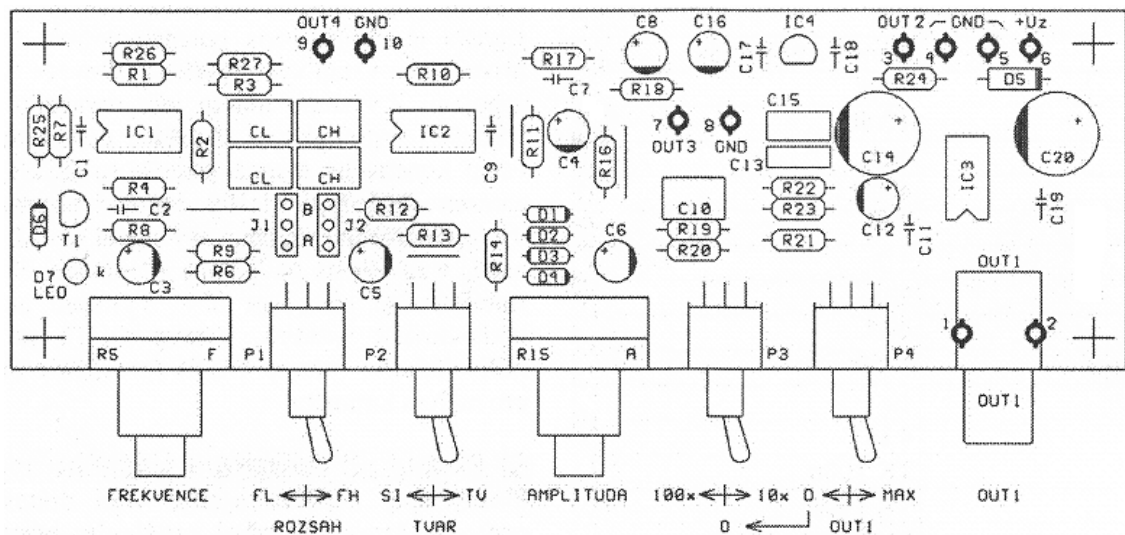
4 Praktická realizace

Podle uvedeného schématu v předchozí kapitole (obr. 25) je vytvořena deska plošného spoje, která má rozměry (135 x 50) mm. Viz pohled na obr. 27 a obr. 28. Na kuprextitovou desku byly nakresleny lihovým popisovačem cesty mezi součástkami podle schéma zapojení (obr. 27). Deska byla následně vyleptána v chloridu a ošetřena lakem na plošné spoje, aby měděné cesty nezoxidovali.



Obr. 27. Deska plošného spoje, pohled ze strany spojů.

Pro lepší přehled desky plošného spoje je zde (obr.28) zobrazeno rozmístění součástek na desce plošného spoje.



Obr. 28. Rozmístění součástek na plošném spoji.

4.1 Napájení obvodu

Generátor je možné napájet 9 až 12 V. Jako zdroj 9 V připadá v úvahu baterie, ale ta sebou nese jisté nedostatky. Baterie se rychle vybíjí a to i v klidovém stavu, proto by byla nutná její častá výměna. Další možnost je zabudovat do skříně transformátor, ale je to příliš drahá investice a generátor by měl zbytečně velkou hmotnost. Dále je také možné obvod napájet stabilizovaným zdrojem. Ale kdybychom měli na pracovním stole více měřených nebo měřících přístrojů, které by se musely také napájet stabilizovaným zdrojem, tak bychom museli mít zdrojů více, což se zdá zbytečné a navíc bychom zabírali moc místa. Z těchto uvedených důvodů se zdá jako nejlepší východisko napájet generátor síťovým adaptérem na 9 nebo 12 V. Z finančního hlediska je to přijatelná varianta, protože adaptér se dá pořídit zhruba do 250 Kč. A navíc u této varianty nehrozí přepólování a tudíž i k případnému zničení obvodu.

4.2 Skříň generátoru

Jako skříň generátoru je zde použita plastová krabička, protože se s ní dá lépe pracovat než například s plechovou. Aby skříň nebyla příliš velká ani moc malá a aby se do ní dal uložit samotný generátor, tak jsou voleny rozměry (138 x 59 x 159) mm.

Na obrázku 29 na předním panelu můžeme vidět potenciometry na změnu frekvence (R5) a změnu amplitudy (R15) daného signálu. Dále jsou zde umístěny čtyři přepínače, zleva P1 až P4, které jsou blíže popsány v předchozí kapitole. Jsou zde umístěny zdíčky pro výstupní tvarový signál generátoru (OUT 1). Na levém boku jsou dole zdíčky na milivoltmetr (OUT 3) a nad nimi zdíčky na čítač (OUT 4).

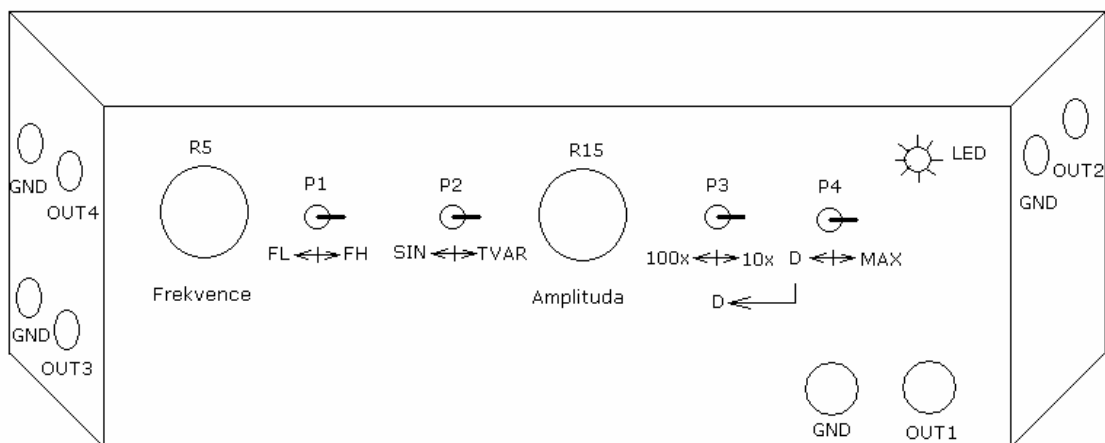
Na obrázku 30 je na zadním panelu umístěna zdíčka na síťový adaptér, vedle je pak pouzdro na pojistku a přepínač mezi stavy vypnuto a zapnuto. Z boku jsou vidět zdíčky výkonového výstupu (OUT 2) na zkoušení reproduktorů apod.



Obr. 29. Generátor, přední strana a levý bok.



Obr. 30. Generátor, pohled ze zadní strany a pravý bok.



Obr. 31. Schematický pohled na přední panel a boční stěny generátoru.

Popis zdířek a přepínačů podle obrázku 31:

Potenciometrem R5 měníme frekvenci výstupního signálu.

Potenciometrem R15 nastavujeme amplitudu výstupního signálu.

Přepínač P1 slouží ke změně rozsahu frekvence ve dvou polohách. FL (z angličtiny “frequency low“), v této poloze lze nastavit frekvenci výstupního signálu od 18 Hz do 600 Hz. V druhé poloze FH (z angličtiny “frequency high“) lze nastavit frekvenci výstupního signálu od 560 Hz do 18 kHz.

Přepínač P2 slouží k přepínání tvaru signálu. Sinusový signál je v poloze SIN a tvarový signál je v poloze TVAR.

Přepínačem P4 volíme mezi maximální hodnotou výstupního signálu a mezi připojením na dělič. Dělič je ovládán přepínačem P3 a to mezi stavy 1:10 nebo 1:100.

Generátor z výstupu OUT1 generuje sinusový, obdélníkový a trojúhelníkový signál.

Na výstupu OUT2 je možno zkoušet (budit) reproduktory.

Na výstup OUT3 se připojuje nízkofrekvenční milivoltmetr.

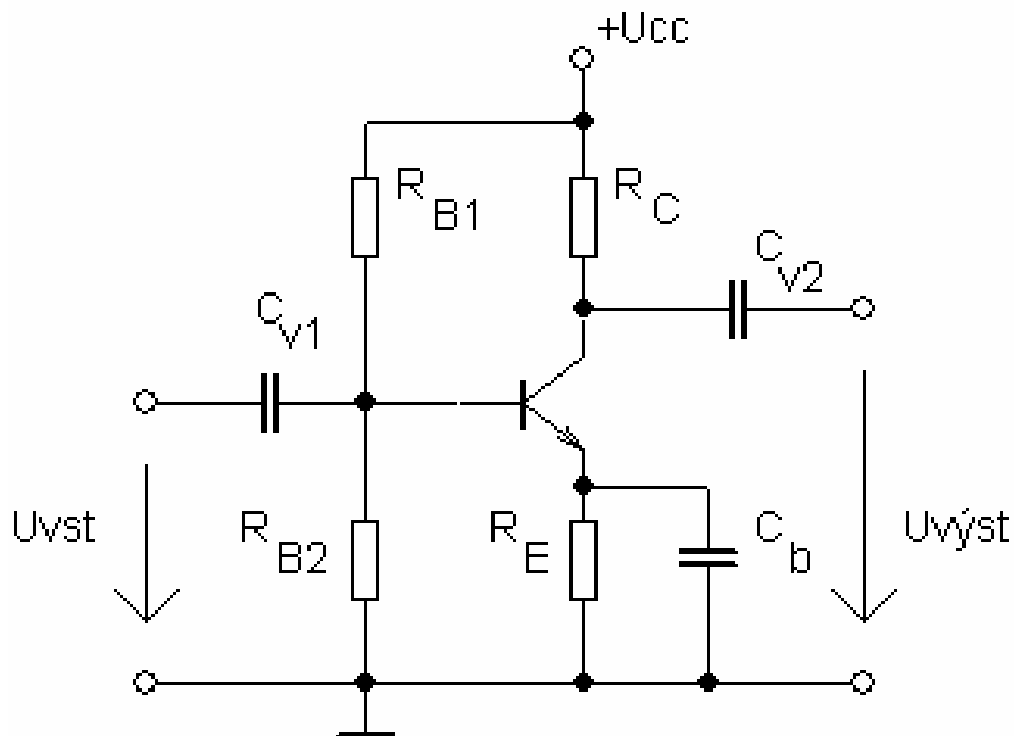
Na výstup OUT4 se připojuje čítač.

5. Začlenění generátoru do laboratorní úlohy

Vyvinutý generátor tvarového signálu posloužil pro měření přenosové frekvenční charakteristiky tranzistorového zesilovacího stupně. Příklady úloh můžeme najít například v [10].

5.1. Tranzistorový zesilovač

Jako laboratorní úloha bylo vybráno měření amplitudové frekvenční charakteristiky jednoduchého tranzistorového zesilovacího stupně v zapojení se společným emitorem (obr. 32).



Obr. 32. Zapojení se společným emitorem, převzato z [11].

Toto zapojení se vyznačuje typicky těmito vlastnostmi:

vstupní odpor – relativně malý

výstupní odpor- malý

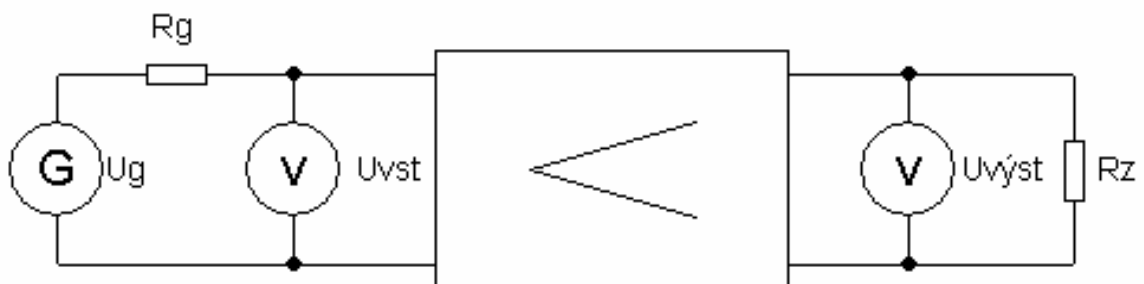
napěťové zesílení- velké

proudové zesílení – velké

Uvedený zesilovací stupeň má vzhledem k vstupní vazební kapacitě C_{V1} , výstupní vazební kapacitě C_{V2} a kapacitě v emitorovém obvodu C_b nelineární amplitudové frekvenční charakteristiky. Tato charakteristika, respektive šíře přenášeného frekvenčního pásma je též ovlivněna použitým tranzistorem.

Na obr. 33 je uvedeno zapojení k měření parametrů nízkofrekvenčního zesilovače jako celku. Tónový generátor s napětím U_g je přes svůj vnitřní odpor R_g připojen na vstup zesilovače, kde se měří jeho vstupní napětí U_{vst} . Výstup zesilovače je zatížen zátěží R_z a je na ní měřeno výstupní napětí $U_{výst}$.

U nízkofrekvenčních zesilovačů měříme zejména zesílení, kmitočtovou charakteristiku, vstupní a výstupní odpor a zkreslení. Napěťové zesílení A_u při jistém kmitočtu f je dáno poměrem výstupního napětí $U_{výst}$ ku vstupnímu napětí U_{vst} . Kmitočtová charakteristika udává napěťové zesílení v pásmu vybraných kmitočtů. Výkonové zesílení se určí jako poměr výstupního výkonu ke vstupnímu výkonu.



Obr. 33. Měření nízkofrekvenčního zesilovače, převzato z [4].

Vstupní odpor R_{vst} se určí pomocí odporu R , zařazeného do série s generátorem a vstupem zesilovače. Je-li napětí před odporem U a za odporem na vstupu zesilovače U_{vst} , je vstupní odpor dán vztahem

$$R_{vst} = \frac{R U_{vst}}{U - U_{vst}}, \text{ dle [4].} \quad (11)$$

Výstupní neboli vnitřní odpor zesilovače R_i se určí z velikosti výstupního napětí bez zátěže U_0 a se zátěží $U_{výst}$ podle vztahu (12).

$$R_i = \frac{R_z (U_0 - U_{výst})}{U_{výst}}, \text{ převzato z [4].} \quad (12)$$

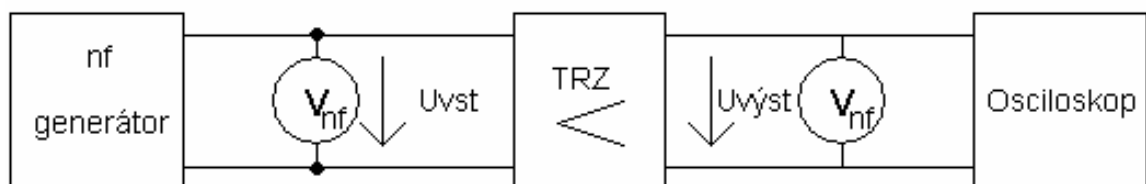
K realizaci laboratorní úlohy potřebujeme:

- výše popsany zesilovač viz obr. 32
- nízkofrekvenční generátor realizovaný v této práci
- stabilizovaný zdroj
- dvoukanálový osciloskop
- nízkofrekvenční voltmetry

Postup měření amplitudové frekvenční charakteristiky:

Amplitudová frekvenční charakteristika bude měřena například v pásmu 10 Hz – 20 kHz. Tuto charakteristiku je možné měřit přímo pomocí nízkofrekvenčního generátoru a dvou voltmetrů. Zapojení je znázorněno na obr. 34. Nejčastěji používanou charakteristikou je amplitudové zkreslení. Vypočte se

$$A(f) = 20 \log \left(\frac{U_{výst}}{U_{výst}(1kHz)} \right) \text{ [dB], převzato z [1].} \quad (13)$$



Obr. 34. Měření amplitudové frekvenční charakteristiky.

6 Závěr a dosažené parametry

Úkolem této práce bylo zkonstruovat a realizovat generátor tvarového signálu. Uvedený generátor se podařilo sestrojít podle předem stanovených cílů s ohledem na maximální jednoduchost a minimální pořizovací náklady. Tento generátor se bude používat ve fyzikálním praktiku z elektroniky na pedagogické fakultě v Českých Budějovicích.

Dosažené parametry

Činnost generátoru byla měřena na osciloskopu. Kmitočtový rozsah přístroje je přibližně 18 Hz až 18 kHz nastavitelný ve dvou rozsazích:

- | | |
|---------------------------------------|------------------|
| 1) FL (z angličtiny “frequency low”) | 18 Hz až 600 Hz |
| 2) FH (z angličtiny “frequency high”) | 560 Hz až 18 kHz |

Napájecí napětí U_z	9 V
Klidový odběr I_0	15 mA
Tvar výstupního signálu.....	sinus, obdélník, trojúhelník
Maximální úroveň výstupního signálu (sinus).....	1000 mV _{ef}
Zkreslení ($f = 1$ kHz, sinus).....	cca 0,5 %
Výstupní dělič.....	1:1 (1000 mV _{ef} , sinus) 1:10 (100 mV _{ef} , sinus) 1:100 (10 mV _{ef} , sinus)
Nastavení výstupního signálu.....	1. rozsah (0 až 1000 mV _{ef} , sinus) 2. rozsah (0 až 100 mV _{ef} , sinus) 3. rozsah (0 až 10 mV _{ef} , sinus)
Minimální zatěžovací impedance koncového stupně.....	4 Ω
Výstupní výkon P_0 ($R_L = 4$ Ω , $U_z = 9$ V, sinus).....	1 W

7 Seznam použité literatury

- [1] Bezděk, M.: Elektronika 1, České Budějovice, KOPP, 2002, 1. vydání.
- [2] Rauner, K.: Elektronika (fyzikální a analogová část), Plzeň, Vydavatelství Západočeské univerzity v Plzni, 2001, 2. upravené vydání.
- [3] Kluvanec, D., Vozár, L.: Elektronika a výpočtová technika, Nitra, Pedagogická fakulta v Nitre, 1991.
- [4] Syrovátko, M., Černocho, B.: Zapojení s integrovanými obvody, Praha, SNTL, 1984.
- [5] Matyáš, V.: Elektronické měřicí přístroje, Praha, SNTL, 1981.
- [6] Arendáš, M., Ručka, M.: Elektronické zapojenia pre amatérov 1, Bratislava, ALFA, 1990.
- [7] Matoušek, D.: Udělej si z PC – generátor, čítač, převodník, programátor... Měření, řízení a regulace pomocí sériového portu PC a sběrnice I²C, Praha, BEN, 2002
- [8] Elektronika Zdeněk Krčmář [online]. [cit. 21.2.2008] Dostupné z <<http://www.ezk.cz>> .
- [9] Katalogové listy elektronických součástek [online]. Dostupné z <<http://www.datasheetlocator.com>> a <<http://www.datasheetarchive.com>> .
- [10] Elektrotechnická měření, Praha, BEN, 2002.
- [11] Vobecký, J., Záhlava, V.: Elektronika – Součástky a obvody, principy a příklady, Grada, 2002