

# **Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

Pedagogická fakulta – Katedra fyziky

## **Konstrukce a realizace generátoru funkcí a jeho aplikace**

Bakalářská práce

Autor: Chaloupek Pavel

Vedoucí práce: doc.PaedDr. Petr Adámek PhD.

## **Anotace**

Bakalářská práce se zabývá problematikou generátorů tvarových signálů. Je popsán princip generátoru tvarového signálu po obvodové stránce z hlediska principu a tvaru tvoření tvarového signálu, jeho generování a případné užití. Dále je vytvořen návrh obvodového řešení realizovaného generátoru a následně je provedena praktická realizace generátorů tvarového signálu, jejich stavba, oživení, nastavení a změření výstupních parametrů. Na závěr je uvedeno užití realizovaného generátoru v navržené laboratorní úloze a aplikace úlohy včetně zadání a vyřešení aplikační laboratorní úlohy pro žáky středních škol.

## **Abstract**

This work contains problems of generators of a waveform signal. There is described a principle of a generator of a waveform signal, its circuits, its principle, a signal shaping, and its eventual utilization. Then there is created a design of a circuit of a realized generator and subsequently a practical realization of the generator of a waveform signal, its construction, its activation, its setting up and a measuring of output parameters. In conclusion there is mentioned an utilization of the realized generator in a laboratory work and an application of this work including a setting and a resolution of the laboratory work for pupils of secondary schools.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem 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 pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích ..... 20.. .....

Chaloupek Pavel

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu práce doc.PaedDr.Petr Adámek PhD za cenné připomínky při realizaci práce.

## Obsah

Úvod a cíle práce	6
<b>1 Principy generátorů tvarového signálu</b>	<b>7</b>
1.1 Princip řešení generátorů tvarových signálů	7
1.2 Základní obvodové zapojení analogových generátorů tvarových signálů	8
1.3 Obvodové řešení číslicových generátorů tvarových signálů	11
1.4 Generátory libovolných průběhů	12
1.5 Generátory využívající přímé digitální syntézy	12
<b>2 Návrh řešení a konstrukce generátoru pomocí klasické analogové techniky</b>	<b>13</b>
2.1 Operační zesilovač bez zpětné vazby (komparátor)	14
2.2 Integrátor	14
2.3 Generátor funkcí (generátor tvarového signálu)	15
2.4 Konstrukce generátoru s monolitickým integrovaným obvodem XR2206	16
2.5 Doporučené zapojení použité jako základ pro realizovaný generátor	19
<b>3 Praktická realizace generátoru, ověření jeho funkce</b>	<b>20</b>
3.1 Popis funkce generátoru	20
3.2 Popis realizace generátoru	21
3.3 Nastavení a oživení generátoru	26
<b>4 Naměřené výsledky výstupu generátoru pomocí digitálního osciloskopu</b>	<b>26</b>
<b>5 Aplikace generátoru při realizaci laboratorní úlohy, vypracování návodu k aplikační úloze</b>	<b>29</b>
5.1 Laboratorní úloha: dvoustupňový nízkofrekvenční zesilovač	29
<b>6 Závěr</b>	<b>47</b>
<b>7 Seznam použité literatury</b>	<b>48</b>
Přílohy	49

## Úvod a cíle práce

1. Bakalářská práce se zabývá problematikou generátorů tvarových signálů. Tuto úlohu jsem si vybral z důvodu potřeby zařízení pro oživení a měření na elektronických zařízeních v rámci praktického vyučování na středních školách, z účelem pochopení funkce obvodů a měření celků.
2. Cíle práce
  - a) popsat všeobecné principy generátorů tvarového signálu
  - b) zvolit vhodný princip a typ generátoru
  - c) na základě zvoleného návrhu zkonstruovat a postavit na základě dostupných materiálů generátor tvarových signálů

Hlavním cílem práce je aplikovat generátor do praktické výuky žáků a to: navržením konkrétní úlohy s aplikací generátoru v měření parametrů nízkofrekvenčního zesilovače pro žáky odborných škol.

# 1 PRINCIPY GENERÁTORŮ TVAROVÉHO SIGNÁLU

Generátory tvarových signálů [1,2] se řadí mezi základní elektronické přístroje užívané při měření a vývoji el. aplikací již řadu let a jsou konstruovány ze speciálních integrovaných obvodů. Nejnovější řešení je pomocí mikroprocesorů [2].

Též je můžeme nazvat generátory funkcí produkujících signály různých tvarů (průběhů) a slouží k měření a porovnávání různých vlastností elektronických zařízení. Například u nízkofrekvenčních zesilovačů, lze jimi posuzovat zkreslení i zpoždění jednotlivých stereofonních kanálů, u logických obvodů lze zjišťovat jejich chování při různém tvaru vstupního impulsu, a tedy schopnost takové průběhy zpracovávat.

Výstupní průběhy mají tvar pravoúhlý, trojúhelníkový i sinusový, a je možno je plynule i skokem měnit s ohledem na periodu i střihu signálu. Samozřejmě výstupní úroveň lze také regulovat.

## 1.1 Princip řešení generátorů tvarových signálů

V generátorech tvarových signálů [1, 3, 4] se sinusový průběh získává obvykle tvarováním trojúhelníkového průběhu. Sinusový průběh není tedy základním generovaným průběhem, ale vytvořeným převodníkem je tvarován do sinusového průběhu. V základním generátoru jsou generovány trojúhelník a obdélník. V případě, že budeme řešit generátor pomocí klasického oscilátoru [5], je skoro nemožné udržet stabilitu amplitudy a celkovou stabilitu oscilátoru zvláště na nízkých kmitočtech. U generátorů tvarových signálů se tyto problémy nevyskytují. Skutečné základní provedení se dá realizovat pomocí několika základních součástek a případně specializovaným monolitickým generátorem, s kterým jsou zaklaní tvary generovány bez problémů. Frekvence se dá jednoduše řídit pomocí vnějšího napětí, případně proudu a společně s připojenou kapacitou, jejíž změnou se mění frekvenční rozsahy. Generátor lze i vnějším napětím rozmítat případně modulovat [1, 5].

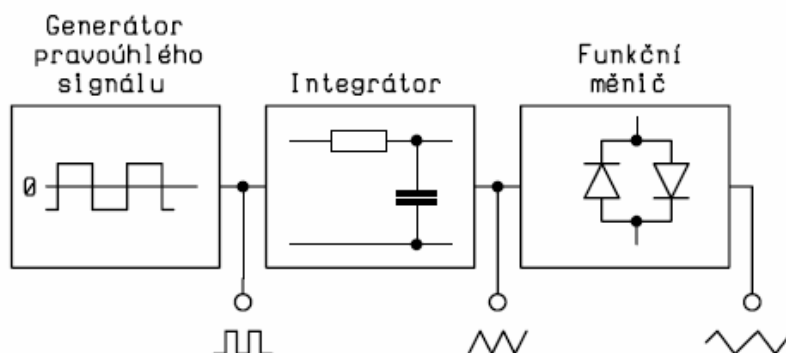
Původní klasické obvodové řešení vycházelo ze zapojení [1, 4] s operačními zesilovači, kde první stupeň generoval pravoúhlý průběh na výstupu operačního zesilovače a pilovitý průběh na časovacím kondenzátoru nabíjeném i vybíjeném konstantním proudem na vstupu operačního zesilovače. Sinusový výstupní signál byl získáván symetrickým postupně odstupňovaným omezovačem s diodami, který pilovitý průběh tvaroval. Z tohoto řešení jasně vyplývá nespojitost (lomenost) signálu, a tedy i jeho tvarové zkreslení. Proto nelze tímto „sinusovým“ signálem například měřit tvarové zkreslení nízkofrekvenčních zesilovačů.

Následně jsou tvarové průběhy zesíleny koncovým výkonovým stupněm na úroveň definovanou výstupními parametry generátoru. Tato úroveň bývá vysoká proto, aby bylo možno vybudit i vstupy logických obvodů.

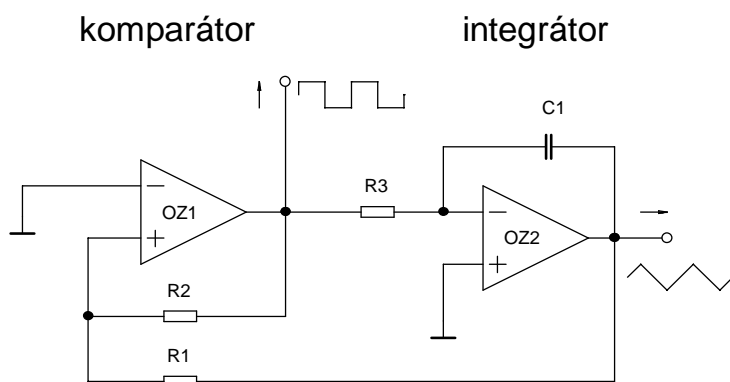
Zakladní vlastnosti, které má splňovat generátor tvarových signálů, časová teplotní stálost amplitudy a kmitočtu, linearita a harmonické skreslení.

## 1.2 Základní obvodové zapojení analogových generátorů tvarových signálů

Na následujícím obrázku č.1 je zobrazeno základní principiální blokové schéma [1, 3, 6] generátoru, které ukazuje vzájemnou funkční propojenost jednotlivých bloků. Blokové schéma je rozvedeno do několika řešení. Na obr. č. 2 je uvedeno základní obvodové řešení s použitím komparátoru a integrátoru s operačními zesilovači. Na obrázku č. 3 je řešení s užitím pasivního integrátoru (použito ICL8038), které je konkretizováno na obr. Č .4, kde je doplněno o tvarovač trojúhelník sinus.

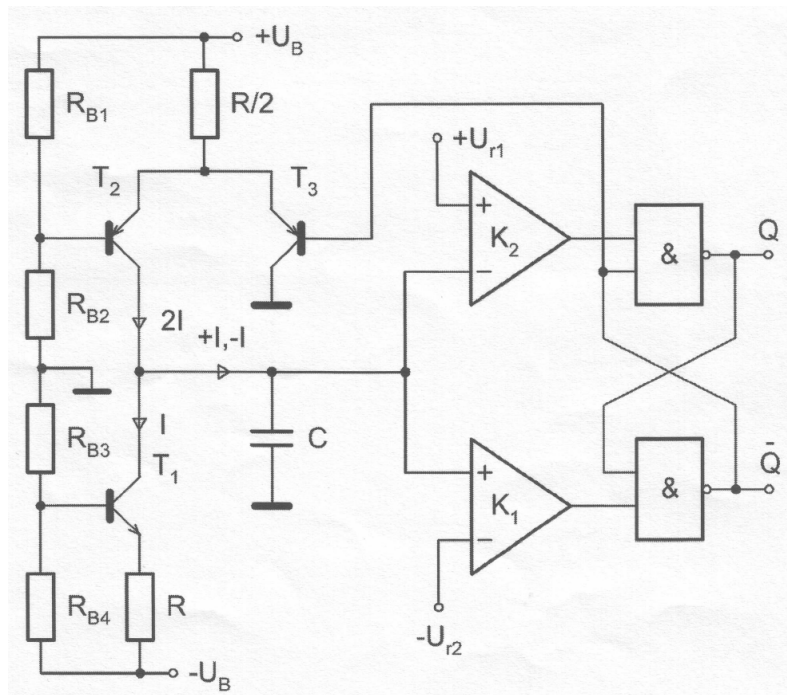


Obr. č. 1 Základní principiální blokové schéma generátoru tvarových signálů [6]

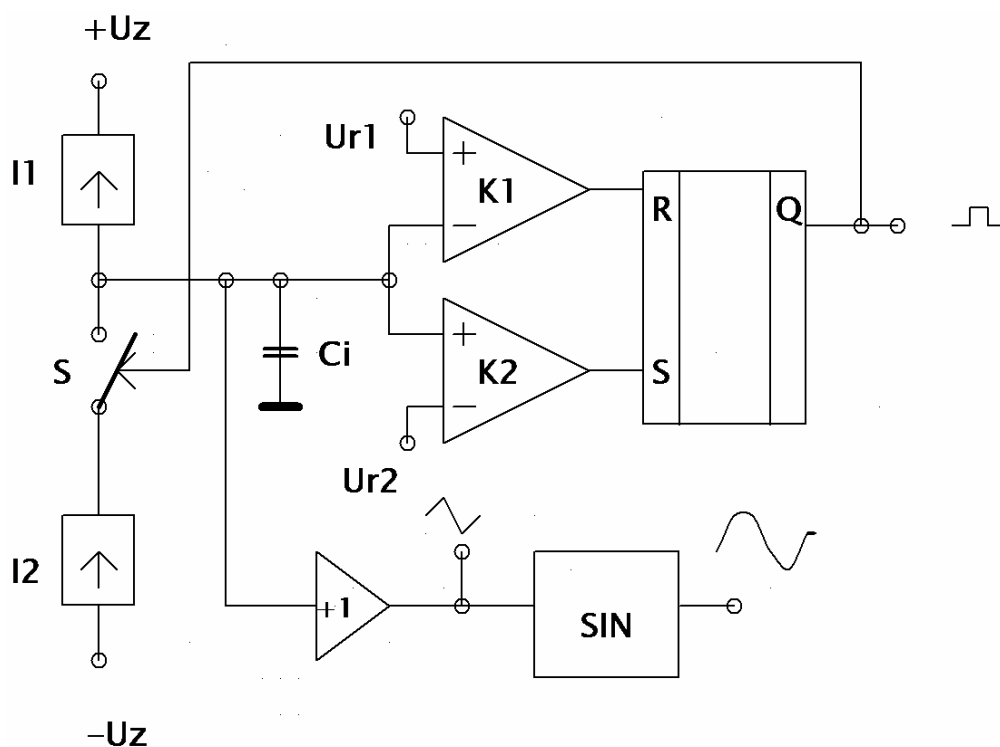


Obr. č. 2 Základní obvodové řešení analogového generátoru složené s integrátorem a komparátorem [3]





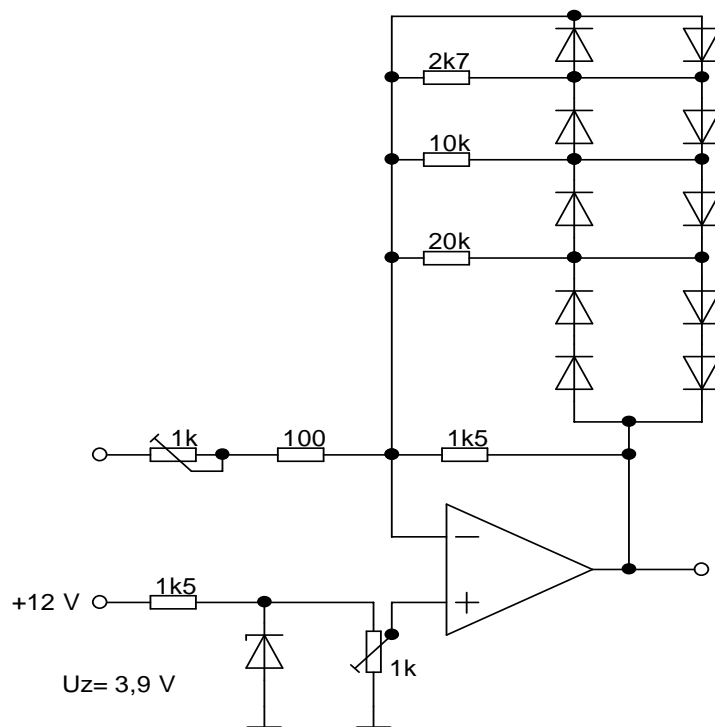
Obr. č. 3 Obvodové řešení generátoru s pasivním integrátorem, [7]



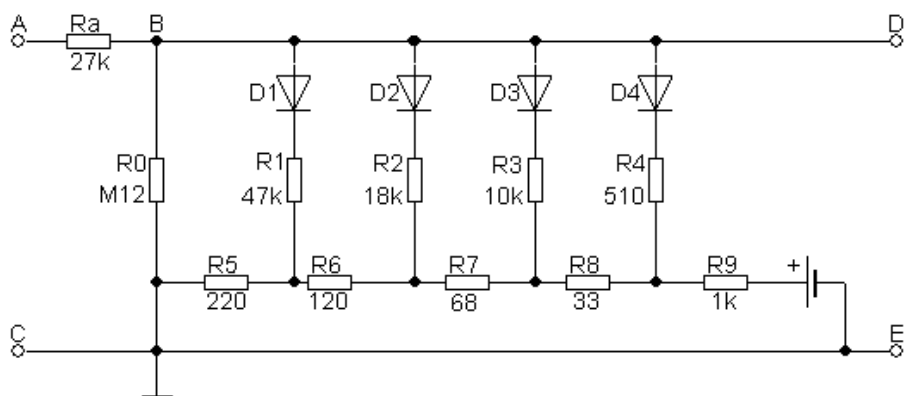
Obr.č. 4 Obvodové řešení generátoru sinusového, trojúhelníkového a obdélníkového základní blokové zapojení [7]

Tvarování signálu [1] z trojúhelníkového na sinusový signál je tvořeno aproximačním měničem zobrazeném na obr. č. 5. Trojúhelníkový signál na sinusový můžeme použít

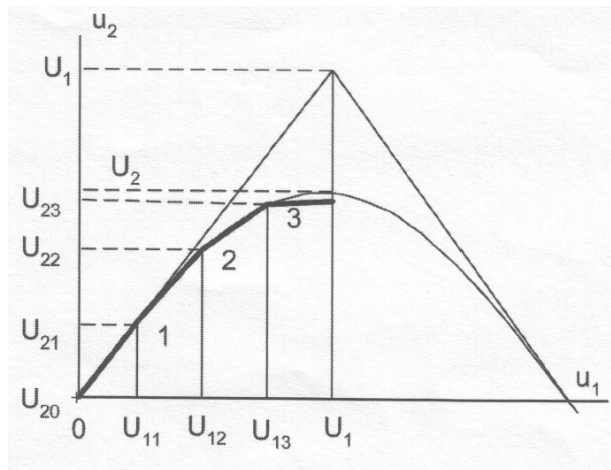
tvárovací s pasivní diodovou sítí viz obr. č. 6, který má tu výhodu, že je frekvenčně nezávislý, ale potřebuje podstatně větší amplitudu než tvarovače, kde je diodová síť zapojena ve zpětné vazbě operačního zesilovače. Tento způsob generování sinusového napětí má jednu velkou výhodu, že je jím možno generovat signály o velmi nízkých frekvencích. Vlastní průběh tvarování signálu jen zobrazen na obr. č. 7.



Obr.č. 5 Tvarovač trojúhelníkového signálu na sinusový[1]



Obr. č. 6 Tvarovač trojúhelník sinus –pasivní[1]



Obr. č. 7 Průběh tvarování převodu trojúhelníkového signálu na sinusový [1]

### 1.3 Obvodové řešení číslicových generátorů tvarových signálů

Moderní řešení takového generátoru [7] je podstatně jednodušší, protože jeden speciální integrovaný obvod zvládá vše v jednom a potřebuje jen minimální počet vnějších součástek. Tím vzniká prostor pro dokonalejší obslužné funkce jako jsou digitální měření kmitočtu na výstupu generátoru apod.

Nejnovější řešení je pomocí mikroprocesorů [2], a zde jsou možnosti téměř neomezené a záleží jen na softwarovém vybavení, jak je dokonalý a co nabídne uživateli. Z výše uvedeného vyplývá důležitost logických obvodů a zvláště pak mikroprocesorů pro vývoj měřicí techniky.

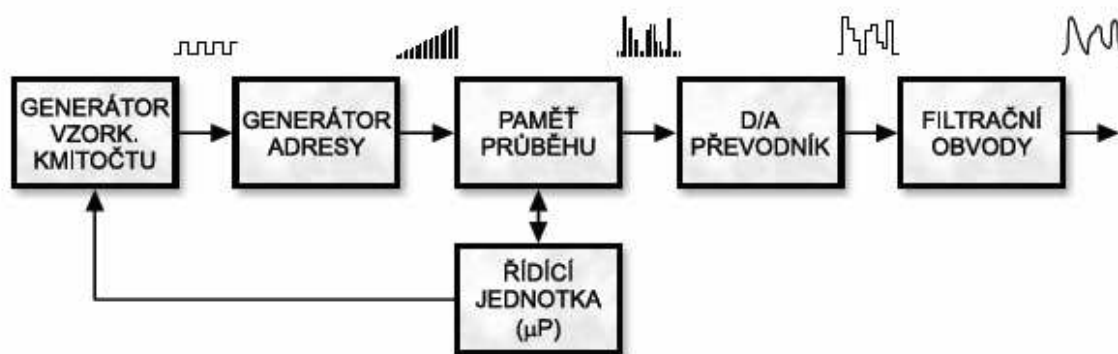
Dnes jsou generátory schopny provozu v širokých rozsazích kmitočtu, různých [2] výstupních úrovních, generování mnoha různých průběhů, speciálních impulsních a jejich modulací, generátory mají uživatelské rozhraní pro ovládání přes počítač. V neposlední řadě jsou schopné generování zcela libovolných průběhů [2]. Nová generace digitální techniky již převyšuje produkci analogových generátorů. Ty jsou ještě stále vyráběny, ale jejich produkce značně klesá. Pomocí digitální syntézy lze vytvářet kmitočty harmonických signálů překračující hranici 1 GHz s velkou stabilitou a přesností, které by analogovými obvody nebylo možno za rozumnou cenu dosáhnout. Dnešním trendem je měření využívající softwarového vybavení PC a společně s širokými možnostmi připojení s okolními periferiemi po sběrnicích (GPIB1, LAN, USB–RS232 a USB host). Obsluha a vyhodnocování podporují všechny standardní i nahodilé funkce i neharmonického charakteru. Možnosti naprogramování dávají generátorům možnosti aplikací v oblastech mimo elektroniku, kde s pomocí výkonových stupňů a měničů slouží k různým dynamickým zkouškám těles a výrobků (mostní tělesa, nosníky, letadla, letecké draky).

Moderní digitální signálové generátory dělíme na dvě základní skupiny: generátory libovolných průběhů a generátory využívající přímé digitální syntézy.

## 1.4 Generátory libovolných průběhů

AWG generátory [2] jsou založeny na architektuře proměnného oscilátoru.

Průběh signálu je uložen v rychlé paměti generátoru a zabírá přesně stanovený počet paměťových míst (slov). S každým hodinovým taktém se z paměti přečte jeden vzorek, projde D/A převodníkem a na jeho výstupu odpovídající napěťová hodnota. Počet vzorků odpovídá tvaru signálu a je v paměti konečný, nabízí se pouze jediná možnost, provést změnu výstupního kmitočtu signálu, toto se provádí změnou hodinového kmitočtu. Za podmínky, že obsah paměti reprezentuje pouze jednu periodu průběhu, frekvence výstupního signálu pak závisí na vnitřním hodinovém taktu a na počtu vzorků uložených v paměti. Tvar signálu pak odpovídá průběhu uloženého v paměti, který může mít jakýkoliv průběh. Blokové provedení uvedeného generátoru je uvedeno na obr. č. 8.

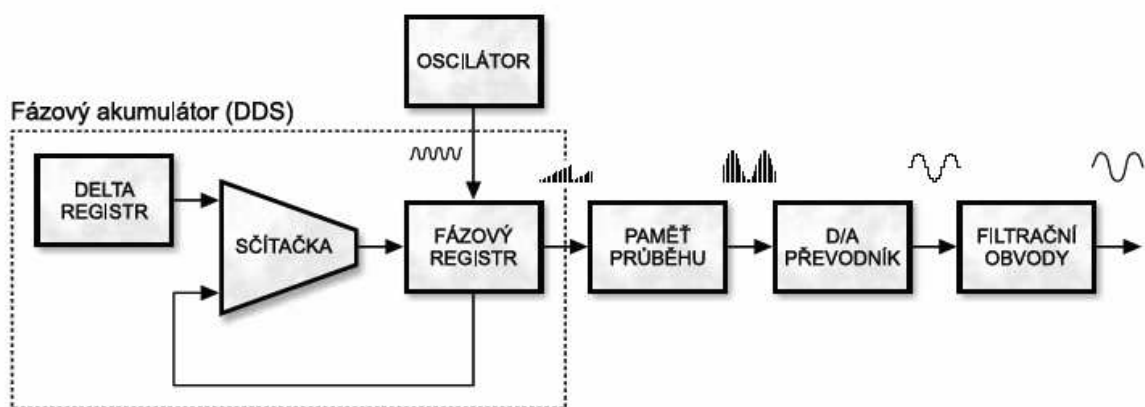


Obr. č. 8 Blokové schéma generátoru libovolných průběhů – AWG [2]

## 1.5 Generátory využívající přímé digitální syntézy

Základem AFG generátoru [2] je generování signálu pomocí digitální syntézy - DDS (Direct Digital Synthesis) pracující na principu fázového akumulátoru. AFG tvoří průběhy (funkcí i libovolné) čtením obsahu vnitřní paměti, jak je u generátoru libovolného průběhu AWG. Změna výstupního kmitočtu pomocí proměnného kroku fáze skrz fázový akumulátor, který rozhoduje, jaké vzorky budou načítány z paměti průběhu. Toto probíhá při pevném hodinovém kmitočtu a při neměnném obsahu paměti průběhu. Základními bloky jsou delta

regitr, sčítačka a fázový registr. Delta registr udává velikost inkrementu fáze a fázový registr informaci o aktuální poloze (fázi) probíhajícího signálu. Velikost delta registru u posledních typů DDS syntezátoru dosahuje hloubky až 32 b, což umožňuje velmi jemné ladění frekvence. Sčítačka pak provádí samotnou inkrementaci fáze o hodnotu, která je uložena právě v delta registru. Blokové provedení uvedeného generátoru je uvedeno na obr. č. 9.



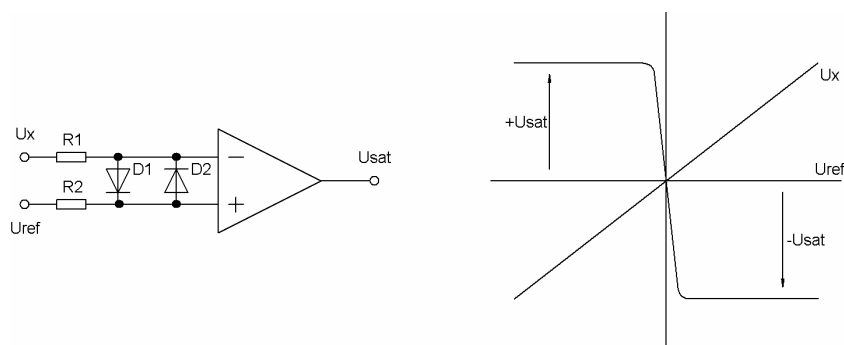
Obr.č. 9 Blokové schéma funkčního generátoru s přímou digitální syntézou [2]

## 2 NÁVRH ŘEŠENÍ A KONSTRUKCE GENERÁTORU POMOCÍ KLASICKÉ ANALOGOVÉ TECHNIKY

Nízkofrekvenční generátor tvarových kmitů slouží jako signální generátor pro ověření a oživení funkce zařízení nízkofrekvenční techniky, číslicové techniky a generátor kmitů pro další funkční zařízení. Skládá se z následujících dílčích obvodů, jejichž vzájemným propojením vzniká jednoduchý generátor tvarového signálu. Generátor se skládá z následně uvedených dílčích obvodů, které po vzájemném propojení vytvoří generátor tvarových kmitů, sestavený z operačních zesilovačů. Signál z generátoru trojúhelníku vytvarujeme do sinusového průběhu. Po doplnění výkonovým zesilovačem je takto možno realizovat generátory tvarových signálů.

## 2.1 Operační zesilovač bez zpětné vazby (komparátor)

Základním blokem analogových generátorů [3] je operační zesilovač zapojený jako komparátor, zapojení a funkce je uvedeno na obr. č. 10. Dále je popsána jeho funkce.



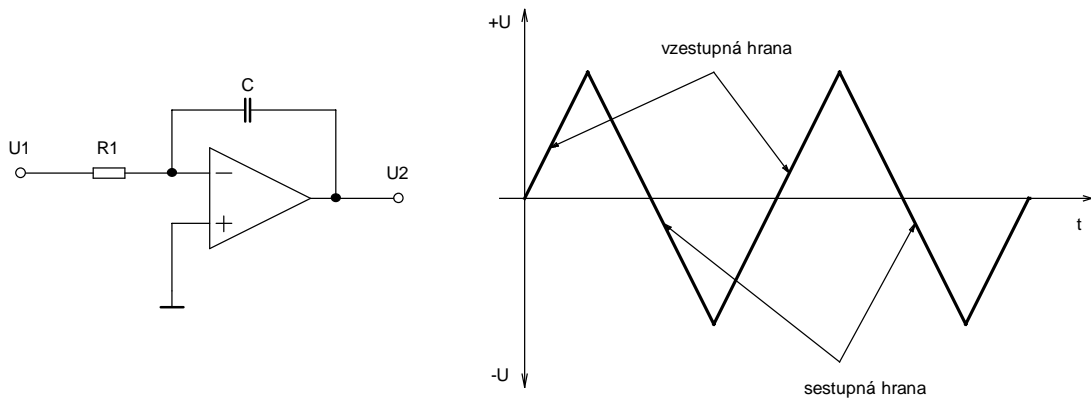
Obr. č. 10 Funkce operačního zesilovače jako komparátor [3]

Pokud pracuje operační zesilovač bez zpětné vazby, stačí velmi malé vstupní napětí k tomu, aby výstup přešel do saturace (výstupní napětí se blíží napájecímu). Saturace je ustálený stav na výstupu, kdy se operační zesilovač otevře naplno a na další zvyšování vstupního napětí již nereaguje. Podle toho, ke kterému vstupu a s jakou polaritou přivedeme napětí, objeví se na výstupu kladné nebo záporné napětí.

V praxi se obvykle na jeden vstup přivádí napětí referenční a na druhý vstup napětí neznámé.

## 2.2 Integrátor

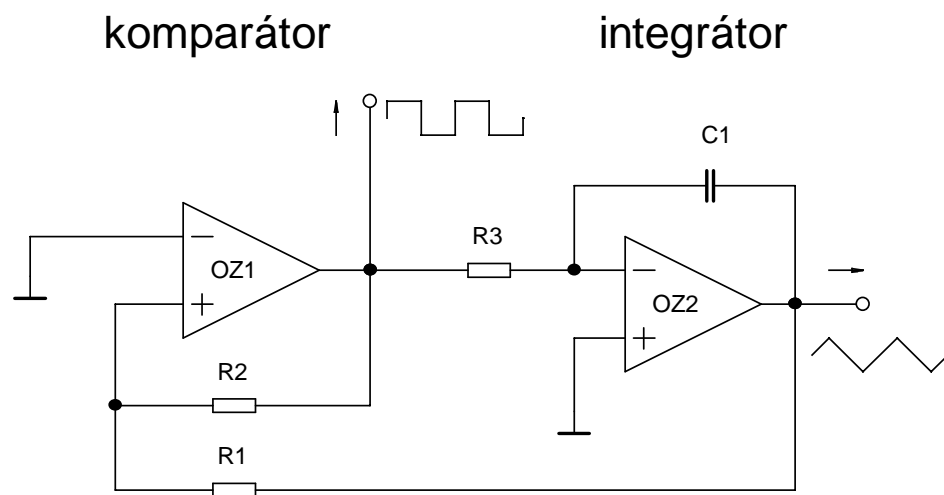
Jak vyplývá s uvedeného blokového schématu dalším součástí analogových generátorů [3] je operační zesilovač zapojený jako integrátor, zapojení a funkce je uvedeno na obr. č. 11. Zde je opět použit operační zesilovač jako aktivní integrátor. Funkce zapojení je ta že v obvodu zpětné vazby namísto rezistoru zapojen kondenzátor. To způsobí, že po přivedení vstupního napětí se kondenzátor postupně nabíjí. Rychlost nabíjení závisí kromě kapacity kondenzátoru také na velikosti  $R1$ . Přivedeme-li na vstup napětí, jehož úroveň se periodicky skokově mění, na výstupu se objeví trojúhelníkový průběh.



Obr. č. 11 Funkce operačního zesilovače v zapojení jako integrátor [3]

### 2.3 Generátor funkcí (generátor tvarového signálu)

Použitím operačních zesilovačů jsme schopni navrhnout jednoduché generátory tvarového signálu včetně jeho tvarování. V případě použití diskretních součástek by to nebylo možné, nebo velmi těžko řešitelné.



Obr. č. 12 Obvodové zapojení generátoru tvarových signálů [3]

Kombinací komparátoru a integrátoru [3] lze vytvořit velmi jednoduchý generátor funkcí, je uvedeno na obr. č. 11, který vygeneruje pouze obdélník a trojúhelník, který je schopen kmitat ve velmi širokém rozsahu frekvencí (0,1 Hz až 1 MHz). Frekvenci generátoru určuje RC člen

složený z rezistoru R3 a kondenzátoru C. Doba jednoho kmitu (perioda) je dána vztahem (1):

$$T = 4RC \cdot \frac{R1}{R2}, \quad (1)$$

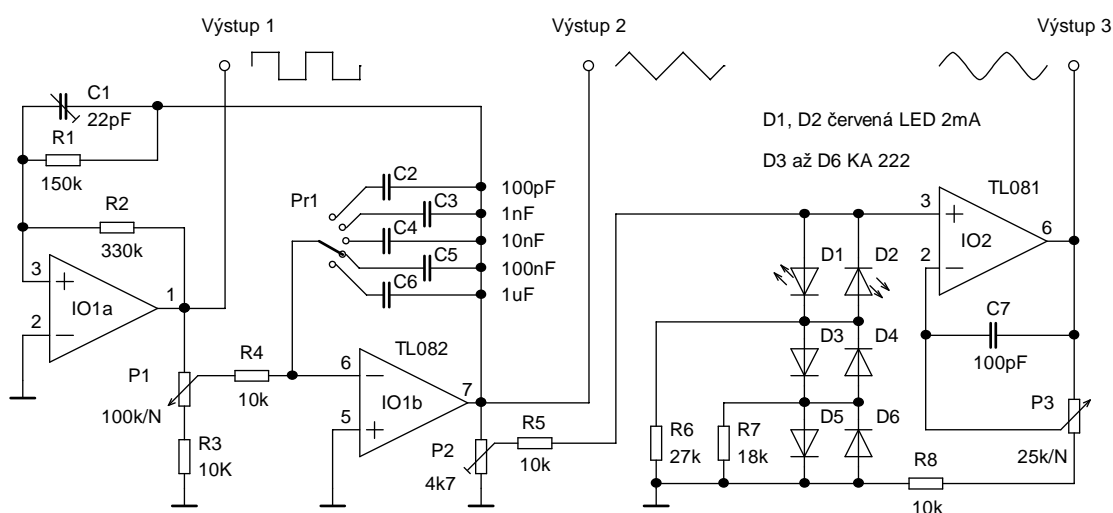
kde T je perioda, 4RC časová konstanta, poměr rezistorů R1/R2 udává zesílení.

Amplituda výstupního napětí závisí jak na napájecím napětí, tak i na poměru R1/R2

$$\delta u = 2U_{SAT} \frac{R1}{R2} \quad (2)$$

a vypočítá se ze vztahu (2):

I když existují speciální integrované obvody (např. MAX038, ICL8038, XR2206), které umožňují snadnou konstrukci generátoru tvarových kmitů, lze pro méně náročná měření v akustickém pásmu použít jednoduché zapojení s operačními zesilovači. Následující zapojení se skládá z komparátoru, integrátoru a tvarovacího obvodu, který převádí trojúhelníkový signál na sinusový. Návrh tohoto generátoru je uveden na obr. č. 13, toto zapojení umožňuje stavbu jednoduchého generátoru.



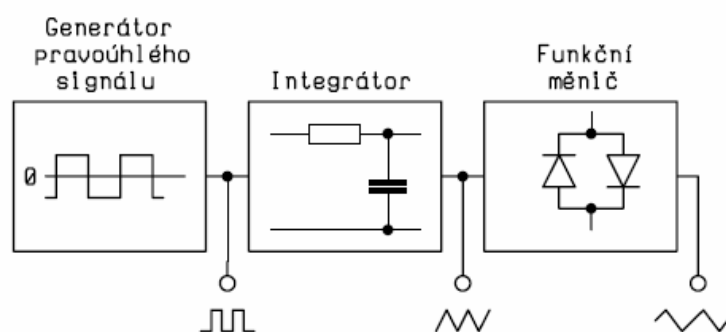
Obr. č. 13 Generátor tvarových signálů [3]

## 2.4 Konstrukce generátoru s monolitickým integrovaným obvodem XR2206

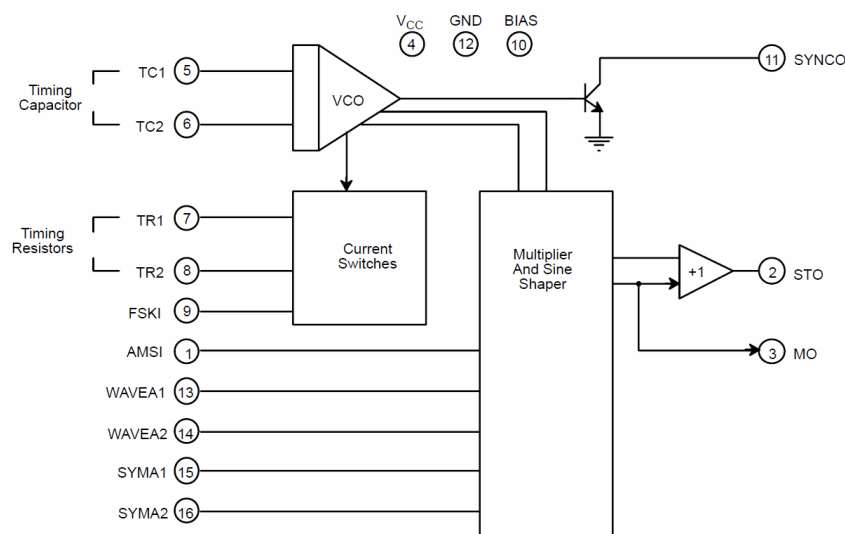
Signální generátory jsou označovány jako tvarové nebo funkční [5, 6]. Většinou umožňují nastavovat nejen amplitudu a kmitočet výstupního signálu, ale i jeho symetrii a měnit střidu, modulovat jeho amplitudu nebo vnější signál přivedený na pomocný vstup umožňuje modulaci a rozmítání. Generátor pro oblast kmitočtů od řádu desetin Hz do jednotek Mhz lze



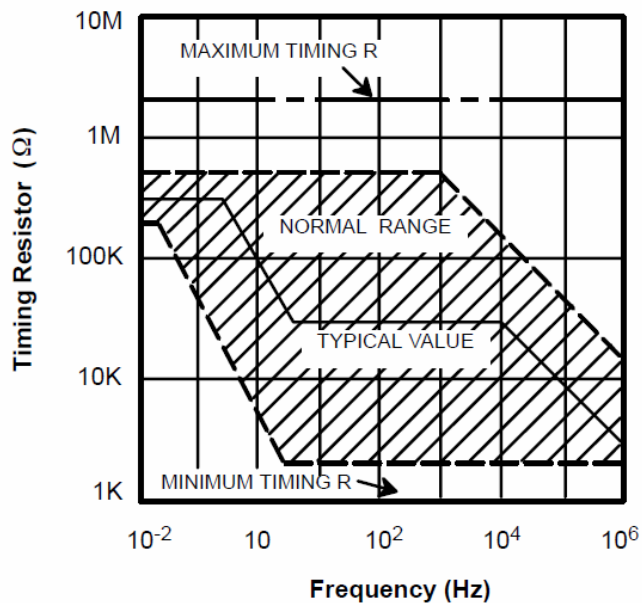
sestrojit a použít monolitický integrovaný obvod pro sestavení generátoru, který obsahuje čip, ke kterému se připojí pasivní součástky a napájení i tento generátor vychází ze základní blokového zapojení generátoru [8] uvedeného na obr. č. 14, základní schéma je potom modifikováno obvodovým návrhem vlastního čipu generátoru. Obvod XR-2206 od firmy Exar jehož princip zapojení je dán jeho vnitřní strukturou. Skládá se několika funkčních celků uvedených na obr. č. 15, a to z napětím řízeného oscilátoru, analogová násobička, sinusový tvarovač, oddělovací zesilovač, proudové spínače. Doporučené zapojení [8, 9, 10] na obr. č. 17 můžeme popsat : výstupní kmitočet napětově řízeného oscilátoru je přímo úměrný připojené kapacitě C a proudů definovanými spínači pomocí odporů R1, R2. Kmitočet je dán vztahem  $f=1/RC$ . Vhodné odpory jsou dány diagramem na obr. č. 16, z kterého vyplývá hodnota odporu R 4 kΩ až 200 kΩ a rozsah kapacity C je 1 nF až 100 μF. Základní vlastnosti XR2206 jsou pracovní kmitočet v rozsahu 0,01 Hz do 1 MHz, teplotní stabilita 20 ppm/°C, zkreslení sinusového průběhu 0,5% a rozsah nastavení kmitočtu je 2000:1.



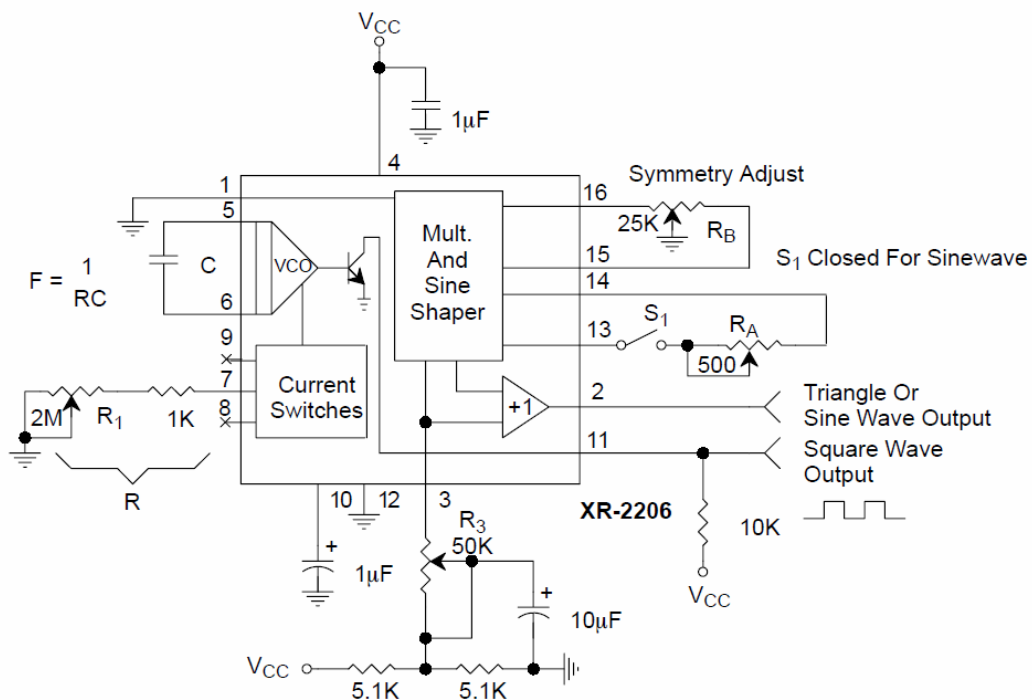
Obr. č. 14 Blokové schéma základního zapojení generátoru tvarových signálů [1,6]



Obr. č. 15 Vnitřní blokové schéma obvodu XR2206 [8]



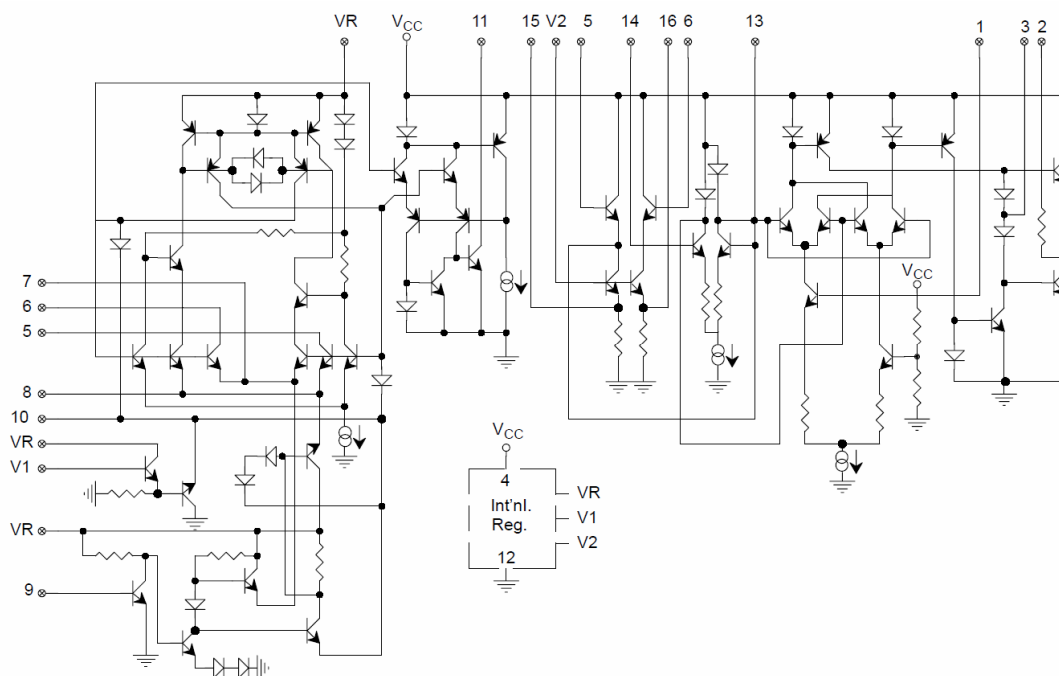
Obr. č. 16 Diagram pro volbu rezistoru časovacího obvodu [8]



Obr. č. 17 Základní zapojení obvodu XR2206 dle doporučení výrobce[8]

## Vnitřní struktura obvodu

Vnitřní struktura [8] obvodu na obr. č. 18, která zobrazuje propojení jednotlivých dílčích obvodů, kde je vidět, že monolitický obvod se skládá z několika funkčních celků včetně zapojení tvarovače sinusového signálu.



Obr. č. 18 Vnitřní struktura obvodu [8]

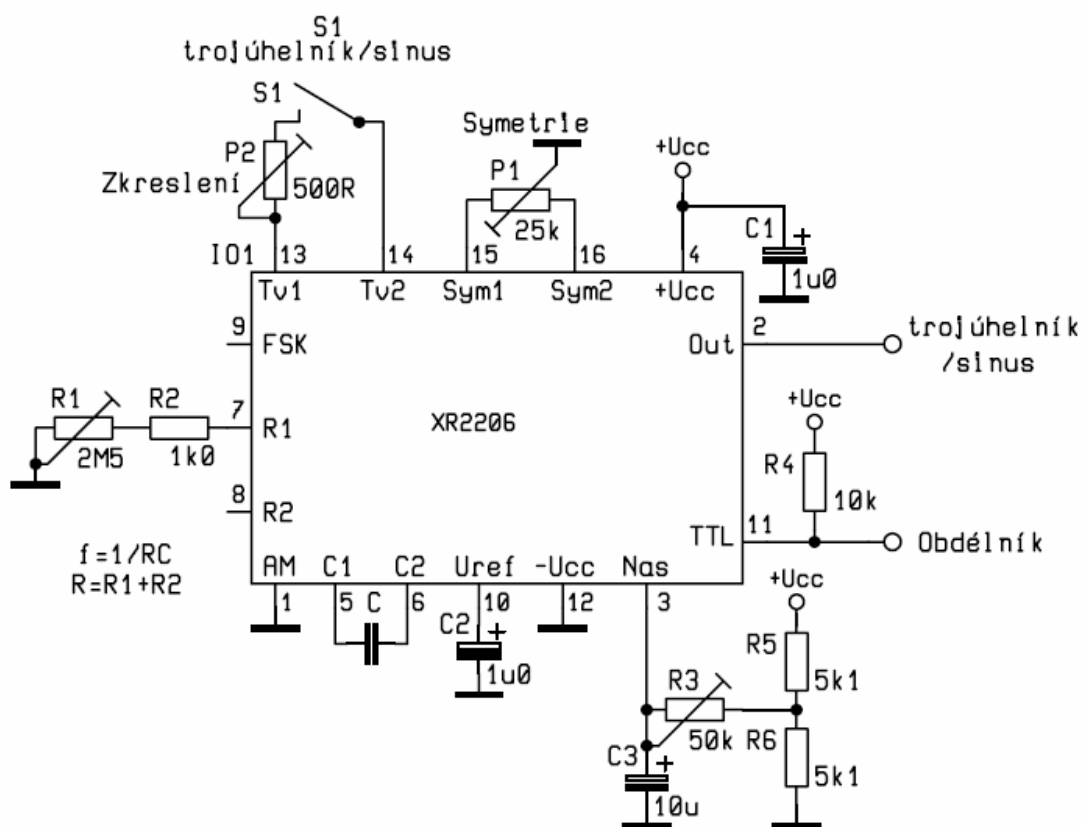
## 2.5 Doporučené zapojení použité jako základ pro realizovaný generátor

Základní zapojení navrhovaného generátoru [8, 9, 10] vychází z doporučeného zapojení výrobce obvodu, zobrazeného na obr. č. 19. Potenciometrem R1 na výstupu 7 se nastavuje výstupní frekvence, kterou určuje odpor společně s velikostí kapacity kondenzátou kapacity C, pro kterou platí doporučení výrobce a frekvence je dána vzorcem  $f_0 = 1 / RC$ . Největší rozkmit výstupního napětí dosahuje obvod při napájení ze symetrického zdroje. Nižšího výstupního napětí se dosahuje při asymetrickém napájecím napětí. Zkreslení výstupního signálu obvodu je důležité pro sinusový signál včetně harmonických složek. Nízká úroveň těchto hodnot se dosahuje doplněním trimru P2 pro tvar signálu a P1 pro nastavení symetrie signálu. Tento průběh se nastavuje pomocí osciloskopu.

Jednoduchý generátor [6, 9] lze realizovat již s použitím samotného obvodu XR2206, kde mu stačí pouze jedno napájecí napětí a jsou připojeny pouze pasivní prvky a tento generátor má

pak rozsah zhruba od 1 Hz do 100 kHz, který je přeladitelný vnějším potenciometrem a rozsahy jsou přepínány pomocí přepínače.

V námi realizované konstrukci je výstupní signál z generátoru zesílen pomocí operačního zesilovače, kde je pro jednotlivé tvary signálu upravena úroveň a tento signál je pak zesílen rychlým výkonovým operačním zesilovačem. Obvod umožňuje samozřejmě i další funkce po doplnění dalšími obvody a případné rozmítání signálu a modulace pomocí vnějšího napětí. Pro námi realizovaný generátor bylo použito asymetrické napájecí napětí.



Obr. č. 19. Základní zapojení generátoru s XR2206 dle doporučení výrobce [6]

### 3 PRAKTICKÁ REALIZACE GENERÁTORU, OVĚŘENÍ JEHO FUNKCE

#### 3.1 Popis funkce generátoru

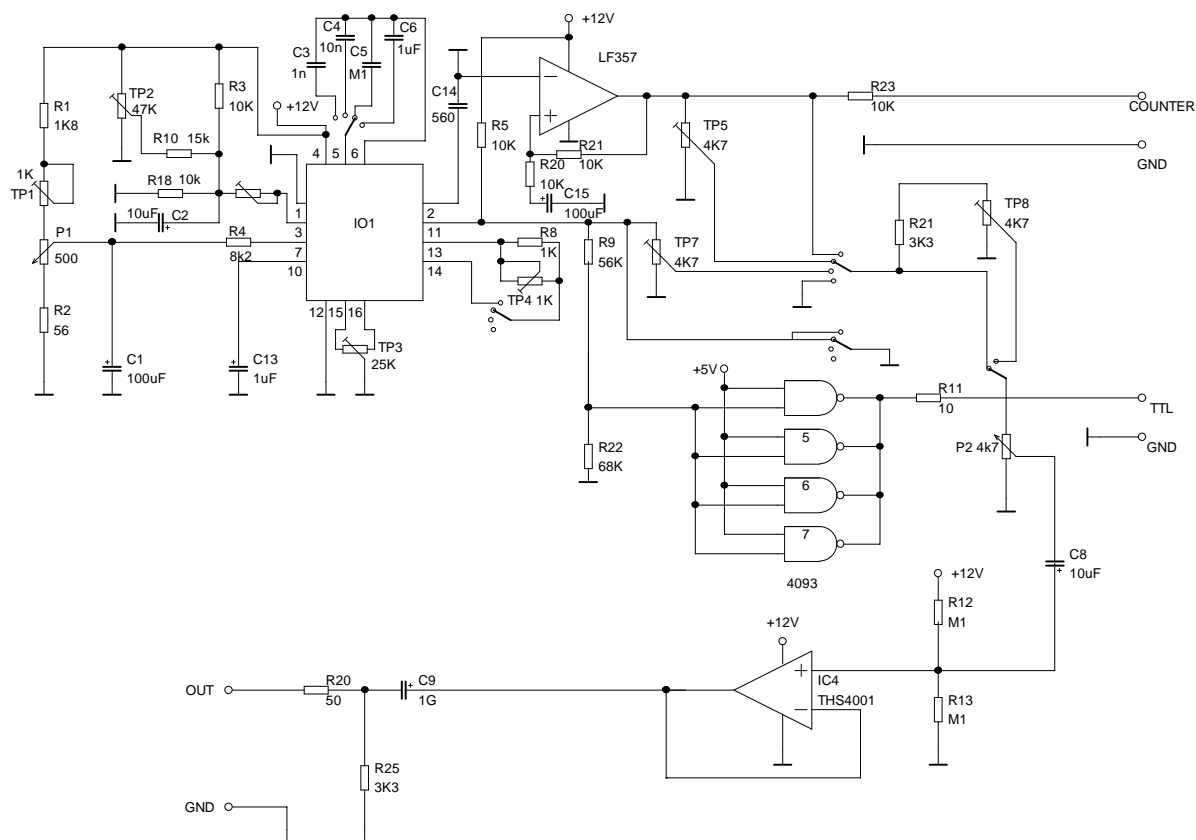
Základem generátoru je obvod [4, 5, 8, 9] XR2206 [8] firmy EXAR. Je to obvod, který generuje základní průběhy v rozsahu 10 Hz až 100 kHz. Zapojení generátoru uvedené na obr. č. 20 vychází z doporučeného zapojení výrobce. Jako základ je použito zapojení

z amatérského rádia [1, 4, 6], kde je základ realizován, dle doporučení výrobce a katalogového listu, provedl jsem úpravu v tom smyslu, že výkonová část generátoru je řešena pomocí rychlého výkonového operačního zesilovače THS4001 (firmy Texas Instruments [8]), který má mezní tranzitní kmitočet 270 MHz a zatěžovací proud 100 mA a pro zatěžovací impedanci 50  $\Omega$ . Je to jediný obvod, který se mi podařilo sehnat, ale od dodavatelů mimo území republiky. Zdrojová část uvedená na obr. č. 21 je doplněna o další stabilizovaný obvod 7805 pro napájení čítače s automatickou změnou rozsahu, který zobrazuje nastavenou frekvenci generátoru. (Tento čítač bude připojen následně). Generátor se ladí změnou proudu na vstupu č. 7 obvodu XR2206. To se provádí potenciometrem P1. Odporů R1, R2, R4 a trimru TP1 je nastaven na rozsah přeladitelnosti v poměru 10:1. Nastavení frekvence potenciometrem P1 je lineární. C1 eliminuje šum potenciometru pro přeladování. SW1 přepíná frekvenční rozsahy generátoru a přepínač SW2 nastavuje průběh tvaru výstupního signálu. Vývod 2 je výstupem pro sinusový a trojúhelníkový signál a 11 je výstupem pro obdélníkový signál. Z vývodu 2 je signál veden na operační zesilovač, který slouží k impedančnímu přizpůsobení a k zesílení signálu pro výstupní výkonový operační zesilovač a pro připojený čítač. Výstupní úroveň signálu pro jednotlivé tvary signálů je různá. Stejnou úroveň signálu zajišťují trimry TP5, TP6, TP7. Sinusový signál se získává pomocí vnitřního diodového omezovače aktivovaného spojením vývodů 13 a 14, optimální tvar sinusového signálu se nastavuje pomocí TP4 a TP3, který nastavuje symetrii sinusového signálu a kondensátorem C14 se snižuje zkreslení sinusového signálu. V případě generování trojúhelníku nebo sinus je obdélníkový signál blokován SW4. Číslicový výstup generátoru je tvořen pomocí obvodu 4093 napojeného ze zdroje 5 V s výstupním ochranným odporem. SW5 slouží k snížení výstupní úrovně signálu v poměru 1:10, výstupní zesilovač je tvořen rychlým výkonovým zesilovačem s výstupní impedancí 50 ohmů. Z důvodu napájení generátoru z nesymetrického zdroje je výstup oddělen kondensátorem C9 a vybíjecím odporem R20. D5 indikuje přítomnost napájecího napětí.

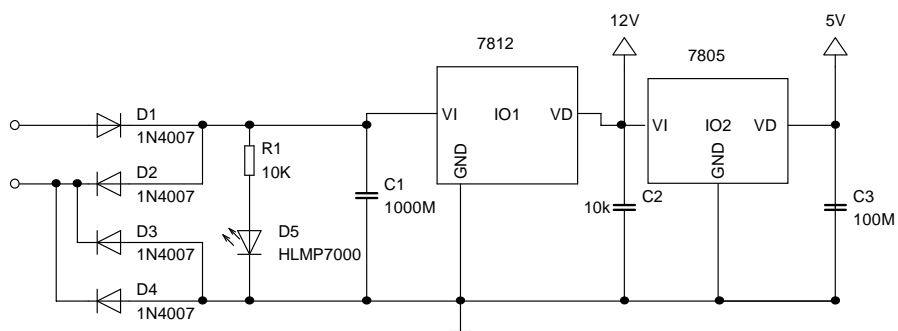
### **3.2 Popis realizace generátoru**

Generátor je realizován [4, 6, 8, 9] na jednostranné desce plošného spoje uvedené na obr. č. 22, pro realizaci jsou použity standardní vývodové součástky dle osazovacího plánu uvedené na obr. č. 23. Na pozici P1 je použit dvojitý potenciometr 1 k $\Omega$ , kterým se nastavuje frekvence generátoru v jednotlivých rozsazích. Pro přepínání rozsahů jsou použity přepínače TS211, pomocí nich se přepínají frekvenční rozsahy a jednotlivé tvary výstupního signálu. Výstupní úroveň napětí se nastavuje pomocí potenciometru P2/4K7, z kterého je pak výstupní signál zesílen pomocí výkonového rychlého zesilovače. Součástky jsou do desky plošného

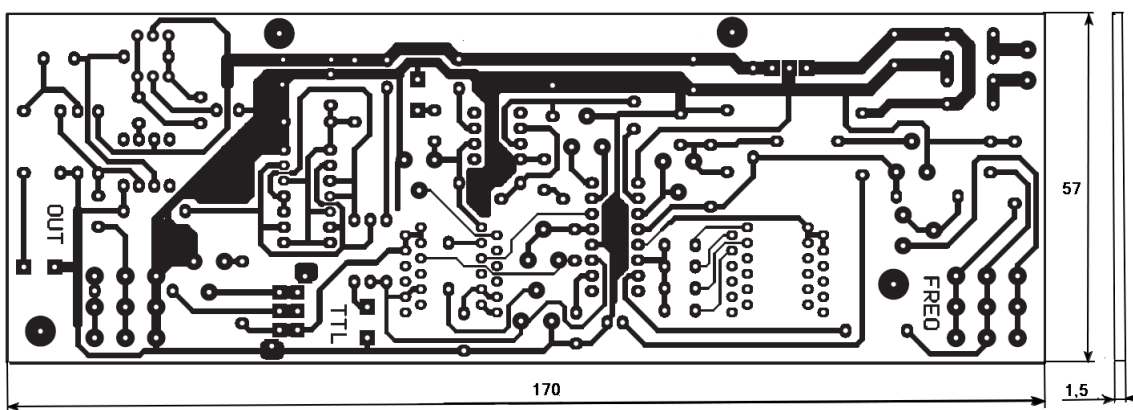
spoje zapájeny pomocí bezolovnaté pájky podle platných předpisů EU vzhledem k užití generátoru ve školní úloze. Napájení generátoru je realizováno pomocí externího adapteru, který napájí vnitřní zdroje generátoru, kde základní napájecí napětí je 12 V a je rozšířeno o další výkonový stabilizátor 7805 tak, aby byla možnost napájet i v budoucnu připojený automatický čítač pro měření výstupní frekvence generátoru. Pro tuto možnost je v generátoru připravena výstupní svorka. Výstupní signál z generátoru je realizován pomocí konektoru CINCH a je rozděleno na výstup pro generování jednotlivých tvarových signálů a zároveň je na panel vyveden signál obdélníkového tvaru s úrovní TTL. Celý generátor je realizován do univerzální plastové krabičky UKP 13, která umožňuje instalování obvodu čítače s automatickou volbou rozsahu. Díky napájení z externího adapteru (odpovídající třída bezpečnosti) je dodržena bezpečnost žáků, aby nemohlo dojít k úrazu elektrickým proudem při použití generátoru při aplikační úloze. Na následujících obrázcích je zobrazena vlastní realizace generátoru od vlastního zapojení generátoru včetně navržené úpravy uvedené na obr. č. 20. Dále je uvedeno zapojení zdroje uvedené na obr. č. 21, který byl rozšířen o další výkonový stupeň pro budoucí možnost napájení automatického čítače. Dále je zobrazena deska plošného zdroje uvedená na obr. č. 22, za kterým následuje osazovací schéma generátoru uvedené na obr. č. 23 a a rozpis použitých součástek v tabulce č. 1. Nakonec je zobrazena fotografie postaveného generátoru uvedené na obr. č. 24.



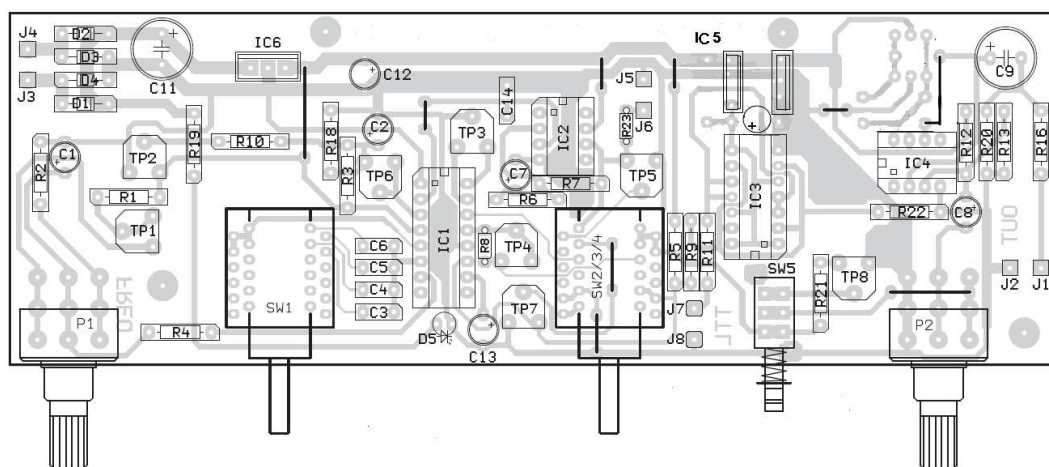
Obr. č. 20 Schéma zapojení generátoru [4]



Obr. č. 21 Schéma zdroje [4]



Obr. č. 22 Deska plošného spoje generátoru [4]



Obr. č. 23 Rozložení součástek na desce generátoru [4]



Obr. č. 24 Fotografie sestaveného a upraveného generátoru [4]

**Sestavený a oživený upravený generátor by měl splňovat následující technické parametry. [4]**

Napájecí napětí: adaptér 18v AC / 03 A

Kmitočtové rozsahy:

10 Hz a. 100 Hz,

100 Hz a. 1 kHz,

1 kHz a. 10 kHz,

10 kHz a. 100 kHz.

Zkreslení: 0,5 % typ. pro sinusový signál do 20 kHz - podle firemní dokumentace

Výstupní mezivrcholové napětí: 4 V



**Tabulka použitých součástek č. 1**

Pozice	Název	Hodnota	Počet kusů
R1	Rezistor	1,8 kΩ / 0,6 W	1
R2	Rezistor	68 Ω / 0,6 W	1
R3, R5, R10, R18, R23	Rezistor	10 kΩ / 0,6 W	5
R4	Rezistor	8,2 kΩ / 0,6 W	1
R6	Rezistor	220 Ω / 0,6W	1
R7	Rezistor	820 Ω / 0,6W	1
R8	Rezistor	1 kΩ / 0,6 W	1
R9	Rezistor	56 kΩ / 0,6 W	1
R11	Rezistor	10 Ω / 0,6W	1
R12, R13	Rezistor	100 kΩ / 0,6 W	2
R16	Rezistor	47 Ω / 0,6 W	1
R17	Rezistor	680 Ω / 0,6 W	1
R19	Rezistor	2,2 kΩ / 0,6 W	1
C1, C7, C10, C12	Kondenzátor	100 μF / 25 V	4
C2	Kondenzátor	10 μF / 25 V	1
C3	Kondenzátor	1 nF	1
C4	Kondenzátor	10nF	1
C5	Kondenzátor	100 nF	1
C6	Kondenzátor	1 μF	1
C8	Kondenzátor	10 μF / 50 V	1
C9	Kondenzátor	1000 μF / 16 V	1
C11	Kondenzátor	1000 μF / 35 V	1
C13	Kondenzátor	1 μF / 100 V	1
C14	Kondenzátor	560 pF	1
P1	Potenciometr	2 x 1 kΩ / N	1
P2	Potenciometr	5 kΩ / N	1
TP1, TP4	Trimr	1 kΩ	2
TP2, TP6	Trimr	50 kΩ	2
TP3	Trimr	25 kΩ	1
TP5, TP7, TP8	Trimr	5 kΩ	3
	Krabička	UKP-13	1
IC1	IO	XR2206	1
IC2	IO	NE5534 (LF357)	1
IC3	IO	4093	1
IC4	IO	THS4001	1
IC5	IO	7812	1
IC6	IO	7805	1
D1-D4	Dioda	1N4007	4
D5	Dioda	LED	1
Konektor	CINCH		2
Objímka	DIL 16		1
Objímka	DIL 14		1
Objímka	DIL 8		2
Deska	DPS		1
Přepínač	4 / 3	TS211	2
Knoflík			4

### 3.3 Nastavení a oživení generátoru

Po osazení pasivních součástek a zdrojů jsem generátor připojil na adaptér a zkontroloval výstupní napětí obou vnitřních zdrojů. Napětí bylo v pořádku 12 a 5 V. Do generátoru byly osazeny integrované obvody a následně byly všechny trimry nastaveny do střední polohy. Po zapnutí byl pomocí osciloskopu skontrolovány základní funkce generátoru. V poloze generování pravoúhlého signálu se pomocí potenciometru P1 a trimru TP1 nastaví počáteční hodnoty frekvence na jednotlivých rozsazích. Pomocí osciloskopu se pro generování trojúhelníkového signálu nastaví maximální úroveň signálu pomocí potenciometru P2 a trimru TP6, pomocí trimru TP2 se při maximální úrovni nastaví symetrie výstupního signálu, tak aby nedošlo k jeho omezení ani z jedné strany. V poloze generování sinusového signálu se pomocí TP2 nastaví nejlepší tvar signálu a pomocí trimru TP3 symetrie signálu. Výstupní úroveň sinusového signálu se pomocí trimru TP6 nastaví na úroveň 4 V špička špička. Pro trojúhelníkový signál se trimrem TP5 nastaví na stejnou úroveň výstupního signálu. Pro obdélníkový signál se výstupní úroveň nastaví pomocí trimru TP7. Pomocí TP8 při sepnutém SW5 nastaví úroveň 1/10 výstupního signálu. Na výstupu TTL se provede osciloskopem kontrola tvaru signálu.

## 4 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY VÝSTUPU GENERÁTORU POMOCÍ DIGITÁLNÍHO OSCILOSKOPU

Osazený a oživený generátor byl nastaven a byly prověřeny jeho výstupní parametry. V následujícím odstavci jsou uvedeny naměřené výstupní parametry generátoru, výstupní parametry signálu byly změřeny pomocí digitálního osciloskopu. Na obr. č. 25, 26 a 27, je vidět mírné tvarové zkreslení na vrcholech jednotlivých signálů, které je pravděpodobně způsobeno zvoleným asymetrickým napájením. Zmenšení zkreslení by se dalo dosáhnout použitím symetrického napájení, kdy při použití maximálního napětí  $\pm 9$  V by se obvod generátoru a operační zesilovače dostali do optimálnějšího stavu.

#### Naměřené parametry generátoru:

Výstupní napěťová úroveň při zátěži  $600 \Omega$ : pro obdélníkový signál 4 V šš  
pro trojúhelníkový signál 4 V šš  
pro sinusový signál 4 V šš

Výstupní úroveň signálu výstupu TTL pro zátěž  $600 \Omega$  je 4 V

Rozsah nastavitelných frekvencí pro jednotlivé frekvenční rozsahy:

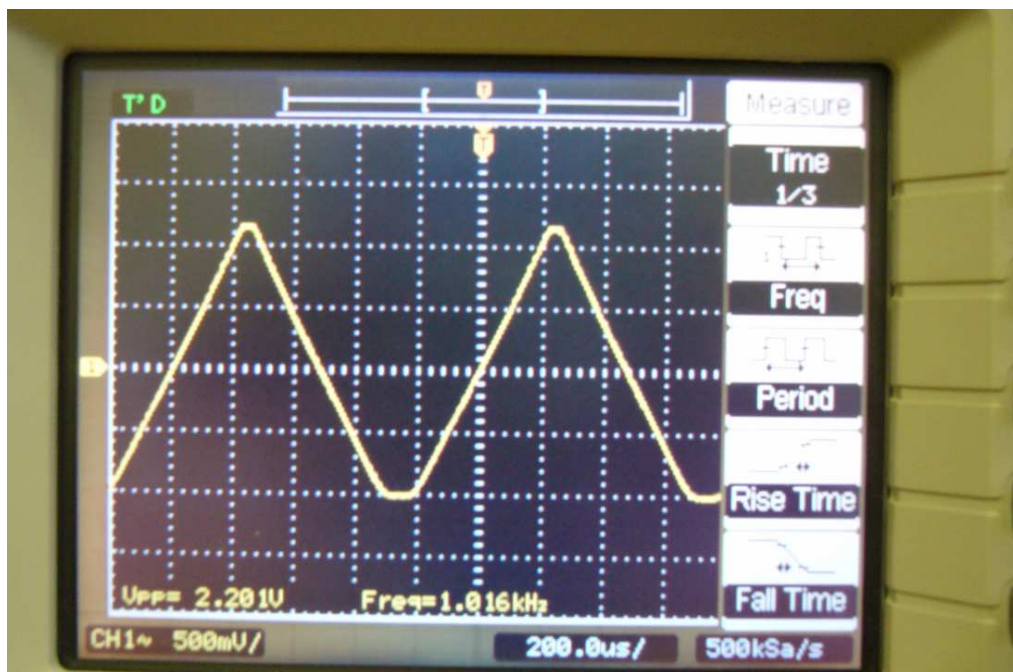
11 Hz až 105 Hz,

1,05 kHz až 10,1 kHz,

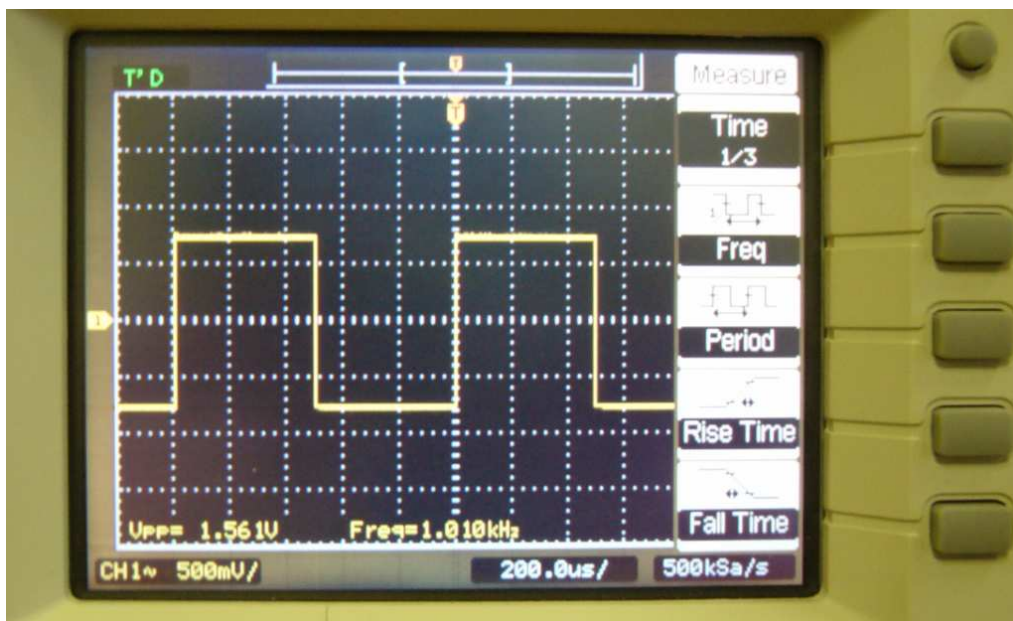
101 Hz až 1 kHz,

10,2 kHz až 106 kHz.

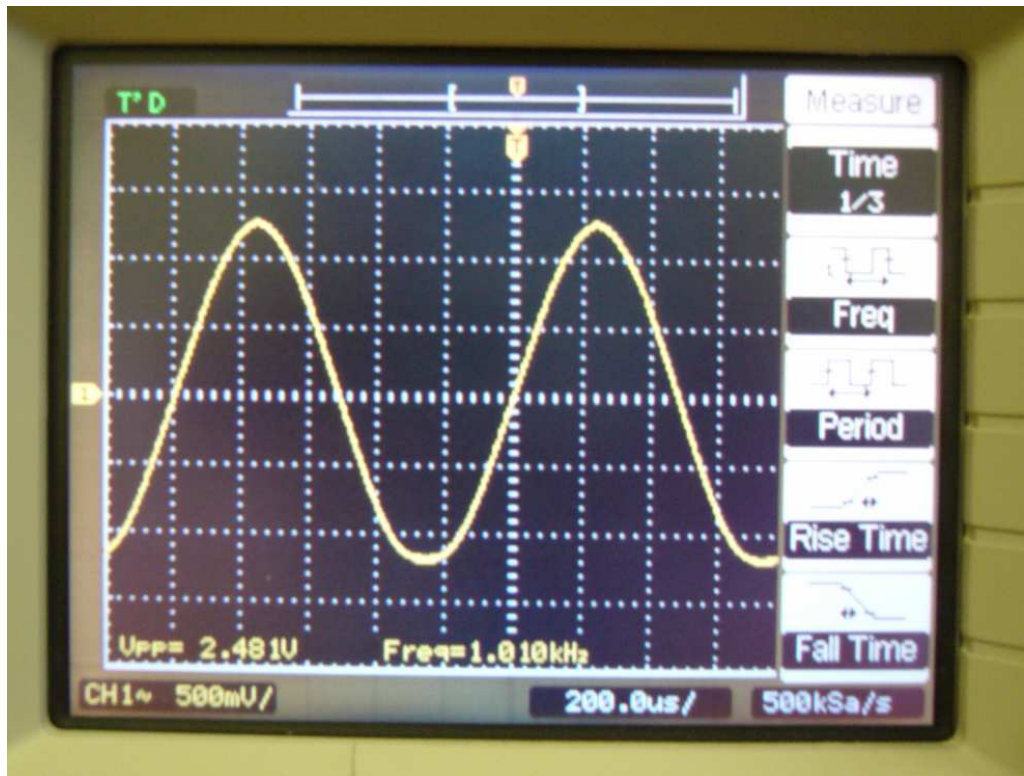
Výstupní mezivrcholové napětí: 4 V



Obr. č. 25 Tvar trojúhelníkového signálu generátoru

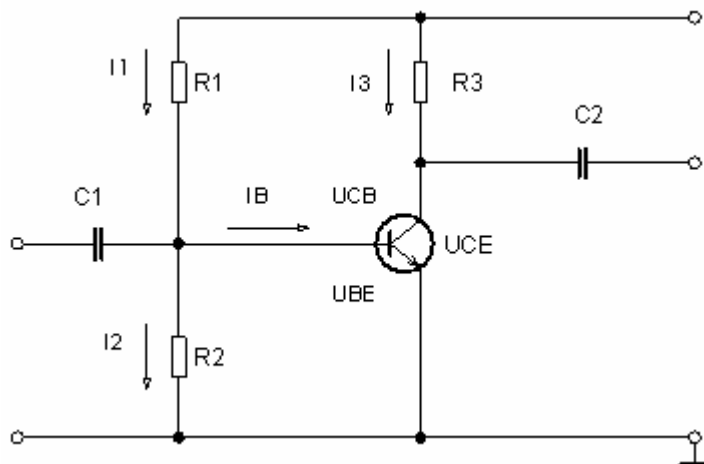


Obr. č. 26 Tvar obdélníkového signálu generátoru

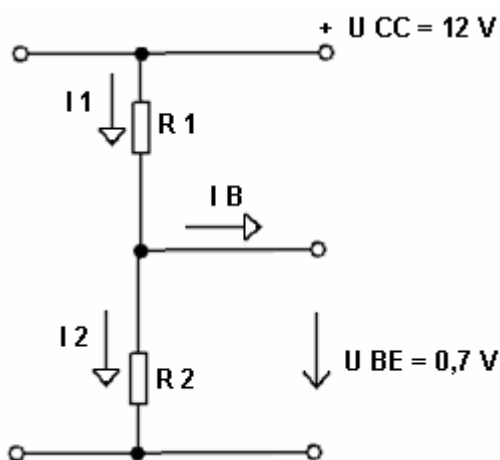


Obr. č. 27 Tvar výstupního sinusového signálu generátoru





- a) Vypočítejte:  $R3 = ?$
- b) Vypočítejte:  $I_B = ?$
- c) Vypočítejte rezistory  $R1, R2$  zatíženého napěťového děliče, když proud  $I1 = 0,125 \text{ mA}$ .

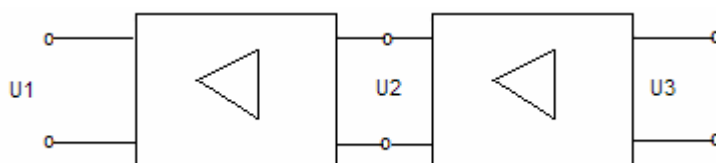


- d) Zvolte velikost rezistorů  $R1, R2$  a  $R3$ . Volte vždy nejbližší hodnotu k vypočtené, z hodnot rezistorů vyráběných v řadě E6.
- e) Určete jak velký ztrátový výkon vzniká na rezistoru  $R3$ .
- f) Jakým zapojením dvou rezistorů z řady E6 získáme nejjednodušším způsobem hodnotu  $90 \text{ k}\Omega$ ?

### 3. Výpočet zesílení zesilovače

Předpokládejme, že zesilovač má napěťové zesílení  $A_{U1} = 150$  a druhý zesilovač má zesílení

$AU = 50$ . Vstupní signál má amplitudu  $U_1 = 2 \text{ mV}$ . Vypočítejte celkové zesílení a určete dle následujícího schématu odpovídající napětí na výstupu prvního a druhého zesilovače ( $U_2$  a  $U_3$ ).

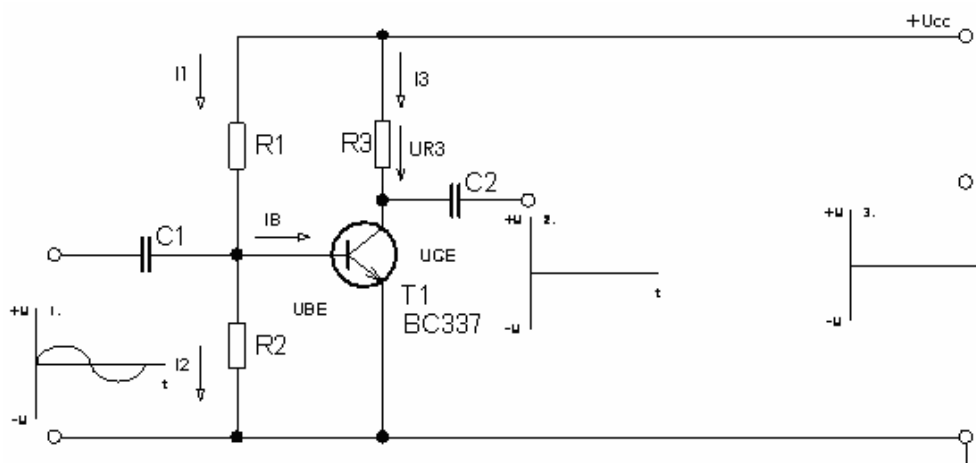


### 5.1.2 Správná řešení návrhu dvojstupňového zesilovače

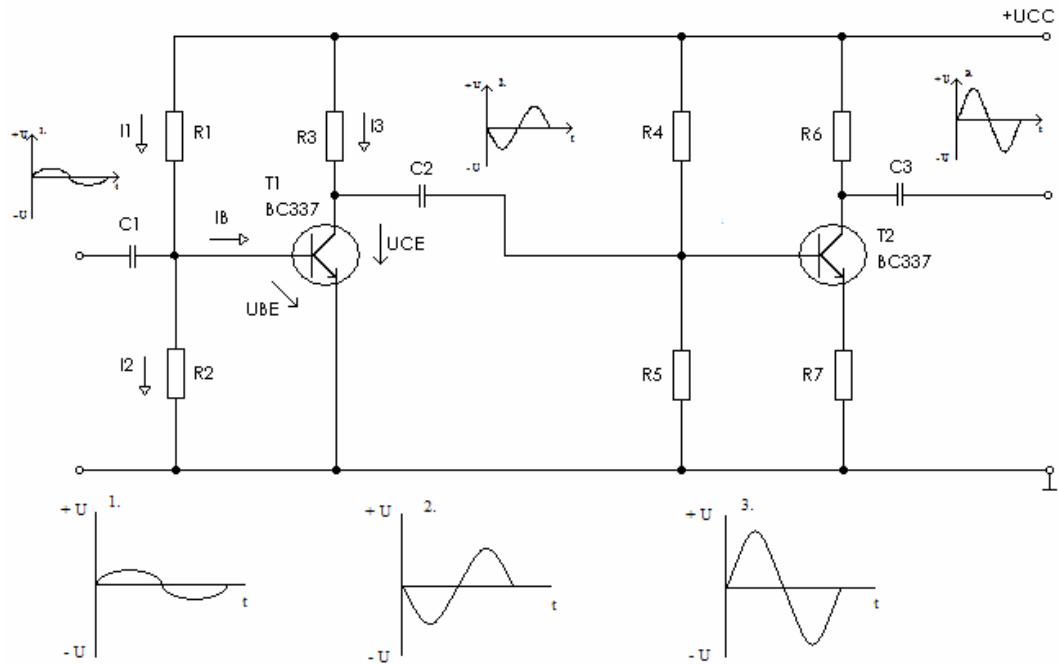
1. Rozšíření stávajícího zesilovače o druhý stupeň

a) K stávajícímu zesilovači dokreslete zapojení zesilovače s teplotní stabilizací pracovního bodu můstkovou metodou. Oba zesilovače spojte kapacitní vazbou.

b) Zakreslete průběhy signálu na výstupu zesilovacího stupně 1 (za  $C_2$ , průběh 2) a na výstupu druhého zesilovacího stupně (průběh 3)



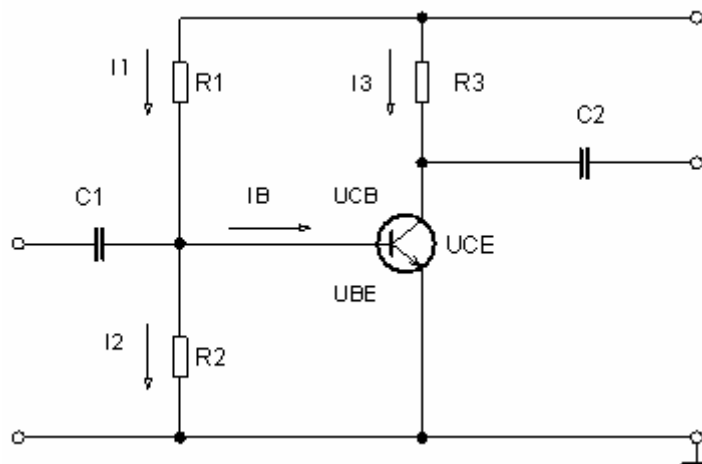
Správné schéma zapojení:



2. Nastavte pracovní bod pro jednostupňový tranzistorový zesilovač.

Jednostupňový tranzistorový zesilovač je napájen napětím  $U_{CC} = 12 \text{ V}$ , proudový zesilovací činitel tranzistoru BC 337 je  $h_{21E} = \beta = 200$ . Napětí  $U_{BE} = 0,7\text{V}$ ,  $I_1 = 0,125 \text{ mA}$ , pracovní bod tranzistoru je dán:  $U_{CE} = 6 \text{ V}$ ,  $I_3 = 5 \text{ mA}$ .

K výpočtům použijte Ohmův a Kirchhoffovy zákony.



a) Vypočítejte:  $R_3 = ?$

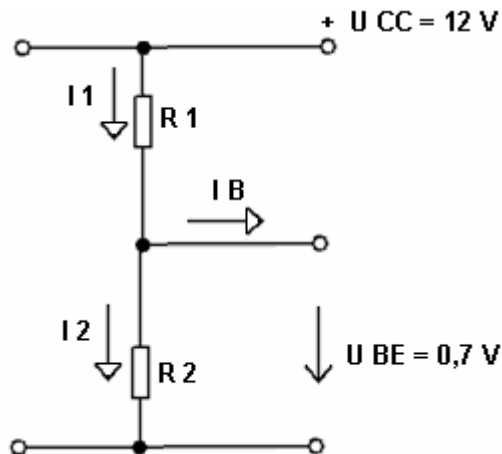
$$R_3 = \frac{U_{CC} - U_{CE}}{I_3} = \frac{12 - 6}{0,005} = 1200\Omega = 1,2\text{k}\Omega$$

b) Vypočítejte:  $I_B = ?$



$$I_B = \frac{I_3}{\beta} = \frac{0,005}{200} = 0,000025A = 0,025mA$$

c) Vypočítejte rezistory R1, R2 zatíženého napěťového děliče, když proud  $I_1 = 0,125 \text{ mA}$ .



$$R_1 = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{I_1} = \frac{12 - 0,7}{0,000125} = 90400\Omega = 90,4k\Omega$$

$$R_2 = \frac{U_{BE}}{I_2} = \frac{U_{BE}}{I_1 - I_B} = \frac{0,7}{0,0001} = 7000\Omega = 7k\Omega$$

d) Zvolte velikost rezistorů R1, R2 a R3. Volte vždy nejbližší hodnotu k vypočtené, z hodnot rezistorů vyráběných v řadě E6.

$$R_1 = 90,4 \text{ k}\Omega \text{ volíme} \quad R_1 = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 7 \text{ k}\Omega \text{ volíme} \quad R_2 = 6,8 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 1,2 \text{ k}\Omega \text{ volíme} \quad R_3 = 1,0 \text{ k}\Omega$$

e) Určete jak velký ztrátový výkon vzniká na rezistoru R3.

$$P_3 = (U_{CC} - U_{CE}) \cdot I_3 = (12 - 6) \cdot 0,005 = 0,03W = 30mW$$

f) Jakým zapojením dvou rezistorů z řady E6 získáme nejjednodušším způsobem hodnotu 90 kΩ?

Sériovým spojením rezistorů 68 kΩ a 22 kΩ

$$68 \text{ k}\Omega + 22 \text{ k}\Omega = 90 \text{ k}\Omega$$

### Výpočet zesílení zesilovače

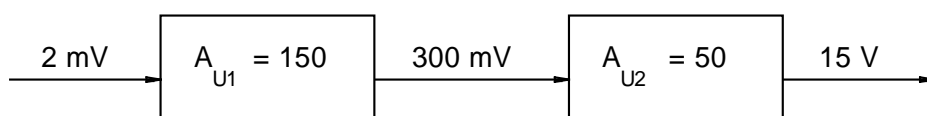
Předpokládejme, že zesilovač má napěťové zesílení  $A_{U1} = 150$  a druhý zesilovač má zesílení  $A_U = 50$ . Vstupní signál má amplitudu  $U_1 = 2 \text{ mV}$ . Vypočítejte celkové zesílení a určete dle následujícího schématu odpovídající napětí na výstupu prvního a druhého zesilovače ( $U_2$  a  $U_3$ ).

Řešení příkladu kaskádního zapojení zesilovačů:

$$A_U = A_{U1} \cdot A_{U2} = 150 \cdot 50 = 7500$$

$$U_1 = 0,002 \cdot 150 = 0,3 \text{ V} = 300 \text{ mV}$$

$$U_2 = 0,002 \cdot 7500 = 15 \text{ V}$$



### 5.1.3 Praktická realizace zesilovače a měření

**Úkoly:** [11]

- prostudujte přiloženou dokumentaci
- zkontrolujte materiál dle rozpisky a jednotlivé součástky proměřte
- proved'te mechanické opracování plošného spoje
- plošný spoj osad'te
- proved'te kontrolu a oživení zesilovače
- osad'te oživený zesilovač do krabičky
- proved'te změření frekvenční charakteristiky
- do tabulky zapište naměřené hodnoty
- nakreslete frekvenční charakteristiku
- během práce dodržujte bezpečnostní předpisy

**Zadání [11]**

Podle přiloženého schématu proved'te zapojení a oživení nízkofrekvenčního dvojstupňového zesilovače se zpětnou vazbou.

Oživený zesilovač připojte na napájecí zdroj a na vstup zesilovače připojte generátor tvarových kmitů nastavený na sinusový signál, nastavte vstupní napětí pomocí nízkofrekvenčního milivoltmetru na 40mV,

1. Podle přiloženého schématu provedte zapojení nízkofrekvenčního dvojstupňového zesilovače se zpětnou vazbou.
2. Provedte ověření hodnot součástek pomocí měřících přístrojů.
3. Pečlivě zkontrolujte plošný spoj před i po osazení součástkami a vyvrtejte otvory pro distanční sloupky dle příslušných kót.
4. Dle přiloženého schématu osadte součástky na přiloženou desku plošných spojů a provedte oživení zesilovače.
5. Vložte oživený zesilovač do krabičky dle nákresu, do krabičky vyvrtejte otvory dle nákresu a vlastní desku umístěte na distanční sloupky.
6. Oživený zesilovač připojte na napájecí zdroj a na vstup zesilovače připojte nízkofrekvenční generátor tvarových kmitů v poloze sinusového signálu. Nastavte vstupní napětí pomocí nízkofrekvenčního milivoltmetru na 40mV, při frekvenci 1 kHz. Na výstup zesilovače připojte nízkofrekvenční milivoltmetr a osciloskop pro měření úrovně a tvaru signálu. Ve frekvenčním rozsahu (10 Hz až 100 kHz – dle přiložené tabulky) změřte úroveň výstupního napětí  $U_2$  při dodržení vstupní úrovně napětí  $U_1=40\text{mV}$ , z naměřených hodnot vypočítejte zesílení v db (pro výpočet hodnot využijte kalkulačky), vypočítané hodnoty zanepte do tabulky a vytvořte graf frekvenční charakteristiky.
7. Při konstantní úrovni vstupního signálu 40 mV změřte zesílení zesilovače pro frekvence dané v tabulce a spočítejte toto zesílení v dB. Tyto hodnoty zapište do tabulky. Frekvenční charakteristiku vytvořte pro rozsah frekvencí (0 ÷ 20) kHz.
8. Dodržujte BOZP.

**Tabulka pro naměřené hodnoty**

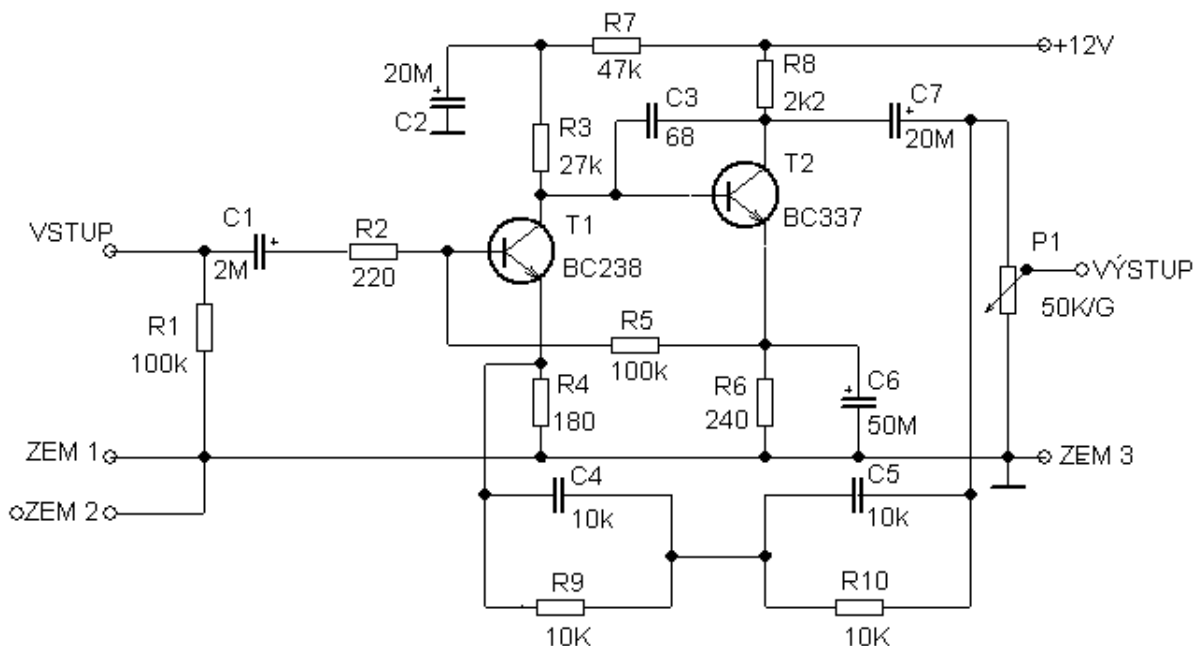
F											
[Hz]	10	100	200	500	1k	2k	5k	10k	12k	15k	18k
U1											
[mV]	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
U2											
[mV]											
A											
[dB]											

F					
[Hz]	20k	40k	60k	100k	
U1					
[mV]	40	40	40	40	
U2					
[mV]					
A					
[dB]					

## Seznam součástek

Pořadové číslo	Pozice	Název	Typ	Hodnota	Počet kusů
1	R1	Rezistor	RR 100K	100k / 0,6 W	1
2	R2	Rezistor	RR 220R	220 Ω / 0,6 W	1
3	R3	Rezistor	RR 27K	27K / 0,6 W	1
4	R4	Rezistor	RR 180R	180 Ω / 0,6 W	1
5	R5	Rezistor	RR 100K	100K / 0,6 W	1
6	R6	Rezistor	RR 240R	240 Ω / 0,6W	1
7	R7	Rezistor	RR 47K	47K / 0,6W	1
8	R8	Rezistor	RR 2K2	2K2 /0,6 W	1
9	R9	Rezistor	RR 10K	10K /0,6W	1
10	R10	Rezistor	RR 10K	10K /0,6W	1
11	C1	Kondenzátor	E2M	2M / 25V	1
12	C2	Kondenzátor	E20M	20M / 25V	1
13	C3	Kondenzátor	CK68p	68p, keramický	1
14	C4	Kondenzátor	CK10n	10n, keramický	1
15	C5	Kondenzátor	CK10n	10n, keramický	1
16	C6	Kondenzátor	E50M	50M / 25V	1
17	C7	Kondenzátor	E20M	E20M /25V	1
18	P1	Potenciometr	50K, logaritmický	50K/G	1
19	T1	Tranzistor	BC238	NPN – TO92	1
20	T2	Tranzistor	BC337	NPN – TO92	1
21		Krabička	U-KP06	Obj. č. GM 622-406	1
22		Svorka	Svorka černá	Obj. č. GM K205-808 005	3
23		Svorka	Svorka červená	Obj. č. GM K205R-808 039	1
24		Svorka	Svorka zelená	Obj. č. GM K205G-808!058	1
25		Svorka	Svorka žlutá	Obj. č. GM K205Y-808 059	1
26	Šroub	M3x6			3
27	Matice	M3			3
28	Podložka	Podložka M3			
29	Sloupek	Distanční sloupek	KDA6M3X10	Obj. č. GM 623-016	3
30		Regulační kotouč	Na potenciometr P1		1

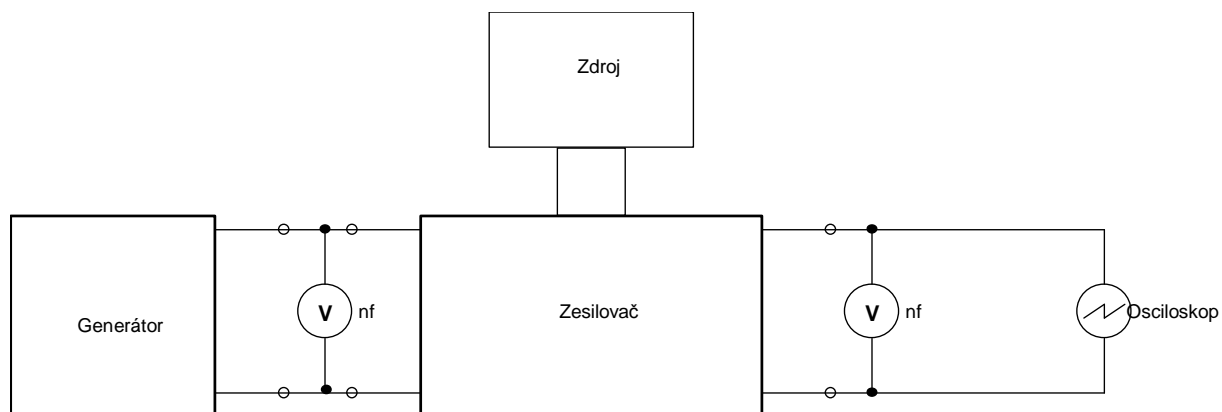
## Schéma zapojení:



## Funkce zesilovače:

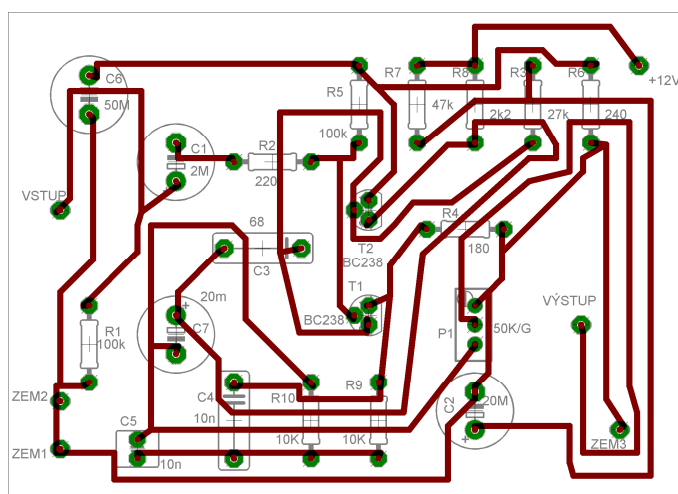
Jedná se o dvoustupňový zesilovač se zápornou zpětnou vazbou a stejnosměrnou vazbou mezi stupni. R7 a C2 zajišťují dodatečnou filtraci napájecího napětí, které je 12V. Napětí na kolektoru T1, který zesiluje malé vstupní napětí, je 1,3V napětí na emitoru T1 je 0,025V. Na kolektoru T2 je 5,5 V a na emitoru 0,7 V. R5 a R6 zajišťují nastavení a stabilizaci pracovního bodu obou stupňů zesilovače. R9, R10, C4, C5 a R4 vytváří střídavou zápornou zpětnou vazbu určující zesílení zesilovače, která výrazně ovlivňuje frekvenční charakteristiku zesilovače. Keramický kondenzátor C3 vytváří zápornou zpětnou vazbu pro omezení zesílení na vysokých kmitočtech. Potenciometr P1 připojený na výstup zesilovače je zapojen jako zátěž a při měření musí být nastaven na maximální hodnotu.

## Blokové schéma pro měření frekvenční charakteristiky

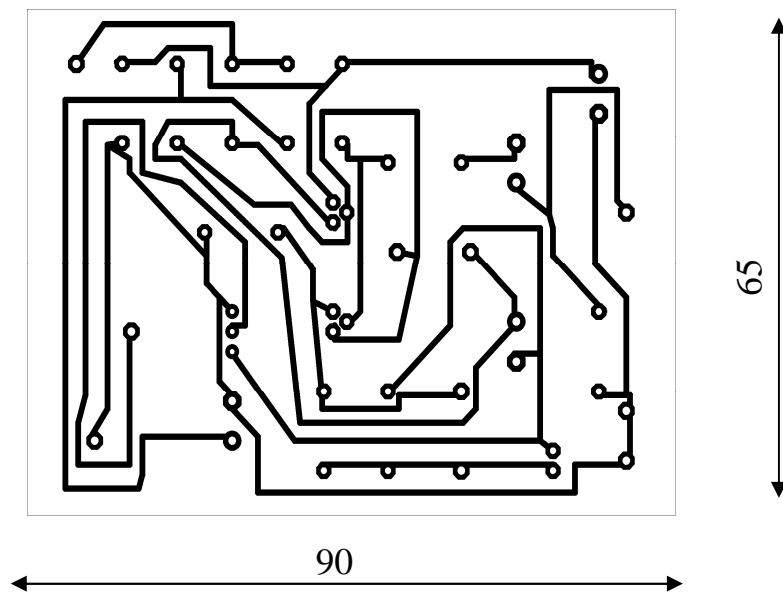


Úroveň vstupního signálu generátoru nastaveného na sinusový signál nastavte na úroveň 40 mV pomocí nízkofrekvenčního milivoltmetru a potom milivoltmetr připojte na výstup pro měření výstupní úrovně napětí po zesílení. Současně kontrolujte úroveň vstupního signálu (40mV).

**Deska plošného spoje osazená:**

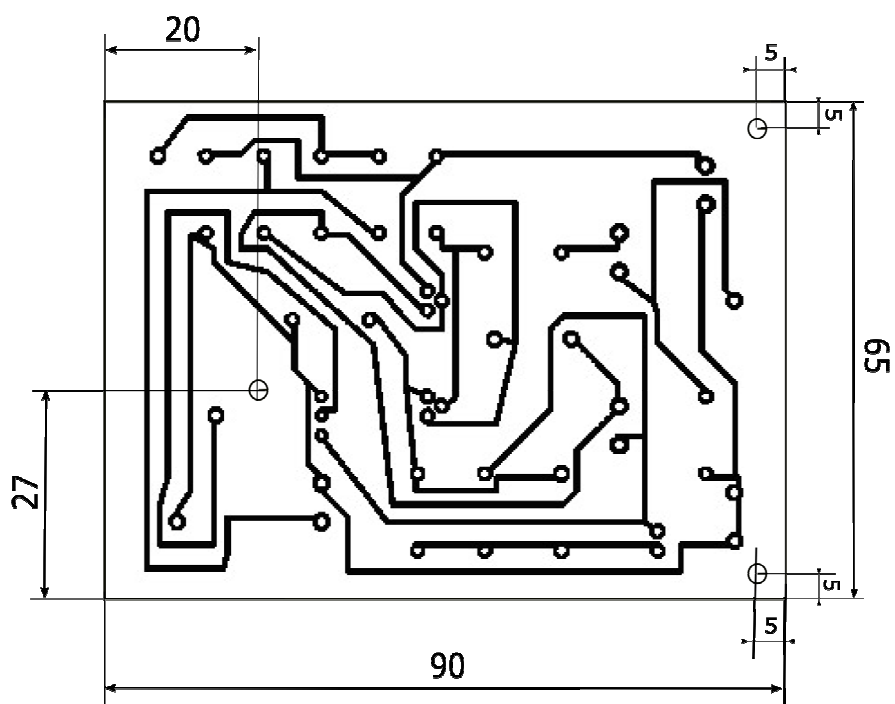


**Deska plošného spoje, pohled ze strany spojů:**



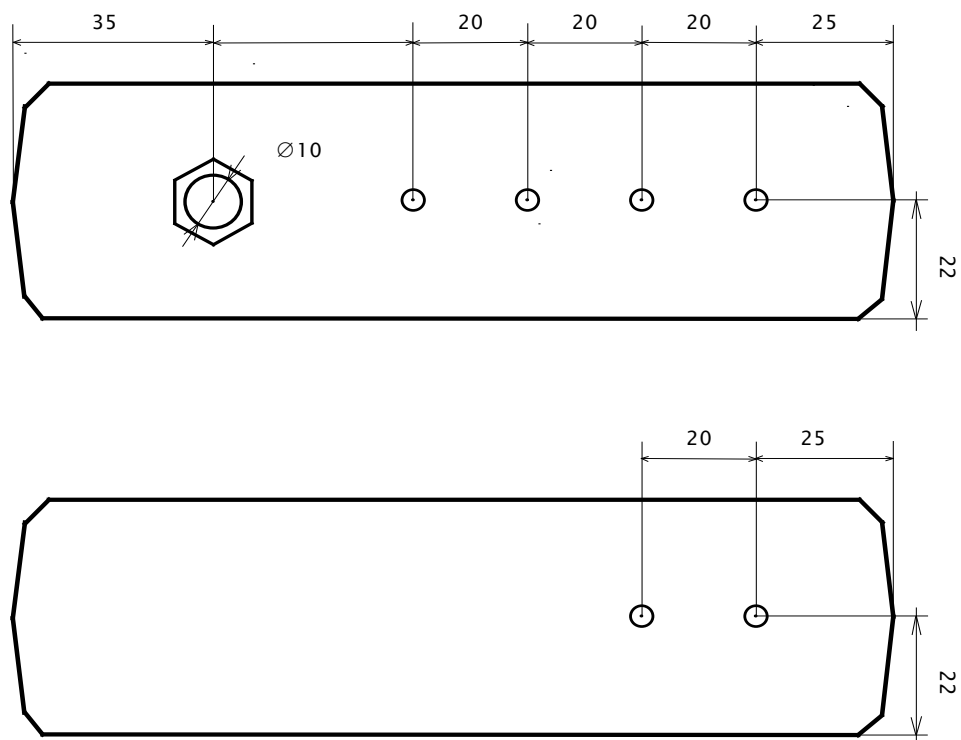
Rozměr destičky plošného spoje je 90 x 65 mm

**Deska plošného spoje okótovaná včetně otvorů**

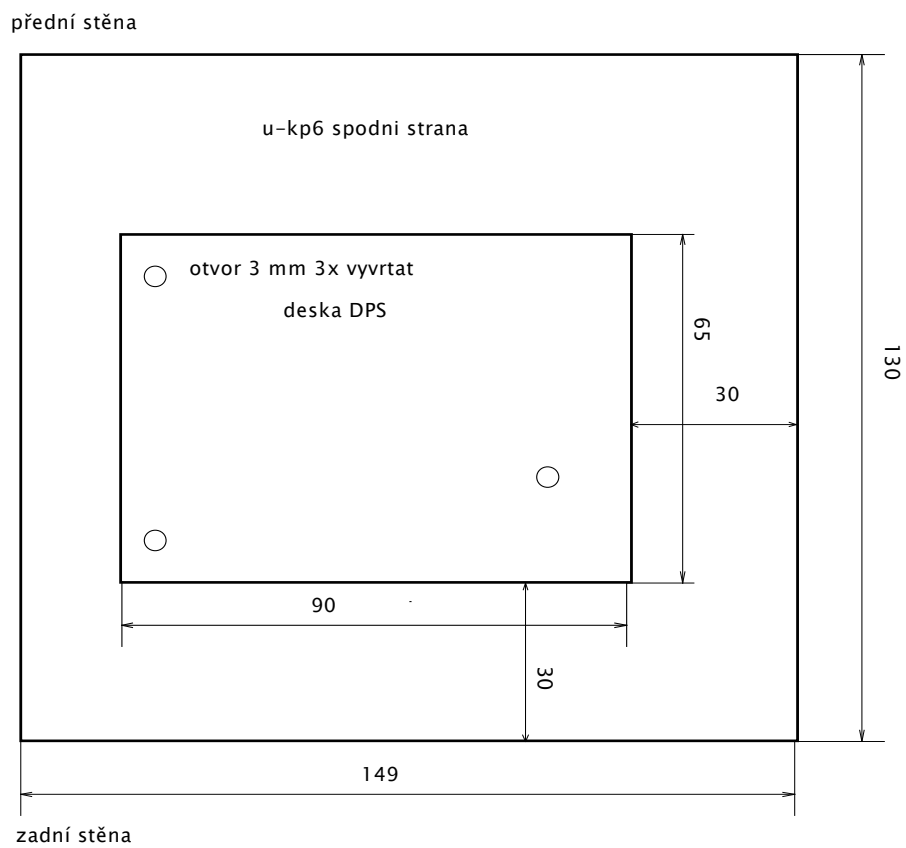




## Osazení svorek a potenciometru – přední a zadní strana



## Umístění desky zesilovače v krabičce U-KP06



## NÍZKOFREKVENČNÍ DVOUSTUPŇOVÝ ZESILOVAČ SE ZPĚTNOU VAZBOU

### Vybavení pracoviště – U

Sada součástek pro zesilovač	1 ks
Deska plošného spoje dle návrhu	1 ks
Stabilizovaný zdroj 12 V	1 ks
Sada nářadí pro práci s elektronickými součástkami	1 ks
Pájecí stanice	1 ks
Katalog součástek	1 ks

### Potřebné měřicí přístroje:

Milivoltmetr 10 Hz – 1 MHz

NF generátor tvarových kmitů

Osciloskop 20 MHz

Univerzální měřicí přístroj (např. DT-830B)

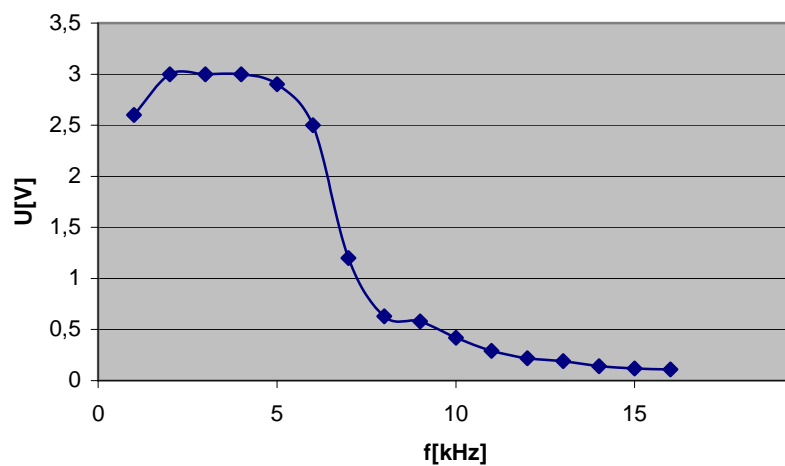
### 5.1.3 Správné řešení - zesilovače

Hodnoty v tabulce jsou pouze informativní a mohou se lišit dle tolerance použitých součástek.

**Tabulka:**  $A_u = 20 \cdot \log U_2/U_1$

f[Hz]	A[dB]	U[V]
10	36,2	2,6
100	37,5	3
200	37,5	3
500	37,5	3
1k	37,2	2,9
2k	35,9	2,5
5k	29,5	1,2
10k	23,9	0,63
12k	23,2	0,58
15k	20,4	0,42
18k	17,2	0,29
20k	14,8	0,22
40k	13,5	0,19
60k	10,8	0,14
100k	9,5	0,12
500k	8,7	0,11

**Kmitočtová charakteristika zesilovače**



**Tabulka naměřených hodnot:**

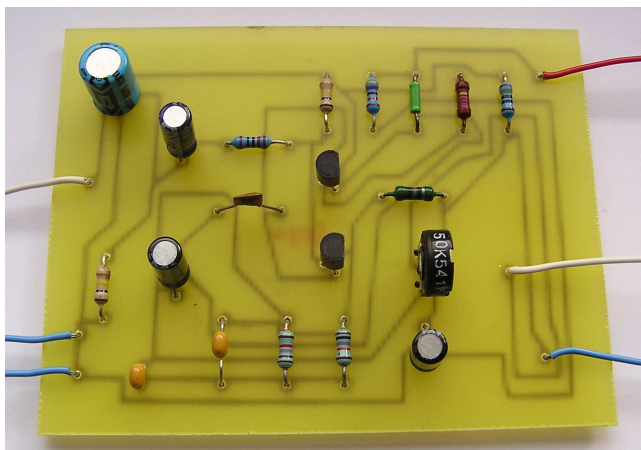
R1=10k, R2=10k, C4=10nF, C5=10nF

U1=40mV = konstantní úroveň

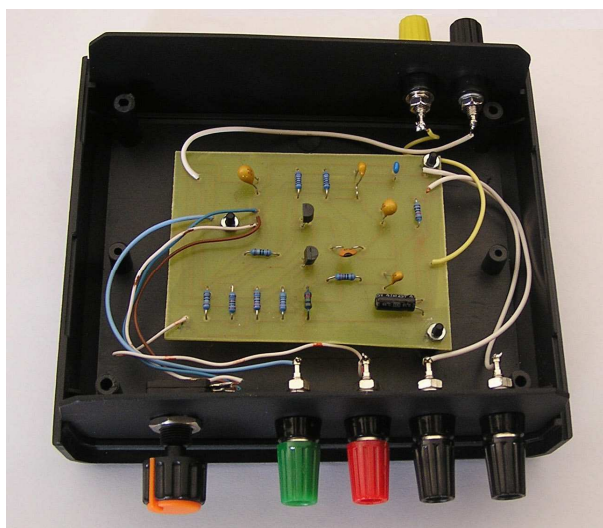
F[Hz]	10	100	200	500	1k	2k	5k	10k	12k	15k	18k
U1[mV]	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
U2[mV]	2600	3000	3000	3000	2900	2500	1200	630	580	420	290
A[dB]	36,2	37,5	37,5	37,5	37,2	35,9	29,5	23,9	23,2	20,4	17,2

F[Hz]	20k	40k	60k	100k	
U1[mV]	40	40	40	40	
U2[mV]	220	190	140	120	
A[dB]	14,8	13,5	10,8	9,5	

**Pohled na osazenou desku:**



**Umístění desky v krabičce:**



### 5.1.4 Hodnocení, kritéria a pravidla

#### Hodnotící tabulka

Praktická ZZ		Název školy, kde se zkouška koná			Úloha č.
Zahájení zkoušky .....		Datum .....			
Ukončení zkoušky .....		Třída .....			
JMÉNO: .....		PŘÍJMENÍ: .....			
POLOŽKA	HODNOCENÍ			MAX. BODY	BODY UOV
1	Osazení na desku plošného spoje, zapájení součástek a oživení zesilovače.			40	
2	Osazení zesilovače do krabičky a mechanické zpracování.			20	
3	Zapojení zesilovače pro měření zesílení.			5	
4	Měření frekvenční charakteristiky.			15	
5	Výpočet napěťového zesílení v dB.			5	
6	Vytvoření frekvenční charakteristiky. Možno použít výpočetní techniku.			10	
7	BOZP			5	
8					
9					
10					
<b>CELKEM</b>				<b>100 Bodů</b>	
Počet bodů	<b>100 – 88</b>	<b>87-70</b>	<b>69 - 54</b>	<b>53-43</b>	<b>42 - 0</b>
Hodnocení	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>

## 6 ZÁVĚR

V této práci bylo provedeno :

a) seznámení s užitím a principy generátorů tvarového signálu, včetně současného vývoje těchto generátorů .

b) Na základě zvoleného principu byl zkonstruován generátor tvarového signálu s předpokládanými parametry:

Kmitočtové rozsahy:

10 Hz a. 100 Hz,

100 Hz a. 1 kHz,

1 kHz a. 10 kHz,

10 kHz a. 100 kHz.

Výstupní mezivrcholové napětí: 4 V

Navíc bylo provedeno ověřovací měření, kdy byly změřeny výstupní parametry generátoru, jak je uvedeno dále.

c) Navržený a zkonstruovaný generátor dosáhl parametrů:

Výstupní napěťová úroveň při zátěži 600  $\Omega$ : pro obdélníkový signál 4 V šš

pro trojúhelníkový signál 4 V šš

pro sinusový signál 4 V šš

Výstupní úroveň signálu výstupu TTL pro zátěž 600  $\Omega$  je 4 V

Rozsah nastavitelných frekvencí pro jednotlivé frekvenční rozsahy:

11 Hz až 105 Hz,

101 Hz až 1 kHz,

1,05 kHz až 10,1 kHz,

10,2 kHz až 106 kHz.

d) **Vyvinutý a zrealizovaný generátor byl použit v autorem navržené úloze, která byla detailně zpracována pro praktické vyučování včetně navržené tabulky hodnocení.**

## 7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BRUNHOFER, V. a kol. Amatérské rádio B, č. 3, ročník 31, (1982), str.109 ÷ 111
- [2] SNOPEK, P. Přesný funkční generátor. Semestrální projekt, Brno, VUT, 2007
- [3] BAUMRUK, E. a kol. Dílenská příručka elektronika I, učební text, Plzeň, 1996
- [4] MECA, P. Amatérské rádio č. 12, ročník 50 (2001), str.2 ÷ 5, ISSN 0322-9572
- [5] LMS, Sdělovací technika: ročník (1979), číslo 4, str.149 ÷ 153
- [6] HUMLHANS, J. Rádio plus - KTE, magazín elektroniky, č. 9, ročník 7, (1999) , str.22 ÷ 25 . ISSN 1212-3730
- [7] VYSOKÝ, O. Elektronické systémy II: Praha, vydavatelství ČVUT, 2003, ISBN 80-01-02658-2
- [8] Katalogový list XR-2206. <http://www.elfa.se/pdf/73/730/07304421.pdf>, 5.11.2009
- [9] Katalogový list ths4001. <http://www.elfa.se/pdf/73/733/07339880.pdf>, 5.11.2009
- [10] VEDRAL, J. Elektronické obvody měřících přístrojů: Praha, vydavatelství ČVUT, 1994
- [11] CHALOUPEK, P. Jednotné zadání, Praha, MŠMT, 2007 - nezveřejněno!



## **Přílohy**

CD ROM, Katalogové listy