

Laboratorní úlohy z elektroniky (analogová část)

Vít Máčala

Bakalářská práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Vít Máčala
Osobní číslo: A21393
Studijní program: B0714A150006 Aplikovaná informatika v průmyslové automatizaci
Specializace: Inteligentní systémy s roboty
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Laboratorní úlohy z elektroniky (analogová část)
Téma práce anglicky: Laboratory tasks from electronics (analog part)

Zásady pro vypracování

- Seznamte se s obsahovou náplní předmětu Analogová a číslicová technika zařazeného do 3. ročníku bakalářského studia.
- Prostudujte stávající laboratorní úlohy.
- Z prostudovaného materiálu vyberte témata vhodná k ověření v laboratorních podmínkách.
- Na základě požadavků vedoucího bakalářské práce vypracujte zadání laboratorních úloh.
- Proveďte potřebná měření a vypracujte vzorové protokoly.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. FROHN, Manfred. *Elektronika: polovodičové součástky a základní zapojení*. Praha: BEN – technická literatura, 2006. ISBN 8073001233.
2. ZÁHLAVA, Vít a VOBECKÝ, Jan. *Elektronika: součástky a obvody, principy a příklady*. 3., rozš. vyd. Praha: Grada Publishing, 2005. ISBN 8024712415.
3. DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky*. 2. díl, Polovodičové prvky a elektronky : dioda, bipolární tranzistor, unipolární tranzistor, tyristor, triak, diak, trioda, vícemřížkové elektronky, obrazovka, Hallova sonda, magnetorezistor, magnetodioda, termistor, varistor. Praha: BEN – technická literatura, 2005. ISBN 8073001616.
4. DOLEŽAL, I. a kol. *Analogová elektronika*. 1. vydání. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, 2014. ISBN 978-80-7494-136-8.
5. MALINA, Václav. *Poznáváme elektroniku I*. 3. upr. a rozš. vyd. České Budějovice: Kopp, 2001. ISBN 8072320394.
6. RC společnost s r. o. přístroje pro vědu a vzdělání. *Modulový výukový systém rc2000 – μ LAB* [online]. c2016-2023 [cit. 2023-11-07]. Dostupné z: <https://www.rcdidactic.com/>

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lubomír Macků, Ph.D.**
Ústav řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce: **8. prosince 2023**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2024**

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 8. prosince 2023

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 20.05.2024

Vít Máčala v.r.
.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Práce obsahuje návrh šesti laboratorních úloh pro analogovou část předmětu Analogová a číslicová technika. Jednotlivé úlohy jsou sestaveny tak, aby studenti uplatnili své znalosti a poznatky získané z přednášek na praktických experimentech, které budou provádět v laboratorních cvičeních. Laboratorní úlohy jsou prováděny na nově zakoupených měřicích soustavách.

Laboratorní úlohy byly vytvořeny na témata: polovodičové diody, usměřovače a stabilizátory, tranzistory, zesilovače, tyristory a operační zesilovače. Součástí práce jsou teorie, zadání, návody a vypracování vzorových protokolů k jednotlivým laboratorním úlohám.

Klíčová slova: dioda, usměřovač, stabilizátor, tranzistor, tyristor, operační zesilovač

ABSTRACT

The diploma work contains a proposal of six laboratory exercises for the analogue part of the course Analogue and Digital Technology. The individual tasks are designed so that students apply their knowledge and insights gained from lectures to practical experiments that they will perform in laboratory exercises. The laboratory tasks are performed on newly purchased measuring systems.

The laboratory exercises were designed on the following topics: semiconductor diodes, rectifiers and stabilizers, transistors, amplifiers, thyristors and operational amplifiers. The work includes theories, assignments, tutorials and the development of sample protocols for each laboratory task.

Keywords: diode, rectifier, stabilizer, transistor, thyristor, operational amplifier

Poděkování

Děkuji Ing. Lubomíru Macků, Ph.D. za rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 SYSTÉM RC2000	11
1.1 POPIS ZÁKLADNÍCH MODULŮ SYSTÉMU RC2000.....	12
1.1.1 Měřicí jednotka	12
1.1.2 Generátor funkcí.....	13
1.1.3 Programovatelný DC zdroj	13
1.1.4 Voltmetr DC & AC RMS.....	14
1.1.5 Modul prvků.....	15
1.2 SEZNAM MODULŮ SYSTÉMU RC2000	15
1.3 SEZNAM MODULŮ NA ŠKOLNÍCH SESTAVÁCH	16
2 JEDNOTLIVÉ LABORATORNÍ ÚLOHY	18
2.1 POLOVODIČOVÁ DIODA	18
2.1.1 Úkol.....	18
2.1.2 Teorie	18
2.1.3 Zadání.....	22
2.2 USMĚRŇOVAČE A STABILIZÁTORY	25
2.2.1 Úkol.....	25
2.2.2 Teorie	25
2.2.3 Zadání.....	29
2.3 TRANZISTORY	32
2.3.1 Úkol.....	32
2.3.2 Teorie	32
2.3.3 Zadání.....	35
2.4 TRANZISTOR JAKO ZESILOVAČ	39
2.4.1 Úkol.....	39
2.4.2 Teorie	39
2.4.3 Zadání.....	42
2.5 VÍCEVRSTVÉ SOUČÁSTKY – TYRISTOR.....	45
2.5.1 Úkol.....	45
2.5.2 Teorie	45
2.5.3 Zadání.....	47
2.6 OPERAČNÍ ZESILOVAČE I.....	50
2.6.1 Úkol.....	50
2.6.2 Teorie	50
2.6.3 Zadání.....	53
2.7 OPERAČNÍ ZESILOVAČE II.....	57
2.7.1 Úkol.....	57
2.7.2 Teorie	57
2.7.3 Zadání.....	59
II PRAKTICKÁ ČÁST	62
3 VYPRACOVANÉ VZOROVÉ PROTOKOLY	63

3.1	ÚLOHA Č.1 – POLOVODIČOVÁ DIODA	63
3.1.1	Úkol.....	63
3.1.2	Seznam použitých přístrojů a součástek:	63
3.1.3	Schéματα zapojení.....	63
3.1.4	Vypracování	64
3.1.5	Zhodnocení výsledků měření	67
3.2	ÚLOHA Č.2 – USMĚRŇOVAČE A STABILIZÁTORY	68
3.2.1	Úkol.....	68
3.2.2	Seznam použitých přístrojů a součástek	68
3.2.3	Schéματα zapojení.....	68
3.2.4	Vypracování	69
3.2.5	Zhodnocení výsledků měření	75
3.3	ÚLOHA Č.3 – TRANZISTORY	76
3.3.1	Úkol.....	76
3.3.2	Seznam použitých přístrojů a součástek	76
3.3.3	Schéματα zapojení.....	76
3.3.4	Vypracování	77
3.3.5	Zhodnocení výsledků měření	79
3.4	ÚLOHA Č.4 – TRANZISTOR JAKO ZESILOVAČ	80
3.4.1	Úkol.....	80
3.4.2	Seznam použitých přístrojů a součástek	80
3.4.3	Schéματα zapojení.....	80
3.4.4	Vypracování	81
3.4.5	Zhodnocení výsledků měření	83
3.5	ÚLOHA Č.5 – VÍCEVRSTVÉ SOUČÁSTKY – TYRISTOR.....	84
3.5.1	Úkol.....	84
3.5.2	Seznam použitých přístrojů a součástek	84
3.5.3	Schéματα zapojení.....	84
3.5.4	Vypracování	85
3.5.5	Zhodnocení výsledků měření	86
3.6	ÚLOHA Č.6 – OPERAČNÍ ZESILOVAČE I.....	87
3.6.1	Úkol.....	87
3.6.2	Seznam použitých přístrojů a součástek	87
3.6.3	Schéματα zapojení.....	87
3.6.4	Vypracování	88
3.6.5	Zhodnocení výsledků měření	91
3.7	ÚLOHA Č.7 – OPERAČNÍ ZESILOVAČE II.....	92
3.7.1	Úkol.....	92
3.7.2	Seznam použitých přístrojů a součástek	92
3.7.3	Schéματα zapojení.....	92
3.7.4	Vypracování	93
3.7.5	Zhodnocení výsledků měření	96
	ZÁVĚR	97
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	98
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	100
	SEZNAM OBRÁZKŮ	101

SEZNAM TABULEK.....	104
SEZNAM PŘÍLOH.....	105

ÚVOD

Součástí bakalářského studia na fakultě Aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně je předmět Analogová a číslicová technika. Předmět má za úkol seznámit studenty se základy analogových a číslicových elektronických obvodů. První část je věnována polovodičům, jejich využití pro usměrnění a stabilizaci napětí. Jsou probrány bipolární a unipolární tranzistory, vícevrstvé spínací součástky, operační zesilovače a optoelektronické prvky. V číslicové technice jsou studenti seznámeni se způsoby minimalizace logických funkcí, jsou probrány kombinační a sekvenční obvody. Na závěr jsou prezentovány principy AD a DA převodníků. Předmět se skládá z přednášek a laboratorních cvičení. V laboratorních cvičeních by si měl student ověřit poznatky získané z přednášek na úlohách, které odpovídají náplni předmětu. Studenti by měli být schopni samostatně zapojit jednotlivé elektrické obvody, používat zdroje a měřicí přístroje a provádět měření. Nezbytnou součástí laboratorní úlohy je vypracování protokolu o provedeném měření.

Úkolem této práce je připravit sedm laboratorních úloh analogovou část předmětu Analogová a číslicová technika. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část nejprve obsahuje kapitolu popisující používanou měřicí soustavu a poté samostatné kapitoly obsahující jednotlivé laboratorní úlohy. Každá z kapitol je dále rozdělena na tři podkapitoly. V první podkapitole nalezneme zadání, ve kterém se student dozví základní požadavky k cvičení. Druhá podkapitola obsahuje teorii k měřené úloze. Třetí pak je návod k laboratorní úloze, kde je uveden postup řešení laboratorní úlohy. Praktická část obsahuje vypracované vzorové protokoly, které obsahují postup práce, naměřená data a vypočtené hodnoty, grafy a vyhodnocení měření.

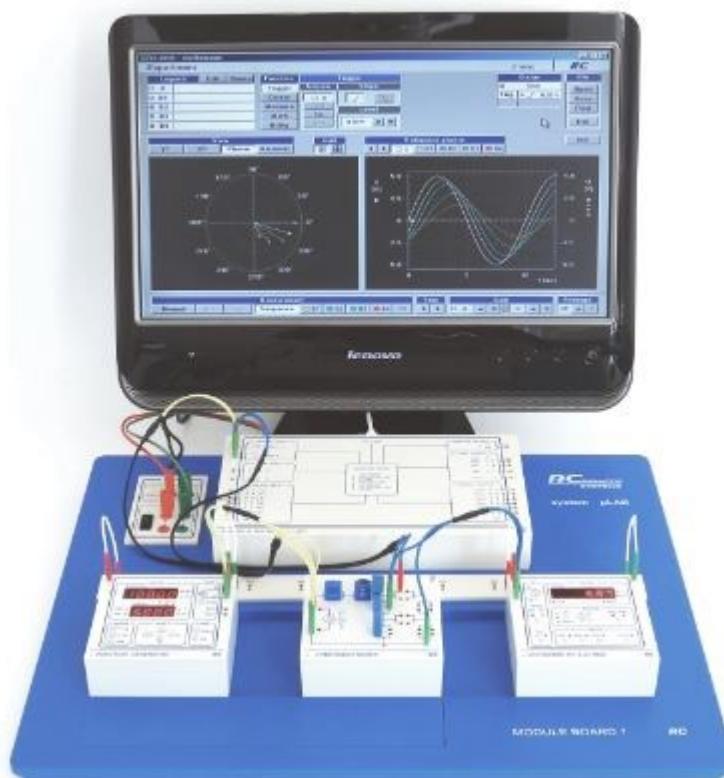
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SYSTÉM RC2000

System RC2000 od RC Didactic je komplexní výukový systém určený pro výuku v oblasti elektrotechniky, elektroniky, automatizace a výpočetní techniky. System je modulární, což znamená, že jednotlivé moduly lze snadno kombinovat a přizpůsobit specifickým potřebám výuky. To umožňuje vytvoření různých experimentů a laboratorních úloh. System se skládá z jednotlivých plně funkčních modulů, které lze pořídit v různých variantách nebo jej lze rozšířit zakoupením jednotlivých modulů samostatně.

System je tvořen jak diskrétními součástkami, tak jednotlivými moduly, které obsahují jednotlivé elektrotechnické součástky, které jsou zapojovány do propojovacího modulu prvků. Moduly jsou spojovány pomocí izolovaných vodičů s pozlacenými konektory. Jednotlivé moduly obsahují ochrany proti špatnému zapojení (přetížení) a ochranu všech vývodů proti napětí do ± 15 V. System využívá jednotné napájecí napětí 5 V, které je rozvedeno pomocí rozvodu na stole.

Jedním ze základních modulů systému RC 2000 je měřicí jednotka, která ve spojení s PC (programem rc2000) umožňuje měřit a generovat analogové a číslicové signály.



Obrázek 1 Systém RC2000[3]

1.1 Popis základních modulů systému RC2000

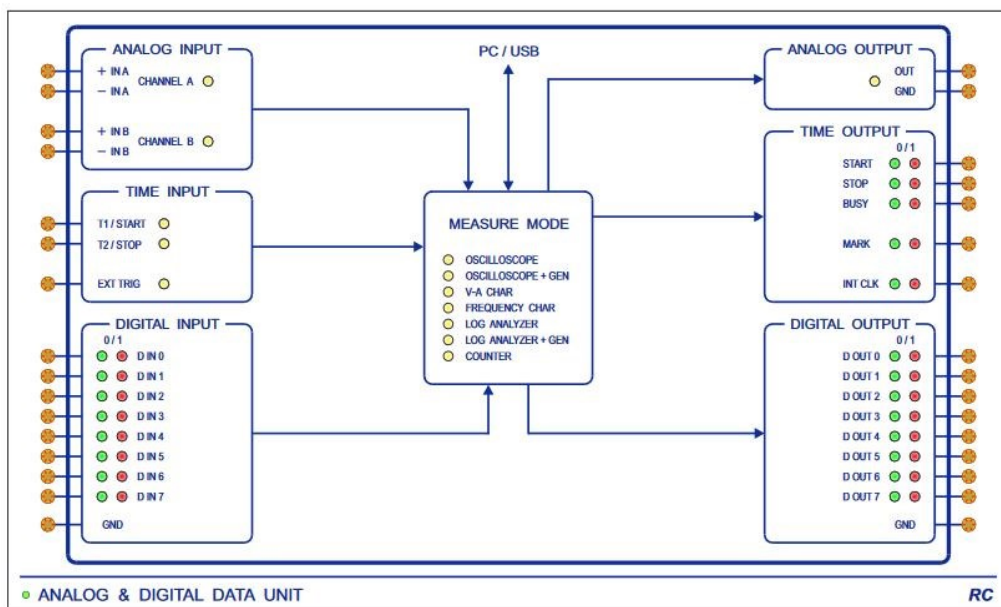
1.1.1 Měřicí jednotka

Měřicí jednotka umožňuje měření a generování analogových a digitálních signálů. Nastavení měření se provádí v programu na PC, kde je možné zobrazit naměřená data a průběhy. Jednotka obsahuje dva diferenciální analogové vstupy, analogový výstup s možností generování průběhu a digitální vstupy a výstupy ve standardu TTL.[3]

V programu rc2000 je možnost výběru ze sedmi pracovních módů. Program umožňuje přehledné a názorné zobrazení výsledků (grafy, fázové diagramy atd.).

Měřicí módy:

- Dvoukanálové diferenciální měření napětí (OSCILLOSCOPE)
- Generátor funkcí a jednocanálový osciloskop (OSCILLOSCOPE + GEN)
- Měření voltampérových charakteristik (V-A CHARACTERISTIC)
- Měření amplitudových a fázových frekvenčních charakteristik (FREQUENCY CHAR)
- Osmikanálový logický analyzátor (LOGIC ANALYZER)
- Osmikanálový logický generátor a osmikanálový logický analyzátor (LOGIC ANALYZER + GEN)
- Dvoukanálový čítač (COUNTER)



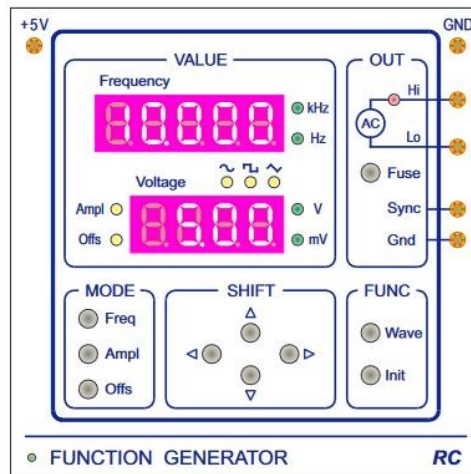
Obrázek 2 Měřicí jednotka[3]

1.1.2 Generátor funkcí

Jedná se o programovatelný generátor sinusového, obdélníkového a trojúhelníkového napětí.

Vlastnosti:

- Inkrementální nastavení všech parametrů (amplitudy, frekvence, offsetu)
- Ochrana výstupu proti přetížení
- Synchronizační výstup
- Výstupní odpor $< 100\text{m}\Omega$
- Maximální hodnota napětí 10 V (přesnost $\pm 1\%$)
- Maximální frekvence 10 kHz (přesnost $\pm 0,001\%$)
- Maximální výstupní proud 22 mA[3]



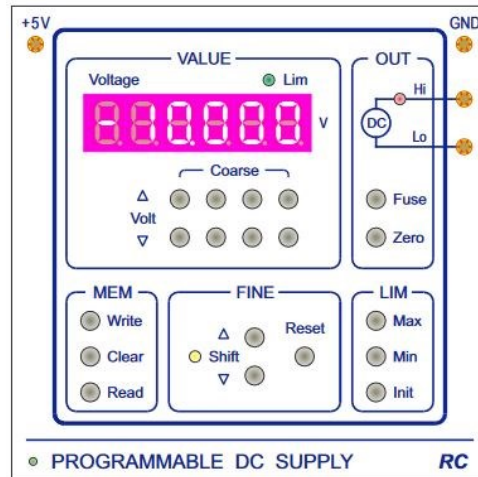
Obrázek 3 Generátor funkcí[3]

1.1.3 Programovatelný DC zdroj

Jedná se o zdroj vysoce stabilního stejnosměrného napětí. Zdroj má funkci nastavení výstupní hodnoty (LIM) a cyklicky volenou paměť pro osm hodnot napětí (MEM).

Vlastnosti:

- Inkrementální nastavení výstupního napětí
- Ochrana výstupu proti přetížení
- Výstupní odpor $< 100\text{m}\Omega$
- Maximální hodnota napětí $\pm 10\text{ V}$ s přesností $\pm (0,02\% + 0,5\text{ mV})$
- Maximální výstupní proud $\pm 22\text{ mA}$ [3]



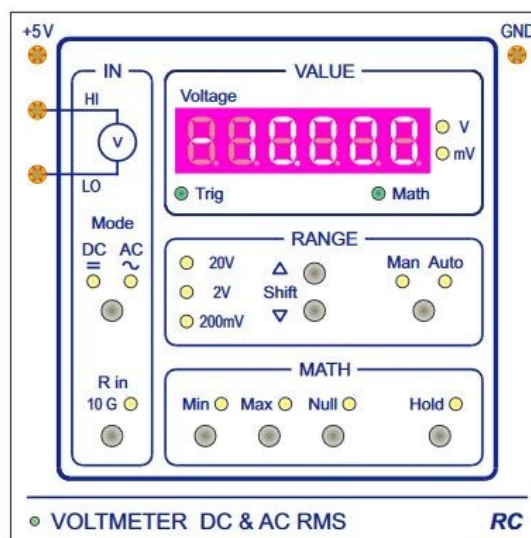
Obrázek 4 Programovatelný DC zdroj[3]

1.1.4 Voltmetr DC & AC RMS

Jedná se o 4,5 místný DC voltmetr a 3,5 místný True RMS voltmetr. Umožňuje automatickou nebo manuální volbu rozsahu a matematické funkce zobrazení minimální a maximální naměřené hodnoty.

Vlastnosti:

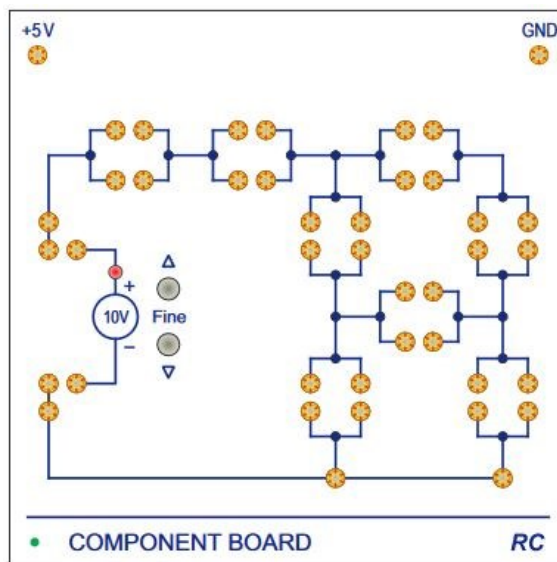
- Měřicí rozsah 200 mV až 20 V, AC frekvenční rozsah 10 Hz až 10 kHz
- DC vstupní odpor 10 M Ω (rozsah 200mV, 2 V, 20 V) a 10 G Ω (rozsah 200mV, 2 V)
- AC vstupní impedanci 10 M Ω / 50 pF
- Maximální hodnota napětí ± 10 V s přesností $\pm (0,02 \% + 0,5 \text{ mV})$
- Maximální výstupní proud $\pm 22 \text{ mA}$ [3]



Obrázek 5 Voltmetr DC & AC RMS[3]

1.1.5 Modul prvků

Modul prvků je univerzální propojovací pole, které umožňuje kombinovat paralelní a sériové spojování prvků. Obsahuje referenční zdroj 10 V DC s plovoucím výstupem (výstup zdroje je ochráněn proti přetížení).



Obrázek 6 Modul prvků[3]

1.2 Seznam modulů systému RC2000

Moduly zpracování dat a přístrojové moduly:

- Měřicí jednotka
- Generátor funkcí
- Programovatelný DC zdroj
- Voltmetr DC & AC RMS
- Modul třífázové soustavy
- Wheatstonův můstek

Moduly aktivních prvků:

- Modul prvků
- Modul prvků s přepínačem
- Modul operačního zesilovače
- Modul operačního zesilovače
- Modul přístrojového zesilovače
- Modul výkonového zesilovače
- Modul bipolárního tranzistoru NPN
- Modul bipolárního tranzistoru NPN
- Modul bipolárního tranzistoru JFET – N
- Modul tyristoru
- Modul převodníku napětí na proud

Moduly pasivních prvků:

- Odporová dekáda 1 (20 - 1019 Ω)
- Odporová dekáda 2 (1 - 999 k Ω)
- Kapacitní dekáda
- Kapacitní sestava

- Modul indukčnosti
- Modul transformátoru

Regulační moduly:

- Modul Soustavy motor – generátor
- Modul rozdílového členu
- Modul PID regulátoru
- Modul zpožďovacích členů

Číslicové moduly:

- Časová základna
- Logická sonda
- Logický volič
- Univerzální modul 74xxx

Moduly s bezsilovými patičkami:

- Modul s patičí 1x16
- Modul s patičí 1x40

Zdroje:

- Zdroj +5 V
- Zdroj +24 V

Rozvody napájení:

- Rozvod napájení univerzální
- Rozvod napájení pro 8 modulů

Kabely:

- Kabely propojovací
- Kabely dvojnásobné a přechodové
- Napájecí kabely

Diskrétní prvky:

- Dvoukolíkové prvky – rezistory
- Dvoukolíkové prvky – kondenzátory
- Dvoukolíkové prvky – prvky

1.3 Seznam modulů na školních sestavách

Moduly pořízené na školních sestavách byly vybrány s ohledem na náplň předmětu Analogová a číslicová technika. Pro měření optoelektronických prvků, které jsou součástí obsahu předmětu, nenabízí výrobce systému vhodné moduly a diskrétní prvky (fotorezistor, fototranzistor, optočlen), tudíž není optoelektronika součástí vypracovaných laboratorních úloh.

Každá školní sestava také obsahuje dva Multimetry MASTECH MY75. Níže vypsany seznam obsahuje seznam modulů, které se využívají pro analogovou část předmětu.

Moduly zpracování dat a přístrojové moduly:

- Měřicí jednotka
- Generátor funkcí
- Programovatelný DC zdroj
- Voltmetr DC & AC RMS
- Modul třífázové soustavy

Moduly aktivních prvků:

- Modul prvků
- Modul operačního zesilovače
- Modul bipolárního tranzistoru NPN
- Modul bipolárního tranzistoru PNP
- Modul bipolárního tranzistoru JFET – N
- Modul tyristoru

Moduly pasivních prvků:

- Odporová dekáda 1 (20 – 1019 Ω)
- Odporová dekáda 2 (1 - 999 k Ω)
- Kapacitní dekáda
- Kapacitní sestava
- Modul indukčnosti
- Modul transformátoru

Číslicové moduly:

- Časová základna
- Logický volič
- Logická sonda
- Univerzální modul 74xxx

Rozvody napájení:

- Rozvod napájení univerzální

Kabely:

- Kabely propojovací
- Kabely dvojnásobné a přechodové
- Napájecí kabely

Diskrétní prvky:

- Dvoukolíkové prvky – rezistory
- Dvoukolíkové prvky – kondenzátory
- Dvoukolíkové prvky – prvky

2 JEDNOTLIVÉ LABORATORNÍ ÚLOHY

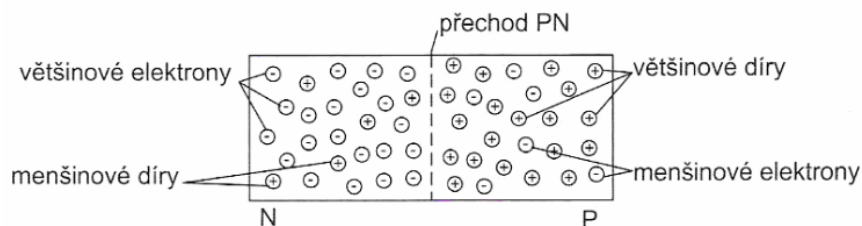
2.1 Polovodičová dioda

2.1.1 Úkol

1. Změřte VA charakteristiky následujících polovodičových diod pomocí systému rc2000
 - a) Usměrnovací diody
 - b) Zenerovy diody
 - c) Schottkyho diody
 - d) Luminiscenční diody (LED)
2. Ověřte vlastnosti vybraných omezovačů amplitudy
3. Ověřte vlastnosti vybraných zdvojovačů napětí

2.1.2 Teorie

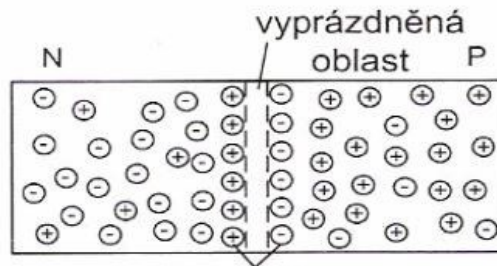
Pro pochopení fungování současných polovodičových součástek je klíčové znát základy a charakteristiky PN přechodu. V rámci jednoho krystalu polovodiče lze díky specifickým technologiím vytvořit oblasti s odlišným druhem vodivosti. Přechod PN představuje velmi tenkou vrstvu polovodiče, kde se vodivost typu N mění na vodivost typu P. Jak ukazuje obrázek 7, v polovodičích existují kromě majoritních nosičů náboje i nosiče minoritní. Tento jev je výsledkem přítomnosti malého množství obou typů nábojových nosičů v původním krystalu, což je způsobeno tím, že zcela čistý polovodič se v přírodě nevyskytuje.[1]



Obrázek 7 Přechod PN

V polovodiči typu P jsou převážně díry (kladné nosiče náboje), zatímco v polovodiči typu N jsou to elektrony (záporné nosiče náboje). Přebytek kladných děr v polovodiči P a elektronů v polovodiči N je docílen příměsí trímocných nebo pětímocných atomů do krystalu vlastního polovodiče. Elektrony a díry začnou přecházet z místa s vyšší koncentrací do místa s nižší koncentrací (difundovat). V této oblasti dojde k difuzi elektronů z oblasti N do oblasti P a děr z oblasti P do oblasti N. Tím vzniká vybitá oblast (depletiční

vrstva) kolem rozhraní, kde se elektrony a díry rekombinují a zanechávají za sebou nabitě ionty (pozitivní v N oblasti a negativní v P oblasti).[1]

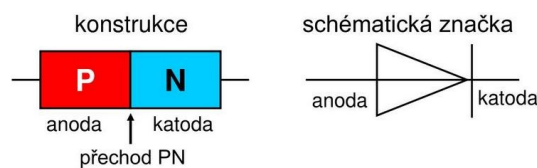


Obrázek 8 Vyprázdňená oblast přechodu PN

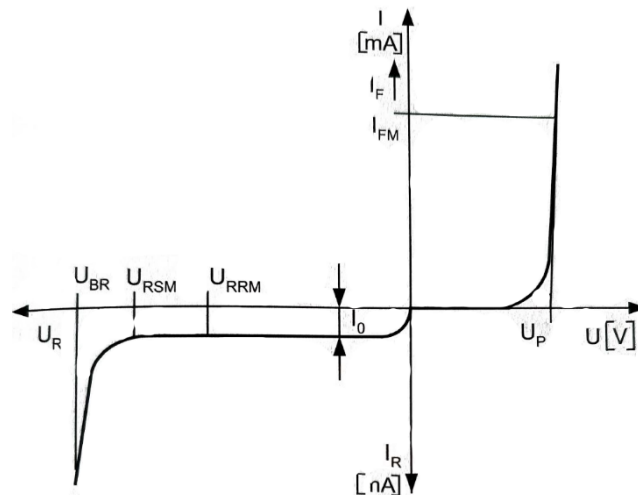
Difuzí elektronů z N do P vznikne na přechodu PN v oblasti P záporný prostorový náboj, difuzí děr do oblasti N vznikne na přechodu PN v oblasti N kladný prostorový náboj. Rozložení prostorového náboje vytváří na přechodu PN elektrické pole a tím i napětí U , které po dosažení určité velikosti zvané difusní napětí zabrání difuzi dalších volných nosičů náboje a nastane rovnovážný stav (vzniká tzv. potenciálová bariéra). [1]

Připojíme-li na vývod oblasti typu P, označovaný jako A (anoda) záporné napětí a na druhý vývod, označený jako K (katoda), kladné napětí, tak se potenciálová bariéra zvětší, dojde k rozšíření ochuzené oblasti a přechodem neprochází proud. Pokud obrátíme polaritu přiloženého napětí tak, aby byl kladný pól připojen na anodu a záporný na katodu, bude elektrostatické pole vytvořené tímto napětím působit proti potenciálové bariéře a dojde k rekombinaci kladných a záporných nábojů. Velikost potenciálové bariéry závisí na použitém polovodiči. Překročí-li přiložené napětí hodnoty potenciálové bariéry, bude šířka přechodu prakticky nulová. [2]

Polovodičové diody jsou elektronické součástky, které zpravidla obsahují jeden PN přechod. Její základní vlastností je umožnění průchodu elektrického proudu jedním směrem a blokování průchodu směrem druhým. Obr. 10 znázorňuje V-A charakteristiku polovodičové usměrňovací diody.



Obrázek 9 Schématická značka polovodičové diody



Obrázek 10 V-A charakteristika polovodičové usměrňovací diody

U_P – prahové napětí diody

I_{FM} – maximální proud v propustném směru

U_{RRM} – opakovatelné špičkové napětí (nejvyšší přípustná hodnota závěrného napětí, kterou lze periodicky zatížit diodu)

U_{RSM} – neopakovatelné špičkové napětí (nejvyšší přípustná hodnota závěrného napětí, která náhodně vznikne při provozu)

U_{BR} – průrazné napětí (dochází ke zničení přechodu PN)

Parametry polovodičové diody:

- Prahové napětí – jedná se o napětí, které je třeba přiložit na diodu, aby došlo k jejímu otevření, tj. aby jí mohl protékat proud (závisí na materiálu, křemík 0,6 V až 0,7V, germanium 0,2 V až 0,3 V).
- Dynamický odpor – jedná se o velikost odporu otevřené diody pro malý střídavý proud. Ten je dán sklonem charakteristiky v propustném směru.
- Maximální závěrné napětí – jedná se o maximální napětí, které dioda v opačném směru udrží, než se prorazí (běžné křemíkové diody 50 V až 1500 V).
- Zbytkový proud – jedná se o proud, který prochází diodou v opačném směru.[1]

Rozdělení polovodičových diod:

Podle konstrukce:

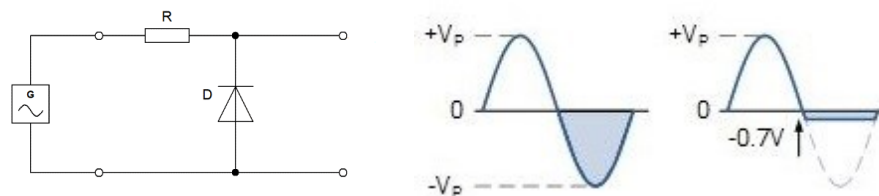
- Hrotové – využívají přechod kov-polovodič, použití pro vysoké frekvence.
- Plošné (slitinové, difuzní, planární, Schottkyho)

Podle použití:

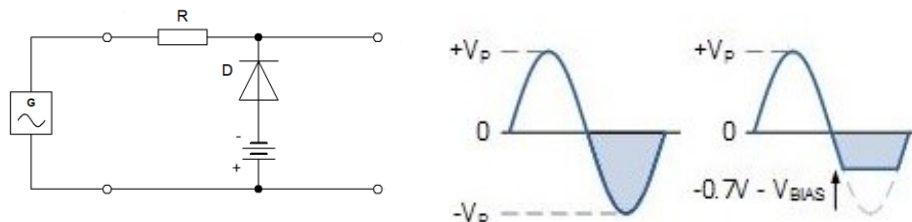
- Usměrňovací – nízkovýkonové a výkonové
- Stabilizační a referenční (tzv. Zenerova dioda)
- Tunelové a inverzní
- Detekční a spínací
- Kapacitní (varikapy a varaktory)
- fotodiody
- luminiscenční (svítivé a laserové)

Aplikace polovodičové diody:

Omezovače amplitudy (okrajovače) jsou elektronické obvody využívané k omezení amplitudy signálu na určitou maximální hodnotu. Tyto obvody se využívají v různých aplikacích, jako je ochrana citlivé elektroniky před vysokými napěťovými špičkami, zpracování signálů a v radiokomunikačních zařízeních.

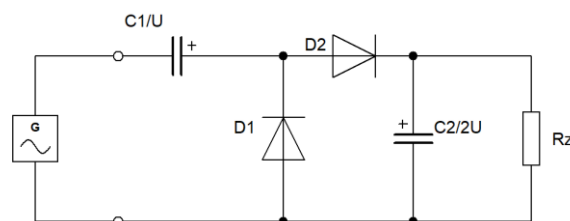


Obrázek 11 Omezovač amplitudy



Obrázek 12 Omezovač napětí s pomocným zdrojem napětí

Zdvojovače a násobiče napětí jsou elektronické obvody navržené k zvýšení napětí bez nutnosti použití transformátoru. Tyto obvody jsou obvykle postaveny na diodách a kondenzátorech a využívají principy usměrňování a nabíjení kondenzátorů k dosažení požadovaného nárůstu napětí.

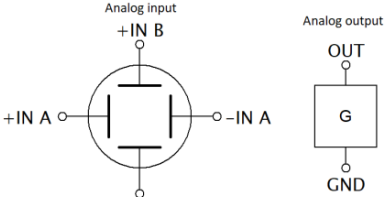


Obrázek 13 Greinacherův zdvojovač napětí

Je-li na dolním konci vstupního napětí kladná půlvlna, tak je dioda D_1 v propustném směru. Kondenzátor C_1 se nabíjí na maximální hodnotu vstupního střídavého napětí. Je-li na horním konci vstupního napětí kladná půlvlna, tak je dioda D_1 zavřená a dioda D_2 je otevřená. Kondenzátor C_2 se nabíjí přes diodu D_2 . V tuto chvíli se kondenzátor C_2 nabíjí na napětí, které je součtem napětí na kondenzátoru C_1 a aktuálního vstupního napětí.

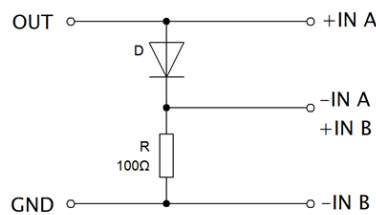
2.1.3 Zadání

Seznam použitých přístrojů a součástek

- | | | |
|-----|--|---|
| G | generátor funkcí (viz obr. 14) |  |
| Osc | měřicí jednotka RC (viz obr. 14) | |
| U | Programovatelný DC zdroj | <p>Obrázek 14 Zapojení měřicí jednotky RC</p> |
| R | Odporová dekáda, rezistory 100Ω , $1k\Omega$ | |
| C | Kondenzátory $1\mu F$ | |
| D | Usměrňovací dioda, Zenerova dioda, Schottkyho dioda, luminiscenční dioda | |
- Modul prvků

Ad1) Měření V-A charakteristik

Schéma zapojení:

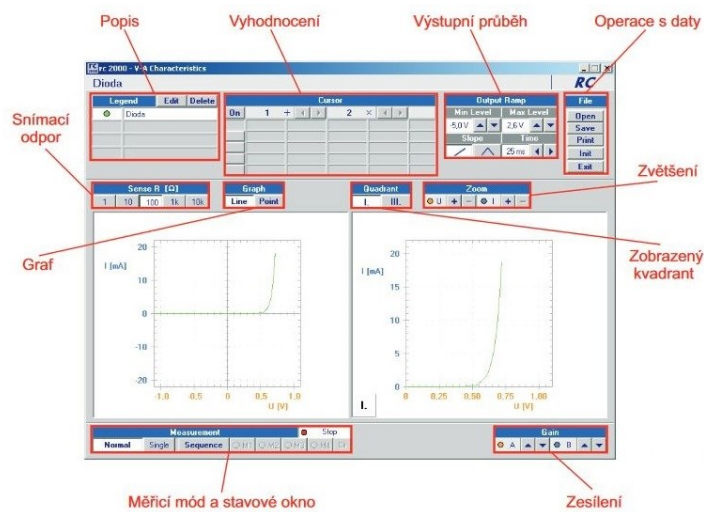


Obrázek 15 Schéma zapojení pro měření V-A charakteristiky

Postup měření:

- Zapojíme součástky dle schématu zapojení. K měření VA charakteristiky používáme měřicí jednotku RC a program rc2000.
- Spustíme program rc2000 a vybereme režim V/A CHARACTERISTICS. V dolním levém rohu přepneme měřicí mód na Sequence, dle schématu nastavíme hodnotu snímacího odporu (Sense R) a výstupní průběh (Output Ramp) na -5 až +5 V.

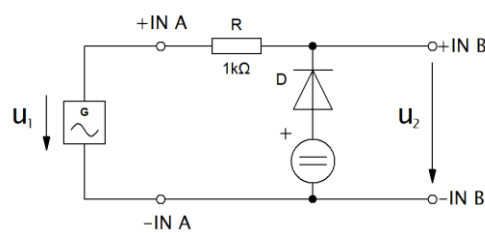
- c) Stiskem tlačítka M1 v sekci Measurement změříme V-A charakteristiku Si diody. Vhodně nastavte velikosti os pomocí tlačítek Gain, pokud průběh napětí souhlasí tak vyměníme diodu za Schottkyho diodu a stiskem M2 vykreslíme druhou charakteristiku do stejného grafu k porovnání.
- d) Tlačítkem Edit lze přidat popisy jednotlivých charakteristik. Poté naměřené hodnoty uložíme pomocí tlačítka Save v sekci File. Obrázek lze uložit tlačítkem Print.
- e) Stejným způsobem změříme V-A charakteristiky Zenerových diod a luminiscenčních diod. U Zenerových diod nastavíme Output Ramp na -7 až +3 V, u luminiscenčních na -5 až 3,4 V. Výsledné charakteristiky uložíme.



Obrázek 16 RC 2000 popis prostředí [3]

Ad2) Měření vybraných omezovačů amplitudy

Schéma zapojení:



Obrázek 17 Schéma zapojení omezovačů amplitudy

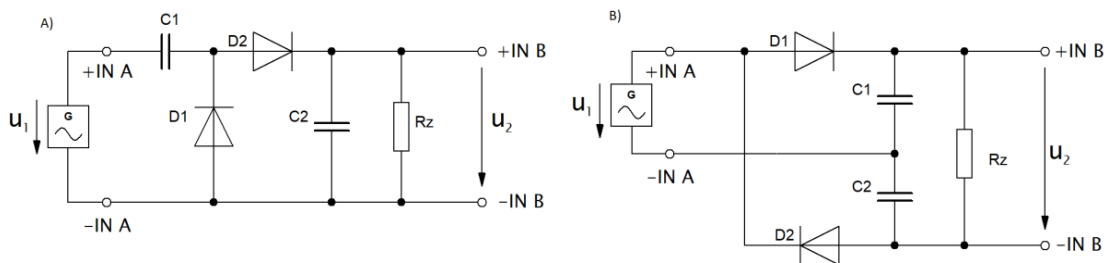
Postup měření:

- Zapojíme obvod dle schématu.
- Na generátoru napětí nastavíme amplitudu 5 V a frekvenci 100 Hz, na stejnosměrném zdroji ponecháme 0 V.

- c) Spustíme program rc2000 a vybereme režim OSCILLOSCOPE, režim zobrazení YT (zobrazení dvoukanalového časového průběhu). V programu použijeme měřicí mód Sequence. Tlačítkem B1 vykreslíme první průběh napětí. Poté nastavíme na stejnosměrném zdroji +2 V a tlačítkem B2 vykreslíme druhý průběh. Stejným postupem vykreslíme průběh pro +4 V a -2 V do jednoho obrázku. Charakteristiky popíšeme a uložíme.
- d) Změníme polaritu diody a zopakujeme měření z bodu c.

Ad3) Měření vybraných zdvojovačů amplitudy

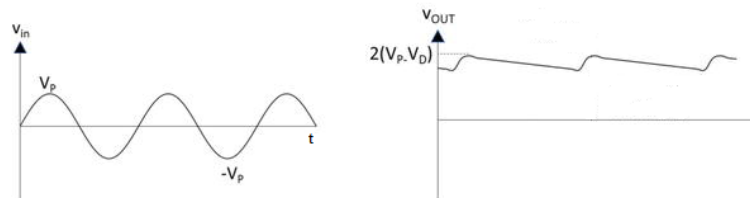
Schéma zapojení:



Obrázek 18 Schéma zapojení zdvojovačů amplitudy

Postup měření:

- a) Zapojíme obvod dle schématu (sériový zdvojovač – obr. A).
- b) Na generátoru napětí nastavíme amplitudu 5 V a frekvenci 100 Hz.
- c) V programu rc2000 použijeme měřicí mód Sequence. Na odporové dekádě nastavíme zatěžovací odpor 5 kΩ a tlačítkem B1 v sekci Measurement vykreslíme průběhy napětí. Stejným postupem vykreslíme průběhy pro zatěžovací odpor 10 kΩ, 30 kΩ, 200 kΩ do jednoho obrázku. Charakteristiky popíšeme a uložíme.
- d) Zapojíme obvod 2 (paralelní zdvojovač – obr. B) dle schématu.
- e) Měření provádíme stejně jako u sériového zdvojovače.



Obrázek 19 Průběh napětí na sériovém zdvojovači amplitudy

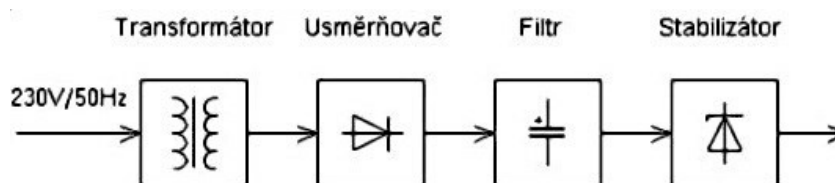
2.2 Usměrňovače a stabilizátory

2.2.1 Úkol

1. Ověřte vlastnosti jednocestného usměrňovače
2. Ověřte vlastnosti dvoucestného můstkového usměrňovače
3. Ověřte vlastnosti stabilizátoru se Zenerovou diodou
4. Ověřte vlastnosti integrovaného stabilizátoru
5. Ověřte vlastnosti sériového stabilizátoru

2.2.2 Teorie

Většina současných elektrických a elektronických zařízení potřebuje pro svou činnost spolehlivé napájení. Elektronické obvody běžně pracují se stejnosměrným proudem, zatímco elektrická energie se distribuuje ve formě střídavého proudu. Na obrázku 20 je zobrazeno zjednodušené blokové schéma napájecího zdroje.



Obrázek 20 Zjednodušené blokové schéma napájecího zdroje[5]

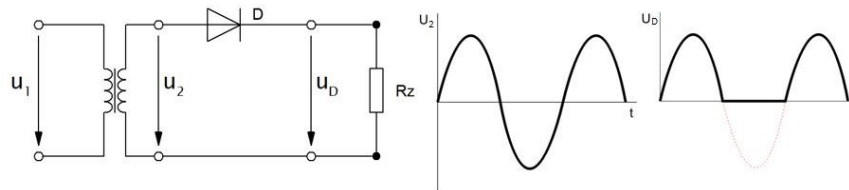
Usměrňovače

Usměrňovače jsou elektrická zařízení, které se používají k přeměně střídavého elektrického proudu na proud stejnosměrný. Hlavním účelem usměrňovačů je umožnit průchod elektrického proudu pouze v jednom směru, čímž se dosáhne toho, že střídavé napětí se převede na napětí stejnosměrné.

Rozdělení usměrňovačů:

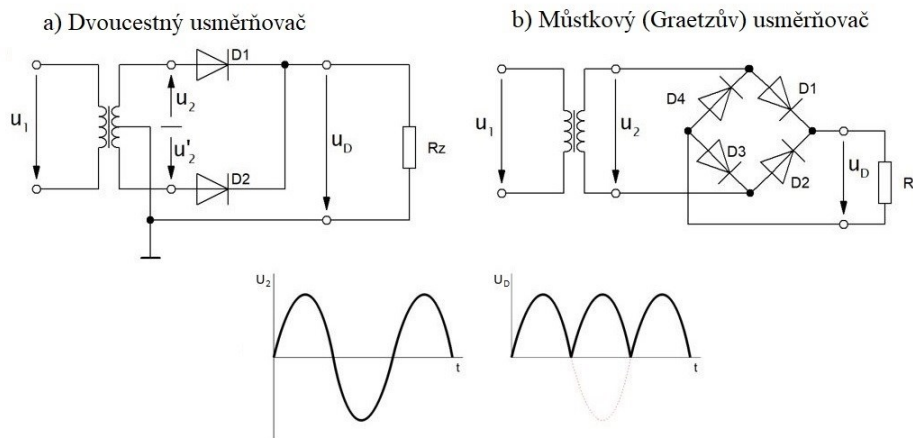
- Neřízené – výstupní napětí je určeno zapojením usměrňovače (jednocestné, dvoucestné, vícecestné)
- Řízené – výstupní napětí je možno regulovat (s tyristorem, s triakem)

Nejjednodušším typem neřízeného usměrňovače je jednocestný usměrňovač, kde je v sérii zapojena jedna polovodičová dioda.



Obrázek 21 Jednocestný usměrňovač

Je-li na horním konci výstupního vinutí transformátoru kladná půlvlna, tak obvodem protéká proud, který teče ve směru od horního konce sekundárního vinutí transformátoru, přes diodu D, na zátěž R_Z . Při záporné půlvlně je dioda v závěrném stavu a neprotéká žádný proud. Výstupní napětí tudíž obsahuje jen kladné půlvlny snižené o úbytek napětí na diodě. Výhodou tohoto zapojení je jeho jednoduchost, nevýhodou je nízké proudové zatížení a horší filtrace výstupního napětí.



Obrázek 22 Dvoucestné usměrňovače

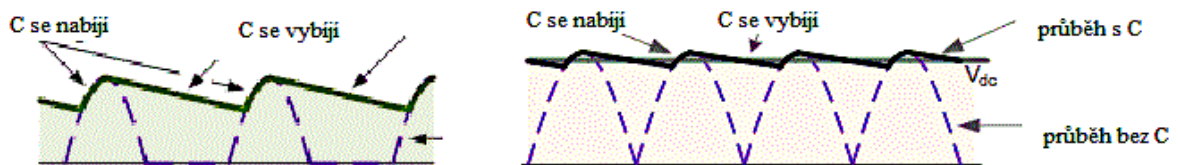
U dvoucestných usměrňovačů jsou usměrněny obě půlvlny střídavého napětí. Dvoucestný usměrňovač využívá síťový transformátor s vyvedeným středem sekundárního napětí, které nám vytváří dvě stejná napětí posunutá o 180° vzhledem ke středu. Diody D_1 a D_2 tedy fungují jako jednosměrné usměrňovače napětí, které se navzájem střídají. Nevýhodou tohoto zapojení je použití složitějšího transformátoru s vyvedeným středem a diody jsou zatíženy velkým závěrným proudem.

Jednodušší transformátor využívá můstkový usměrňovač, jsou zde však použity čtyři usměrňovací diody. Princip můstkového usměrňovače je následující. Je-li na horním konci sekundárního vinutí kladná půlvlna napětí, tak proud protéká přes diodu D_1 do zátěže R_Z a přes diodu D_3 se vrací na spodní konec vinutí transformátoru. Pokud je kladná půlvlna na spodním konci vinutí, tak proud protéká přes diodu D_2 do zátěže a přes D_4 na horní konec

vinutí. Výhodou můstkového zapojení je nižší zatížení diod v závěrném směru a použití jednoduššího transformátoru. Můstkové usměrňovače se hojně vyrábějí jako integrované obvody v jednom pouzdře, jehož velikost závisí na výkonu a použití. [1]

Vyhlazování a filtrace

Usměrňovače vytvářejí pulzující stejnosměrné napětí. K vyhlazení pulzujícího průběhu usměrněného napětí se používá kondenzátor C, který je zapojen na výstupní straně usměrňovače, tj. paralelně k odporové zátěži R. Při zapojení vyhlazovacího kondenzátoru na výstup usměrňovač se kondenzátor při průchodu špiček amplitud diodami nabíjí a při poklesu napětí pod napětí kondenzátoru se kondenzátor vybíjí do zatěžovacího obvodu. Poklesy výstupního napětí budou vyrovnávány. Tím vzroste střední hodnota výstupního napětí. Funkci vyhlazovacího kondenzátoru znázorňuje obrázek 23.[4]



Obrázek 23 Průběh napětí při použití vyhlazovacího kondenzátoru [6]

Stabilizátory

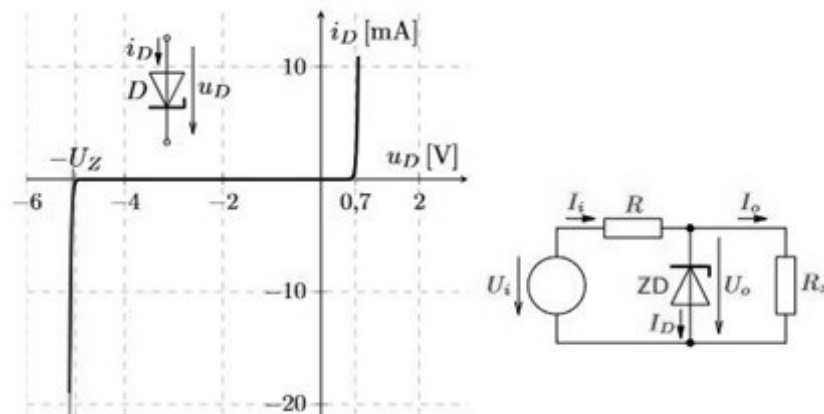
Stabilizátory napětí jsou elektrická zařízení, která se používají k udržování konstantního výstupního napětí navzdory změnám vstupního napětí nebo zátěže. Hlavním účelem stabilizátorů napětí je chránit citlivé elektronické zařízení před kolísáním napětí, které může způsobit jejich poškození nebo nesprávnou funkci.

Rozdělení stabilizátorů:

- Parametrické
- Integrované
- Se zpětnou vazbou (degenerativní)

Parametrické stabilizátory

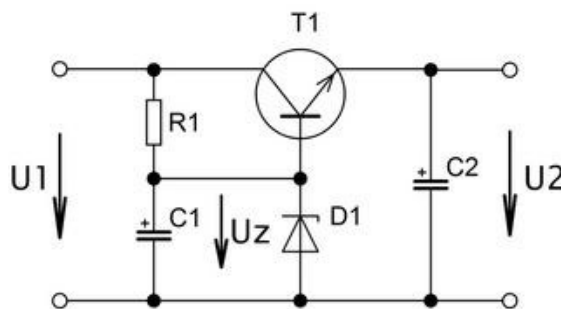
U parametrických stabilizátorů se využívá nelineární V-A charakteristiky především Zenerovy diody (viz obr.24). Stabilizátor využívá závěrný směr diody, kde při zvýšení vstupního napětí nad Zenerovo napětí nastává Zenerův či lavinový průraz, čímž se výrazně zvýší závěrný proud diodou, a tím i úbytek na omezovacím rezistoru R. Zvýšení napětí U_2 způsobí prudký nárůst proudu diodou v závěrném směru.



Obrázek 24 V-A charakteristika Zenerovy diody a schéma stabilizátoru se ZD [7]

Pokud není připojena žádná zátěž přes Zenerovu diodu, nezatíží ji žádný proud a veškerý proud z obvodu projde Zenerovou diodou, což může vést k přehřátí a trvalému poškození diody. Proto je důležitá správná volba hodnoty sériového odporu R , který omezuje proud diodou, aby nedošlo k překročení maximálního ztrátového výkonu diody bez zátěže nebo při vysoké impedanci. Pokud je zátěž připojena paralelně k Zenerově diodě, napětí na zátěži bude stejné jako napětí na Zenerově diodě. Rozdíl napětí mezi vstupem a výstupem stabilizátoru je vytvořen na rezistoru R . [6]

Doplňme-li stabilizátor se Zenerovou diodou regulačním prvkem – tranzistorem, zapojeným do série se zátěží, vznikne sériový stabilizátor.



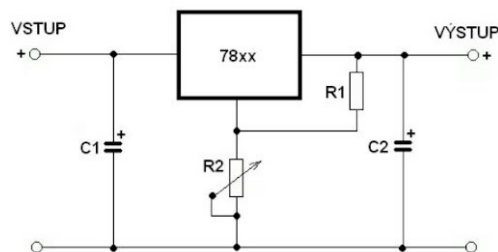
Obrázek 25 Sériový stabilizátor napětí [5]

Funkce sériového stabilizátoru je založena na konstantní velikosti referenčního napětí U_{ZD} . Pokles výstupního napětí způsobí zvětšení napětí U_{BE} a tím větší otevření tranzistoru a naopak. Parametrický stabilizátor je zatěžován (minimálně) proudem do báze tranzistoru. Elektrolytické kondenzátory slouží k filtraci výstupního napětí. Nevýhodou zapojení je malá odolnost proti zkratu na výstupu.

Integrované stabilizátory

Většinou se jedná o zpětnovazební stabilizátory se spojitou regulací se sériovým zapojením regulačního tranzistoru. Všechny současné stabilizátory mají proudové a tepelné pojistky, které chrání tranzistor před poškozením při přetížením.[1]

Integrované stabilizátory se dělí do dvou skupin. První skupinou jsou obvody jednoúčelové, které mají stabilizaci výstupního napětí jedné hodnoty, která se nedá změnit. Druhou skupinou jsou obvody, které dokáží pracovat s různým výstupním napětím změnou nastavení pasivních prvků. Oproti obvodům s pevným napětím mají zpravidla menší výkonovou zatížitelnost. [1]



Obrázek 26 schéma integrovaného stabilizátoru 78xx

2.2.3 Zadání

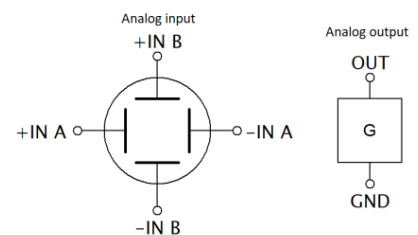
Seznam použitých přístrojů a součástek

- G generátor funkcí (viz obr.27)
- Osc měřicí jednotka RC (vit obr.27)
- U Programovatelný DC zdroj
- V Voltmetr DC a AC
- A Multimetr Mastech
- D Usměrňovací dioda, Z_D Zenerova dioda
- C Kapacitní sestava
- R Zatěžovací odpor 10 k Ω , odpor 100 Ω , 200 Ω

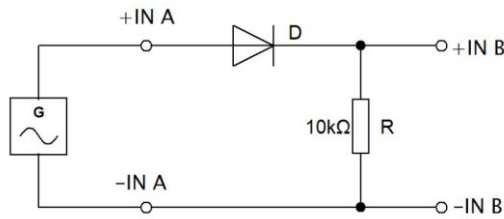
Modul bipolárního tranzistoru NPN (BC546B), Modul prvků

Ad1) Měření jednocestného usměrňovače

Schéma zapojení:



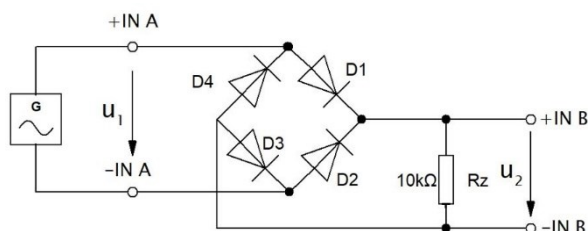
Obrázek 27 Zapojení měřicí jednotky RC



Obrázek 28 Schéma zapojení jednocestného usměrňovače

Postup měření:

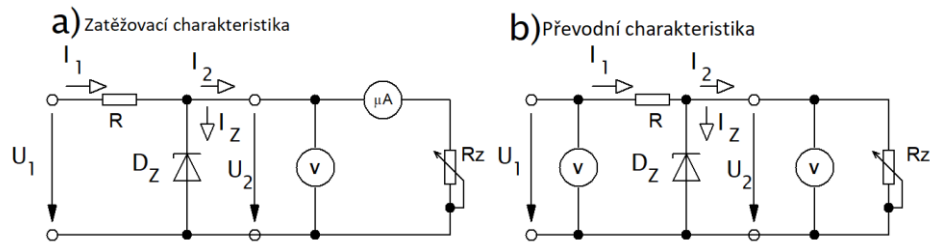
- Zapojíme obvod dle schématu.
- Na generátoru napětí nastavíme amplitudu 5 V a frekvenci 100 Hz.
- Spustíme program rc2000 a vybereme režim OSCILLOSCOPE, časový režim YT. V dolním levém rohu přepneme měřicí mód na Single. Zkontrolujeme správnost průběhů vstupního a výstupního napětí, tlačítkem Edit popíšeme průběhy a naměřené hodnoty uložíme.
- Na výstup usměrňovače připojíme kapacitní sestavu.
- V programu přepneme měřicí mód na Sequence. Na kapacitní sestavě nastavíme kapacitu 5 μF a tlačítkem B1 v sekci Measurement vykreslíme průběhy napětí. Stejným postupem vykreslíme průběhy pro kapacitu 2 μF , 1 μF a bez připojené kapacity do jednoho obrázku.
- Charakteristiky popíšeme a uložíme.
- Změníme zatěžovací odpor na 20 k Ω a měření opakujeme.

Ad2) Měření můstkového usměrňovače**Schéma zapojení:**

Obrázek 29 Schéma zapojení můstkového usměrňovače

Postup měření:

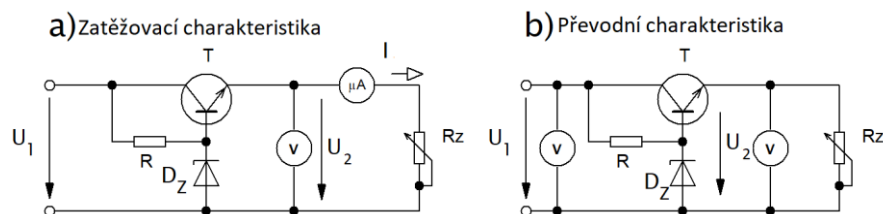
- Zapojíme obvod dle schématu
- Měření provádíme stejně jak v předešlém zapojení (bod a až g).

Ad3) Měření stabilizátoru se Zenerovou diodou[17]**Schéma zapojení:**

Obrázek 30 Schéma měření stabilizátoru se ZD

Postup měření:

- Zapojíme obvod dle schématu a). Vybereme rezistor s hodnotu 200Ω .
- Na stejnosměrném zdroji nastavíme 5 V .
- Budeme měnit odpor zátěže od $999 \text{ k}\Omega$ do $0,1 \text{ k}\Omega$. Krok, se kterým měníme odpor volíme nejprve po stovkách, poté po desítkách, a nakonec po jednotkách.
- Naměřené hodnoty napětí a proudů zapisujeme do tabulky ze které se vytvoří graf zatěžovací charakteristiky.
- Zapojíme obvod dle schématu b), na zatěžovacím odporu nastavíme $10 \text{ k}\Omega$.
- Budeme měnit napětí stejnosměrného zdroje od 0 V do $7,5 \text{ V}$. Krok, se kterým měníme napětí, je $0,3 \text{ V}$.
- Naměřené hodnoty vstupního a výstupního napětí zapisujeme do tabulky ze které se vytvoří graf převodní charakteristiky.

Ad4) Měření sériového stabilizátoru**Schéma zapojení:**

Obrázek 31 Schéma zapojení sériového stabilizátoru napětí

Postup měření:

- Zapojíme obvod dle schématu a). Vybereme rezistor s hodnotu 200Ω .
- Na stejnosměrném zdroji nastavíme 5 V .
- Měření zatěžovací a převodní charakteristiky provádíme stejně, jako v předešlé úloze

2.3 Tranzistory

2.3.1 Úkol

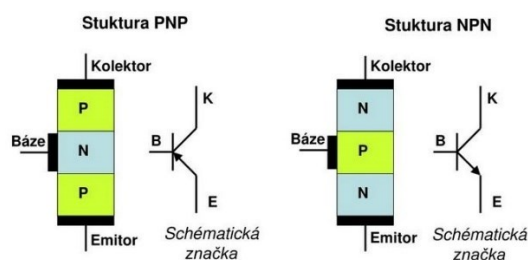
- 1) Změřte vstupní charakteristiku bipolárního tranzistoru typu NPN
- 2) Změřte převodní charakteristiku bipolárního tranzistoru typu NPN
- 3) Změřte výstupní charakteristiku bipolárního tranzistoru typu NPN
- 4) Změřte převodní charakteristiku unipolárního tranzistoru typu JFET-N
- 5) Změřte výstupní charakteristiku unipolárního tranzistoru typu JFET-N
- 6) Ověřte funkci tranzistoru ve funkci spínače

2.3.2 Teorie

Tranzistory jsou elektronické součástky (nejčastěji) se třemi elektrodami, které jsou v závislosti na jejich konkrétním zapojení schopny zesilovat buď napětí, nebo proud, nebo obojí současně. Podle toho, které nosiče náboje se zúčastňují na vedení proudu tranzistorem, rozlišujeme tranzistory na bipolární (BJT – Bipolar Junction Transistor) a unipolární (FET – Field Effect Transistor).

Bipolární tranzistory

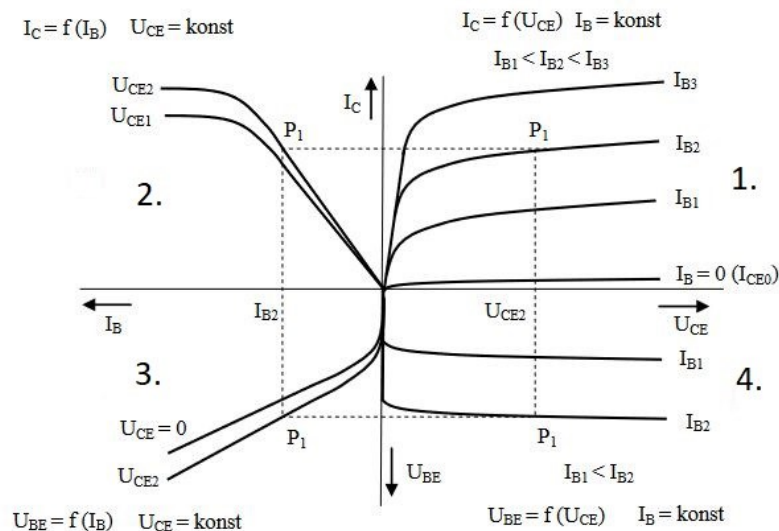
Bipolární tranzistory jsou tvořeny dvěma polovodičovými přechody a třemi elektrodami, které jsou označeny jako emitor, kolektor a báze. Tyto tranzistory se skládají ze tří vrstev polovodičového materiálu, které mají různé typy vodivosti. Střední vrstva je nazývána báze, zatímco krajní vrstvy jsou označovány jako emitor a kolektor.



Obrázek 32 Struktura bipolárního tranzistoru

Bipolární tranzistor je aktivní polovodičová součástka, která charakteristicky umožňuje zesílení signálu. Pokud otevřeme emitorový přechod připojením kladného na bázi vůči emitoru (záleží na materiálu tranzistoru, 0,6 až 0,7 V pro křemík) budou elektrony z emitorové oblasti přecházet do oblasti báze a zde rekombinovat s děrami a tím vytvářet uzavírat proud stejně jako u diody. Pokud však zároveň připojíme na kolektor větší napětí

než na bázi (kolektorový přechod polarizujeme v závěrném směru) bude většina elektronů, které jsou v oblasti báze minoritními nosiči náboje přecházet do kolektorové oblasti (kolektorový přechod je pro ně otevřen), do které jsou navíc přitahovány kladným napětím u_{CE} . Podíl proudů $I_C / I_B = \beta$ nazýváme proudovým zesilovacím činitelem, který je dán zejména konstrukcí tranzistoru. Chování tranzistoru nejlépe ilustrují statické charakteristiky. [7]



Obrázek 33 Statické charakteristiky NPN tranzistoru[8]

- 1) Výstupní charakteristika na prázdko $I_C = f(U_{CE})$
- 2) Proudová převodní charakteristika $I_C = f(I_B)$
- 3) Vstupní charakteristika nakrátko $I_C = f(I_B)$
- 4) Zpětná převodní charakteristika $U_{BE} = f(U_{CE})$










Bipolární tranzistor může pracovat ve čtyřech režimech činnosti:

- Nevodivý režim
- Aktivní
- Inverzní aktivní
- Saturační

Nevodivý režim představuje rozpojený tranzistor (neprobíhá proud). Tento režim se používá u tranzistorů pracujících jako spínač. V aktivním režimu tranzistor pracuje jako zesilovač signálu, a to buď od emitoru ke kolektoru (aktivní režim), nebo od kolektoru do emitoru (inverzní aktivní režim). Saturační režim představuje zcela sepnutý tranzistor, kdy je v bázi nadbytek volných nosičů náboje, které už nemohou vyvolat další proudové zesílení vstupního signálu. Tento režim se opět používá u tranzistoru jako spínače (sepnuto).[1]

Unipolární tranzistory

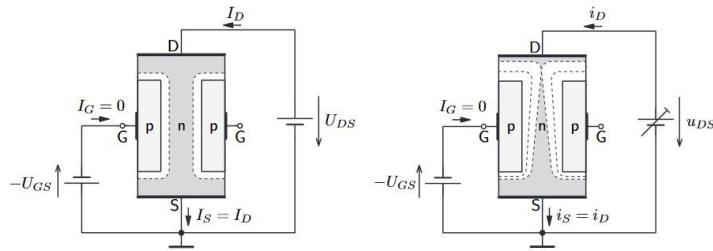
Unipolární tranzistor při činnosti využívá nosiče náboje pouze jednoho druhu. Proud nosičů nepotřebuje vstupní proud, ovládá se elektrickým polem – napětím přiloženým na řídicí elektrodu (hradlo) Gate. Hradlo tvořené kovovou elektrodou je odizolováno od polovodičové destičky vodivosti typu N nebo P. Výstupní proud FET se řídí výhradně elektrickým polem, tudíž je oproti bipolárním tranzistorům vstupní odpor nesrovnatelně vyšší. Polovodičová destička tvoří kanál, kterým se mezi emitorem (Source) a kolektorem (Drain) pohybují elektrické náboje. Velikost proudu, který prochází kanálem, závisí na vnitřním odporu kanálu a na napětí mezi kolektorem a emitorem tranzistoru.

bipolární		Unipolární tranzistory							
		unipolární	FET - tranzistory						
			JFET a MESFET		MOSFET tranzistory				
			typ-N	P-kanál	N-kanál	P - kanál		N - kanál	
indukovaný	zabudovaný	indukovaný				zabudovaný			
NPN	PNP								
									

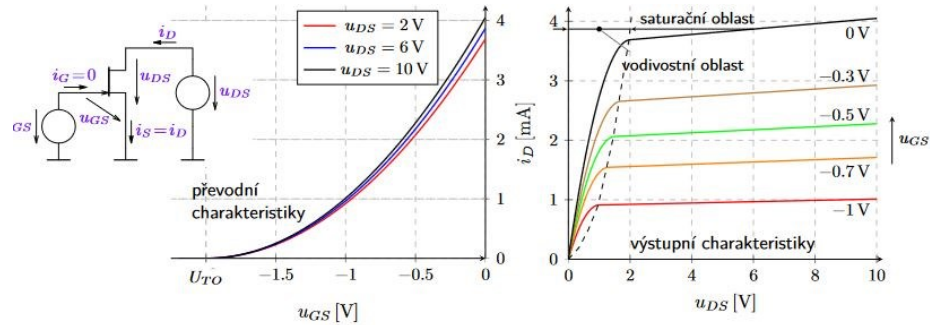
Obrázek 34 Rozdělení unipolárních tranzistorů[16]

Tranzistory řízené elektrickým polem typu JFET

U tranzistoru JFET je hradlo od kanálu izolováno přechodem PN v závěrném směru. Při polarizaci přechodu PN mezi hradlem a emitorem v závěrném směru proud přechodem téměř neprochází a v okolí přechodu se rozšíří vrstva, která neobsahuje volné nosiče náboje (ochuzená oblast). Velikost ochuzené oblasti závisí na napětí mezi hradlem a emitorem U_{GS} a také na napětí mezi kolektorem a emitorem U_{DS} . Necht' $U_{GS} = 0$ (proud kolektoru $I_D = 0$, podél kanálu nevzniká žádný úbytek napětí). Zpočátku, při malém napětí U_{DS} , jsou tloušťky ochuzené vrstvy obou přechodů po celé délce kanálu stejné. S rostoucím napětím U_{DS} dochází ke zvětšování závěrného napětí na přechodu PN mezi hradlem G a kolektorem D. To způsobí rozšíření ochuzené vrstvy převážně blíže ke kolektoru D, viz obrázek 35. To také způsobí zvětšení velikosti efektivního odporu kanálu a zmenšení vlivu velikosti U_{DS} na velikost proudu kolektoru I_D . Rozšiřování ochuzené vrstvy vlivem vzrůstu kolektorového napětí U_{DS} pokračuje až do okamžiku, kdy se obě ochuzené oblasti spojí. Přitom $U_{DS} = U_P$, kde U_P je tzv. napětí zaškrcení kanálu. [2][5]



Obrázek 35 Struktura JFET-N tranzistoru a) s přiloženým U_{DS} , b) bez U_{DS} [7]

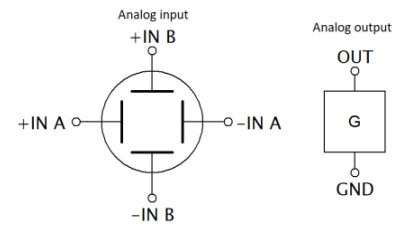


Obrázek 36 Statické charakteristiky tranzistoru JFET s kanálem typu N[7]

2.3.3 Zadání

Seznam použitých přístrojů a součástek

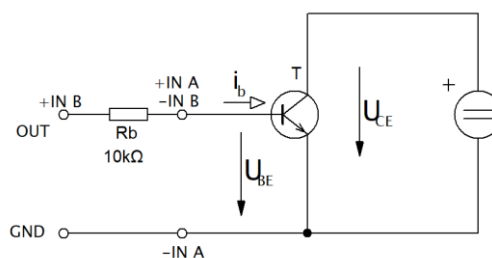
- Osc měřicí jednotka RC (viz obr. 37)
- U Programovatelný DC zdroj (viz obr. 37)
- R Rezistor 10 Ω , 100 Ω , 200 Ω , 1 k Ω , 100 k Ω
- D Luminiscenční dioda (červená)
- A Multimetr Mastech
- Modul bipolárního tranzistoru NPN (BC546B)
- Modul unipolárního tranzistoru JFET-N (BF245)



Obrázek 37 Zapojení měřicí jednotky RC

Ad1) Změřte vstupní charakteristiku bipolárního tranzistoru typu NPN

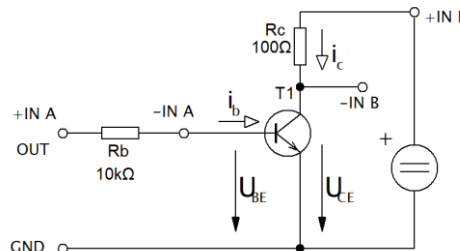
Schéma zapojení:



Obrázek 38 Schéma zapojení pro měření vstupní char. NPN tranzistoru

Postup měření:

- Zapojíme obvod dle schématu. Napětí DC zdroje U_{CE} nastavíme na 0 V.
- Spustíme program rc2000 a vybereme režim V/A CHARACTERISTICS. V dolním levém rohu přepneme měřicí mód na Sequence, dle schématu nastavíme hodnotu snímacího odporu (na snímacím odporu měříme úbytek napětí, který je přepočítán na el. proud) a výstupní průběh (Output Ramp) na 0 až +1,4 V.
- Stiskem tlačítka M1 změříme vstupní charakteristiku tranzistoru. Po přezkoušení zapojení přemostíme ochrany tranzistoru. Vhodně nastavte velikosti os pomocí tlačítek Gain, pokud průběh napětí souhlasí tak nastavíme U_{CE} na 100 mV a stiskem M2 vykreslíme druhou charakteristiku do stejného grafu k porovnání. Stejným způsobem vykreslíme charakteristiky pro U_{CE} 200 mV a 500 mV.
- Tlačítkem Edit lze přidat popisy jednotlivých charakteristik. Poté uložíme naměřené hodnoty pomocí tlačítka Save v sekci File, obrázek uložíme tlačítkem Print.

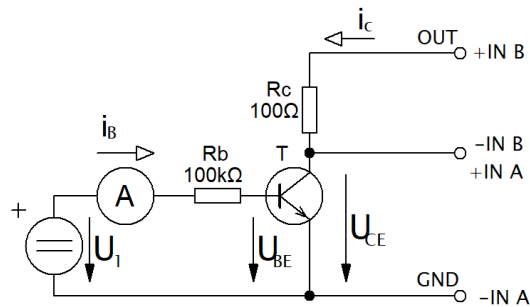
Ad2) Změřte převodní charakteristiku bipolárního tranzistoru typu NPN**Schéma zapojení:**

Obrázek 39 Schéma zapojení pro měření převodní char. NPN tranzistoru

Postup měření:

- Zapojíme obvod dle schématu. Napětí DC zdroje U_{CE} nastavíme na 1 V.
- Spustíme program rc2000 a vybereme režim V/A CHARACTERISTICS. V dolním levém rohu přepneme měřicí mód na Sequence, dle schématu nastavíme hodnotu snímacího odporu 100Ω a výstupní průběh (Output Ramp) na 0 V až +2 V.
- Měření provádíme stejně jako u prvního zapojení (U_{CE} 1 V, 1,3 V, 1,6 V, 1,9 V).

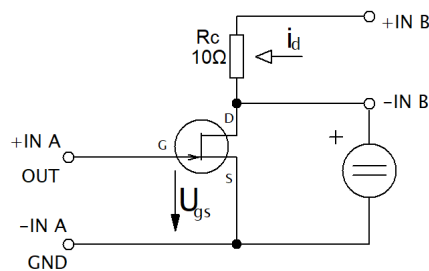
Ad3) Změřte výstupní charakteristiku bipolárního tranzistoru typu NPN**Schéma zapojení:**



Obrázek 40 Schéma zapojení pro měření výstupní char. NPN tranzistoru

Postup měření:

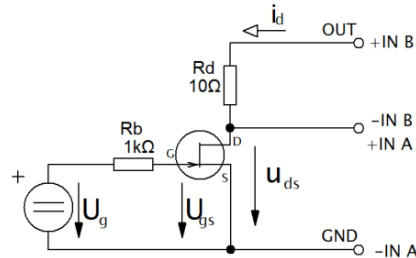
- Zapojíme obvod dle schématu. Napětí DC zdroje U_1 nastavíme tak, aby na ampérmetru byla hodnota bázového $I_B = 10 \mu\text{A}$.
- Spustíme program rc2000 a vybereme režim V/A CHARACTERISTICS. V dolním levém rohu přepneme měřicí mód na Sequence, dle schématu nastavíme hodnotu snímacího odporu 100Ω a výstupní průběh (Output Ramp) na 0 V až $+10 \text{ V}$.
- Měření provádíme stejně jako u prvního zapojení (I_B $10 \mu\text{A}$, $20 \mu\text{A}$, $30 \mu\text{A}$, $40 \mu\text{A}$).

Ad4) Změřte převodní charakteristiku unipolárního tranzistoru JFET-N**Schéma zapojení:**

Obrázek 41 Schéma zapojení pro měření převodní charakteristiky JFET-N

Postup měření:

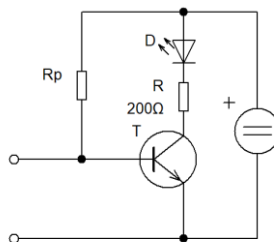
- Zapojíme obvod dle schématu. U_{DS} nastavíme na $0,5 \text{ V}$.
- Spustíme program rc2000 a vybereme režim V/A CHARACTERISTICS. V dolním levém rohu přepneme měřicí mód na Sequence, dle schématu nastavíme hodnotu snímacího odporu 10Ω a výstupní průběh (Output Ramp) na -3 V až 0 V .
- Měření provádíme stejně jako u prvního zapojení (U_{DS} $0,5 \text{ V}$, 1 V , 2 V , 4 V).

Ad5) Změřte výstupní charakteristiku unipolárního tranzistoru JFET-N**Schéma zapojení:**

Obrázek 42 Schéma zapojení pro měření výstupní charakteristiky JFET-N

Postup měření:

- Zapojíme obvod dle schématu. U_G nastavíme na -2 V .
- Spustíme program rc2000 a vybereme režim V/A CHARACTERISTICS. V dolním levém rohu přepneme měřicí mód na Sequence, dle schématu nastavíme hodnotu snímacího odporu $10\ \Omega$ a výstupní průběh (Output Ramp) na 0 V až $+10\text{ V}$.
- Měření provádíme stejně jako u prvního zapojení ($U_G -2\text{ V}, -1\text{ V}, 0\text{ V}, +1\text{ V}$).

Ad5) Ověřte funkci tranzistoru ve funkci spínače**Schéma zapojení:**

Obrázek 43 Schéma zapojení tranzistoru jako spínače

Postup měření:

- Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení spínače s NPN tranzistorem, jako zdroj napětí U použijte 5 V z rozvodu napájení (rámečku).
- Hodnotu proměnného rezistoru R_p snižujeme od nejvyšší hodnoty tak dlouho, dokud nezačne dioda jasně svítit. Spínací funkci tranzistoru ověříme propojením báze a emitoru tranzistoru, kdy dioda zhasne ($U_{BE} = 0\text{ V}$, tranzistor je rozepnut).

2.4 Tranzistor jako zesilovač

2.4.1 Úkol

- 1) Ověřte vlastnosti zesilovače se společným emitorem (SE)
- 2) Ověřte vlastnosti zesilovače se společným kolektorem (SC)
- 3) Ověřte vlastnosti zesilovače se společnou bází (SB)

2.4.2 Teorie

Zesilovač je klíčovým prvkem v elektronice, který slouží k zesílení slabých elektrických signálů bez výrazné změny jejich časového průběhu. Jedná se o aktivní nelineární obvod, který se skládá ze zesilovacího prvku (tranzistoru) a dalších obvodů pro nastavení klidového pracovního bodu. Na jeho vstupní svorky se připojuje zdroj signálu, který má být zesílen, a na výstupní svorky se připojuje zátěž. Elektrické zesilovače mohou zesilovat napětí, proud a výkon signálu, aniž by výrazně měnily jeho časový průběh.

Základní parametry zesilovače:

Vstupní odpor R_{vst} udává odpor zesilovače při připojení zdroje signálu. Tvoří zátěž pro předcházející obvod.

Výstupní odpor $R_{výst}$ je odpor zesilovače při připojení zátěže. Určuje závislost výstupního napětí na velikosti zátěže.

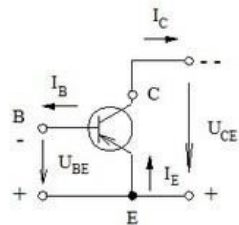
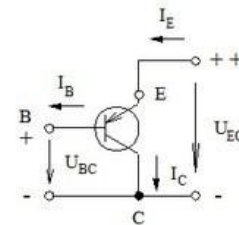
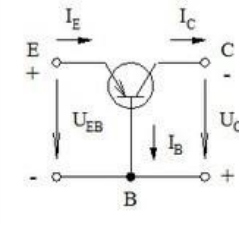
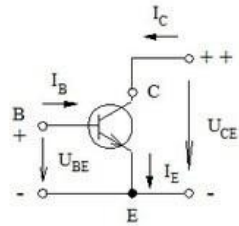
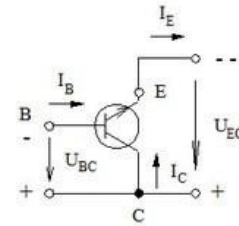
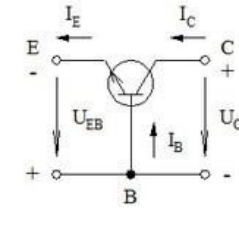
Mezní kmitočet je frekvenční rozsah, ve kterém je zesilovač schopen efektivně zesilovat vstupní signál bez významného úbytku výstupního signálu. Mezní kmitočet je definován jako frekvence, při které výstupní signál klesne na určitou hodnotu (obvykle -3 dB) oproti maximální hodnotě, kterou má při nižších frekvencích. Šířka přenášeného pásma je rozdíl mezi horním a dolním kmitočtem.

Zesílení (Gain) udává poměr mezi výstupním a vstupním signálem zesilovače.

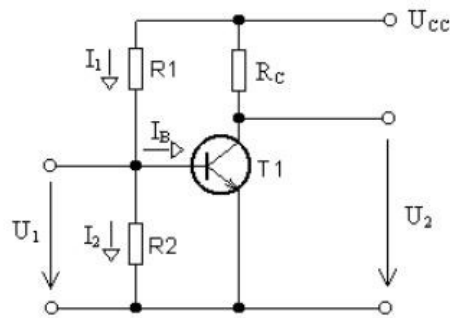
Dalšími parametry jsou **zkreslení, stabilita, výstupní výkon**.

Tranzistor má tři elektrody, což umožňuje tři různá zapojení: se společnou bází (SB), se společným emitorem (SE) a se společným kolektorem (SC). V každém z těchto zapojení je jedna z elektrod tranzistoru společná pro vstup i výstup. Každé zapojení má své vlastnosti, které jsou znázorněny v tabulce 1.

Tabulka 1 Porovnání vlastností zapojení bipolárního tranzistoru [5]

Druh zapojení	SE	SC	SB
Tranzistor PNP			
Tranzistor NPN			
Zesílení proudové napětěové výkonové	10 až 200 10 až 100 100 až 2000	10 až 200 0,9 až 0,99 10 až 200	0,9 až 0,995 10 až 100 10 až 100
Impedance vstupní výstupní	10 Ω až 1 kΩ 10 kΩ až 100 kΩ	10 kΩ až 100 kΩ 100 Ω až 1 kΩ	10 Ω až 100 Ω 100 kΩ až 1 MΩ
Fázový posun mezi vstupním a výstupním napětím - proudem	180° 0°	0° 180°	0° 0°
Výhody	nejlepší přizpůsobení velké zesílení	vhodný jako měnič impedance	nejvyšší f_{mez} vhodný jako měnič impedance

Pokud má tranzistor správně a bez zkreslení zesilovat signál a efektivně spínat, je klíčové nastavit mu vhodný pracovní bod. To zahrnuje správné nastavení proudu báze I_B , který ovlivňuje kolektorový proud I_C a napětí mezi kolektorem a emitorem U_{CE} . Aby byla dosažena co největší amplituda výstupního napětí, mělo by být napětí U_{CE} nastaveno přibližně na polovinu hodnoty napájecího napětí. Pro nastavení pracovního bodu tranzistoru se využívá dělič napětí, jehož proud přes dělič je výrazně vyšší než bázev proud (tzv. tvrdý dělič napětí). Díky tomu je napětí na bázi stabilní a nedochází k jeho kolísání. Nevýhodou tohoto řešení je snížení vstupního odporu zesilovače, což může vést k zatížení vstupního signálu.



Obrázek 44 Nastavení pracovního bodu tranzistoru (SE)

Podle umístění pracovního bodu rozdělujeme zesilovače do tzv. tříd. Každá třída zesilovače má své vlastní charakteristiky, výhody a nevýhody.

Rozdělení zesilovačů podle tříd:

Třída A – pouze jeden zesilovací prvek, a pracovní bod je umístěn uprostřed v lineární části své charakteristiky. Poskytují velmi lineární zesílení (nízké zkreslení), ale účinnost je poměrně nízká, obvykle kolem 20-30 %.

Třída B – v zesilovači třídy B jsou dva tranzistory, z nichž každý zesiluje pouze jednu půlvlnu vstupního signálu. Zesilovač má vysokou účinnost až 75 %, ale má vysoké zkreslení v oblasti přechodů mezi kladnou a zápornou půlvlnou signálu.

Třída AB – pracují tak, že každý z jejich výstupních tranzistorů vede proud po více než polovinu, ale méně než celou periodu vstupního signálu. Toto řeší problém zkreslení přechodů.

Třída C – jsou to speciální typy zesilovačů, které se používají převážně v aplikacích, kde je důležitá vysoká účinnost, například v rádiových frekvenčních (RF) vysílačích. Tranzistor v je v aktivním stavu méně než polovinu jedné periody signálu.

Třída D – pracují na principu pulzně šířkové modulace (PWM). Vstupní analogový signál je převeden na sérii vysokofrekvenčních pulzů, jejichž šířka odpovídá amplitudě vstupního signálu. Tyto pulzy pak řídí spínací tranzistory, přenášejí výkon do zátěže.

Další třídy jsou **G**, **H** atd. [10]

2.4.3 Zadání

Seznam použitých přístrojů a součástek

Osc měřící jednotka RC (viz obr.45)

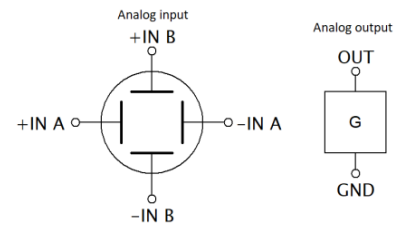
G generátor funkcí (viz obr.45)

U Programovatelný DC zdroj

R Sada rezistorů, odporová dekáda

C Kondenzátor 1 μ F

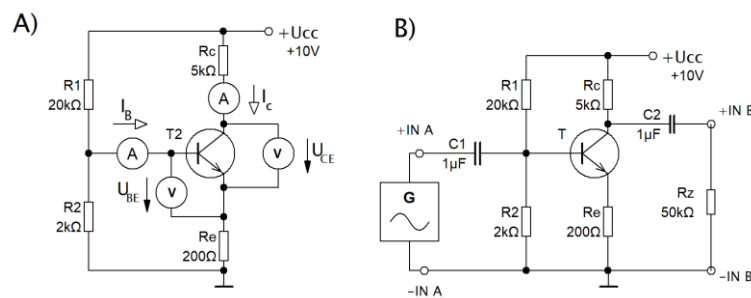
Modul bipolárního tranzistoru NPN (BC546B)



Obrázek 45 Zapojení měřící jednotky RC

Ad1) Měření zesilovače se společným emitorem (SE)

Schéma zapojení:



Obrázek 46 Schéma zapojení zesilovače se společným emitorem (SE)

Postup měření:

- Zapojíme součástky dle schématu zapojení (schéma A).
- Nejprve změříme parametry pracovního bodu tranzistoru: připojíme voltmetr mezi kolektor a emitor a změříme napětí U_{CE} , mezi bází a emitorem změříme napětí U_{BE} . Poté ampérmetrem změříme kolektorový proud I_C a proud tekoucí do báze I_B . Hodnoty napětí a proudů si společně s použitým napájecím napětím zaznamenáme.
- Připojíme generátor střídavého napětí, zátěž a vazební kondenzátory (schéma B).
- Na generátoru nastavíme sinusový signál o amplitudě 100 mV a frekvenci 1kHz.
- Spustíme program rc2000 a vybereme režim OSCILLOSCOPE. Vstupní rozsah nastavíme na 200 mV a výstupní na 2 V). V dolním levém rohu přepneme měřící mód na Run. Pomocí funkce Measure změříme velikost výstupního napětí, které si

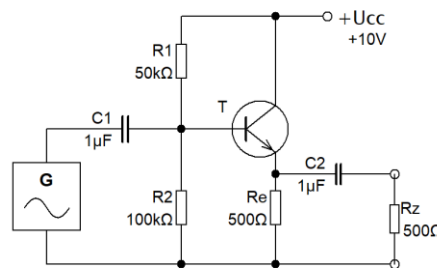
zaznamenáme. Vypočítáme napěťové zesílení $A_U = \frac{U_2}{U_1}$ a proudový zesilovací činitel

$$\beta = \frac{I_C}{I_b}$$

- f) Zkontrolujeme správnost průběhů vstupního a výstupního napětí, tlačítkem Edit popíšeme průběhy a obrázek uložíme.
- g) Pro měření vlivu výstupního kondenzátoru na frekvenční charakteristiku zesilovače nahradíme generátor signálu analogovým výstupem z měřicí jednotky (svorky OUT a GND)
- h) V programu rc2000 vybereme režim FREQUENCY CHARACTERISTICS, v dolním levém rohu přepneme měřicí mód na Sequence, vybereme průběh Ampl, zesílení amplitudy 5 dB/div a offset amplitudy -15 dB. Tlačítkem M1 vykreslíme první charakteristiku. Měření opakujeme pro hodnoty $C_2 = 5 \mu\text{F}$ a 100nF . Zkontrolujeme správnost charakteristik, tlačítkem Edit popíšeme průběhy a obrázek uložíme.
- i) Vybereme průběh Phase, zesílení fáze 30 deg/div a offset fáze 90° , výsledné charakteristiky uložíme.

Ad2) Měření zesilovače se společným kolektorem (SC)

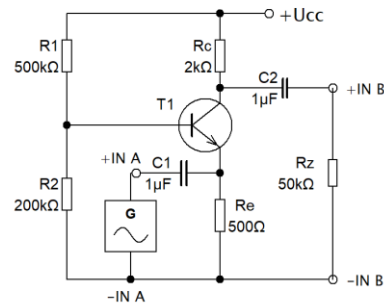
Schéma zapojení:



Obrázek 47 Schéma zapojení zesilovače se společným kolektorem (SC)

Postup měření:

- a) Zapojíme součástky dle schématu zapojení (bez generátoru, zátěže a kondenzátorů).
- b) Změříme pracovní bod obdobně jako u měření předešlé úlohy a hodnoty si poznamenáme.
- c) Zapojíme kompletní zapojení dle schématu, na generátoru nastavíme 1 V, 1 kHz.
- d) Pro zobrazení výstupního napětí postupujeme stejně jak u zesilovače SE (bod e, f). Vstupní a výstupní rozsah nastavíme na 1 V.

Ad3) Měření zesilovače se společnou bází (SB)**Schéma zapojení:**

Obrázek 48 Schéma zapojení zesilovače se společným bází (SB)

Postup měření:

- Zapojíme součástky dle schématu zapojení (bez generátoru, zátěže a kondenzátorů).
- Změříme pracovní bod obdobně jako u měření předešlé úlohy a hodnoty si poznamenejeme.
- Zapojíme kompletní zapojení dle schématu, na generátoru nastavíme 100 mV, 1 kHz.
- Pro zobrazení výstupního napětí postupujeme stejně jak u zesilovače SE (bod e, f). Vstupní rozsah nastavíme na 200 mV a výstupní rozsah nastavíme na 500 mV.

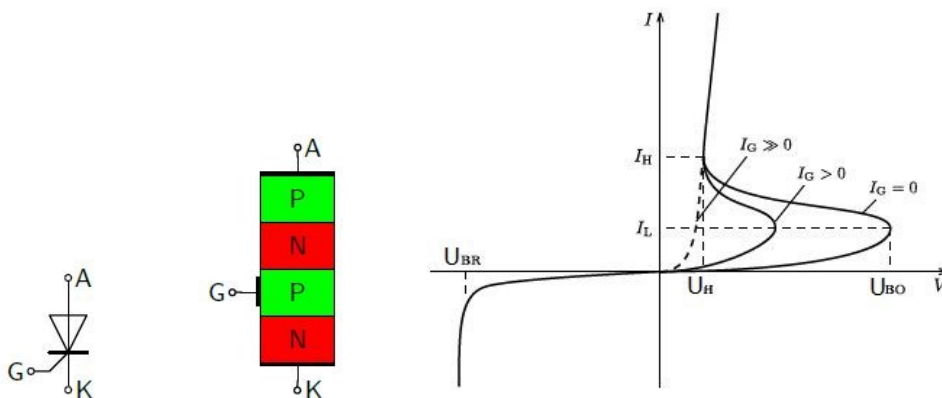
2.5 Vícevrstvé součástky – tyristor

2.5.1 Úkol

- 1) Změřte VA charakteristiku tyristoru
- 2) Ověřte funkci regulace výkonu pomocí tyristoru
- 3) Změřte velikost přídržného proudu tyristoru
- 4) Změřte velikost spínacího proudu tyristoru

2.5.2 Teorie

Tyristor je polovodičový prvek, který se používá jako elektronický spínač a regulátor v obvodech, kde je potřeba řídit velké množství elektrického proudu a napětí. Používá se tedy k regulaci výkonu. Tyristor má čtyři vrstvy polovodičového materiálu, které tvoří tři PN přechody, a pracuje jako bistabilní spínač. V základním stavu blokuje proud až do momentu, kdy je na něj přiveden dostatečný proudový impuls. Po přivedení tohoto impulsu tyristor "otevře" a umožní průchod proudu, dokud napětí mezi anodou a katodou neklesne pod určitou hranici. Tyristory se často používají v aplikacích jako jsou regulátory výkonu, střídače, ochranné obvody a jako součást vysokovýkonných motorových řadičů, kde je potřeba efektivně řídit střídavý nebo stejnosměrný elektrický proud. Tyristory jsou známé svou schopností rychle a efektivně přepínat velké elektrické výkony.



Obrázek 49 Schématická. značka a VA charakteristika tyristoru [7]

Tyristor pracuje ve třech základních stavech:

Závěrný stav - tyristor je polarizován v závěrném směru, neprochází žádný proud, protože PN přechody jsou v závěrném stavu.

Blokovací stav - tyristor polarizován v propustném směru, ale není přivedeno napětí na řídicí elektrodu.

Spínací stav - tyristor je polarizován v propustném směru. Přivedením kladného napětí na řídicí elektrodu při dosažení dostatečné hodnoty proudu řídicí elektrodou tyristor sepne. Vzhledem k více přechodům je na tyristoru úbytek napětí přibližně 1,5 až 3 V.

Některé Parametry tyristoru:

U_{BR} – je to napětí přiložené na tyristor v závěrném směru, při kterém dochází k průrazu.

I_R – závěrný klidový proud, který protéká tyristorem, je-li mezi katodou a anodou provozní závěrné napětí

U_L – spínací napětí v propustném směru, kdy proud hradla je nulový $I_G = 0$

U_{FD} – typové napětí v propustném směru, kterým může být tyristor trvale zatěžován

I_L – spínací proud, který musí téct tyristorem v okamžiku sepnutí, aby tyristor zůstal v sepnutém stavu, když neteče proud hradlem

I_H – přídržný proud je minimální požadovaný proud tyristoru, když je tyristor plně otevřen a neteče proud hradlem.[2]

Spínání tyristoru je možné provést dvěma způsoby. Přiložením anodového napětí. Na anodu musí být přiloženo kladné napětí vzhledem ke katodě, při kterém dojde k lavinovému průrazu a k sepnutí tyristoru (do řídicí elektrody neteče proud). Tento způsob spínání se nedoporučuje, protože je těžko ovladatelný.

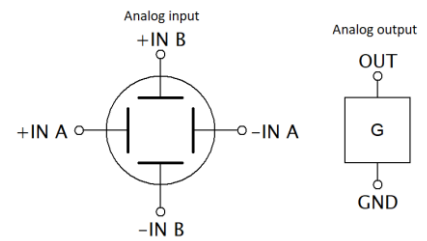
Obvyklým způsobem spínání je proudovým impulsem do řídicí elektrody. Tento impuls je obvykle krátká proudový špička, která otevře tyristor tím, že vytvoří dostatečnou úroveň vodivosti mezi anodou a katodou. Jakmile je tyristor sepnutý, musí proud protékající tyristorem zůstat nad určitou minimální hodnotou známou jako přídržný proud, aby tyristor zůstal v sepnutém stavu.

Vypnutí tyristoru je náročnější, protože tyristor nemá schopnost rychle přecházet do blokujícího stavu pouhým odstraněním proudového impulsu. Nejjednodušší způsob, jak tyristor vypnout, je snížit proud protékající tyristorem pod úroveň přídržného proudu. To obvykle vyžaduje změnu podmínek v obvodu, jako je snížení zátěže nebo úplné odpojení napájení. Druhým způsobem je komutace napětí U_{AK} , tj. přivedení napětí opačné polarity mezi anodu a katodu.[2]

2.5.3 Zadání

Seznam použitých přístrojů a součástek

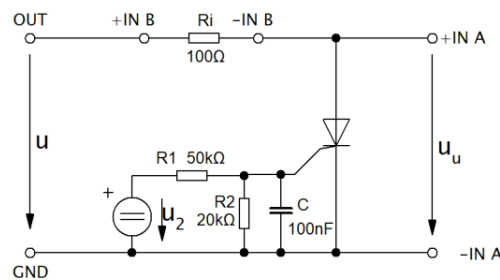
G	generátor funkcí
Osc	měřicí jednotka RC
U	Programovatelný DC zdroj
A	Multimetr
C	Kondenzátor 100nF, 1μF
R	Odporová dekáda, rezistory 100 Ω, 1, 2, 10 kΩ
	Modul tyristoru (tyristor 2N5060)



Obrázek 50 Zapojení měřicí jednotky RC

Ad1) Měření VA charakteristiky tyristoru

Schéma zapojení:



Obrázek 51 Schéma zapojení pro měření VA charakteristiky tyristoru

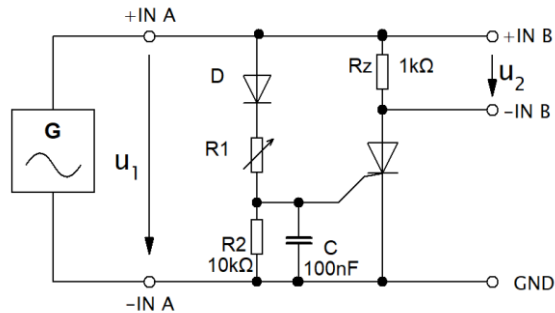
Postup měření:

- Zapojíme součástky dle schématu zapojení. Na stejnosměrném zdroji nastavíme napětí $U_2 = 3,94 \text{ V}$. K měření VA charakteristiky používáme měřicí jednotku RC (Analog and digital data Unit) a SW program rc2000.
- Spustíme program rc2000 a vybereme režim V/A CHARACTERISTICS. V dolním levém rohu přepneme měřicí mód na Sequence, dle schématu nastavíme hodnotu snímacího odporu (Sense R) na 100Ω a výstupní průběh (Output Ramp) na 0 V až $+10 \text{ V}$.
- Stiskem tlačítka M1 změříme V-A charakteristiku tyristoru. Vhodně nastavte velikosti os pomocí tlačítek Gain, pokud průběh napětí souhlasí tak zvýšíme napětí na zdroji na $3,94 \text{ V}$ a stiskem M2 vykreslíme druhou charakteristiku do stejného grafu k porovnání. To stejné opakujeme pro napětí $3,98 \text{ V}$ a 5 V .

- d) Tlačítkem Edit lze přidat popisy jednotlivých charakteristik. Poté uložíme naměřené hodnoty pomocí tlačítka Print v sekci File. Obrázek uložíme tlačítkem Print.

Ad2) Ověření vlastností regulace pomocí tyristoru

Schéma zapojení:



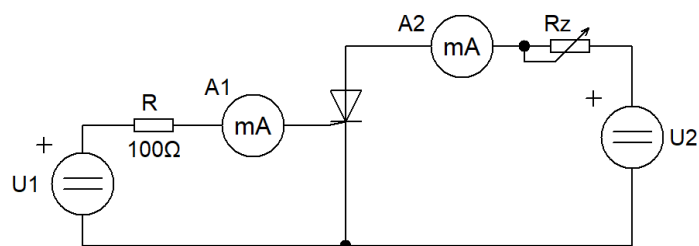
Obrázek 52 Schéma zapojení regulace pomocí tyristoru

Postup měření:

- Zapojíme součástky dle schématu zapojení. Na generátoru střídavého napětí harmonické napětí 10 V a frekvenci 50 Hz. Na odporové dekádě nastavíme 10 kΩ.
- Spustíme program rc2000 a vybereme režim OSCILLOSCOPE. V dolním levém rohu přepneme měřicí mód na Sequence. Tlačítkem B1 zobrazíme první průběh výstupního napětí.
- Změníme hodnotu odporu na dekádě na 50 kΩ a tlačítkem B2 zobrazíme druhý průběh výstupního napětí.
- Postup opakujeme pro hodnotu odporu 70 kΩ a 85kΩ
- Charakteristiky popíšeme a uložíme.

Ad3) Měření přídržného proudu

Schéma zapojení:



Obrázek 53 Schéma zapojení pro měření přídržného a spínacího proudu

Postup měření:

- a) Zapojíme obvod dle schématu (U_1 pevné napětí 5 V, U_2 stejnosměrný zdroj).
- b) Na stejnosměrném zdroji nastavíme 5 V, zatěžovací rezistor nastavíme na 1 k Ω , tyristor je plně otevřený.
- c) Odpojíme napětí U_1 od řídicí elektrody, tyristor zůstane otevřen.
- d) Začneme klesat s napětím U_2 po desetínách V, až výstupní proud měřený ampérmetrem A1 klesne na nulu (tyristor se uzavře).
- e) Opakujeme měření, v okolí rozepnutí tyristor klesáme s napětím U_2 po setinách V. V okamžiku, kdy na ampérmetru A1 klesne hodnota na nulu, tak odečteme hodnotu přídržného proudu na ampérmetru A2.

Ad4) Měření spínacího proudu

Postup měření:

- a) Místo odporu R připojíme odporovou dekádu a nastavíme hodnotu 300 k Ω
- b) Na stejnosměrném zdroji nastavíme 10 V, zatěžovací rezistor nastavíme na 1 k Ω .
- c) Ujistíme se pomocí ampérmetrů, že je tyristor rozepnutý.
- d) Začneme klesat s odporem na odporové dekádě po desítkách k Ω , až je tranzistor sepnut (objeví se proud na A2).
- e) Opakujeme měření, v okolí sepnutí tyristoru klesáme po jednotkách k Ω . V okamžiku, kdy na ampérmetru A2 uvidíme, že začíná procházet proud, tak odečteme hodnotu spínacího proudu na ampérmetru A1.

2.6 Operační zesilovače I

2.6.1 Úkol

- 1) Ověřte vlastnosti neinvertujícího zesilovače
- 2) Ověřte vlastnosti invertujícího zesilovače
- 3) Ověřte vlastnosti součtového zesilovače
- 4) Ověřte vlastnosti rozdílového zesilovače
- 5) Ověřte vlastnosti komparátoru

2.6.2 Teorie

Operační zesilovač (OZ) je v podstatě zařízení pro zesílení napětí, které je určeno k použití s externími součástkami zpětné vazby, jako jsou rezistory a kondenzátory mezi jeho výstupními a vstupními svorkami. Tyto zpětnovazební komponenty určují výslednou funkci nebo „provoz“ zesilovače a na základě různých konfigurací zpětné vazby, ať už odporové, kapacitní nebo obou, může zesilovač provádět různé operace.

Ideální operační zesilovač je teoretický model, který slouží k ilustraci základních principů, bez zohlednění fyzikálních omezení skutečných zařízení. Ideální operační zesilovač má několik klíčových vlastností:

- Neomezené zesílení: Teoretická schopnost poskytnout nekonečné zesílení signálu.
- Neomezená šířka pásma: Schopnost zesílit signály jakékoli frekvence bez ztráty.
- Nulový vstupní proud: Žádný proud neteče do jakéhokoli vstupu zesilovače.
- Nulové výstupní impedance: Zajišťuje, že výstupní napětí zesilovače není ovlivněno zátěží.

Reálné operační zesilovače se od svých ideálních modelů liší kvůli fyzikálním a praktickým omezením:

- Omezené zesílení: Skutečné zesilovače mají konečné zesílení, které závisí na specifikacích obvodu (10^4 - 10^7).
- Omezená šířka pásma: Reálné OZ mají šířku pásma, která se snižuje s rostoucím zesílením (desítky MHz).
- Vstupní a výstupní impedance: I když jsou nízké, nejsou nulové a mohou ovlivnit výkon obvodu (R_{VST} až $10^{14} \Omega$, R_{VYST} desítky $m\Omega$).

- Offsetové napětí: Malé napětí na vstupu potřebné pro to, aby výstupní napětí bylo nula.[1][5]

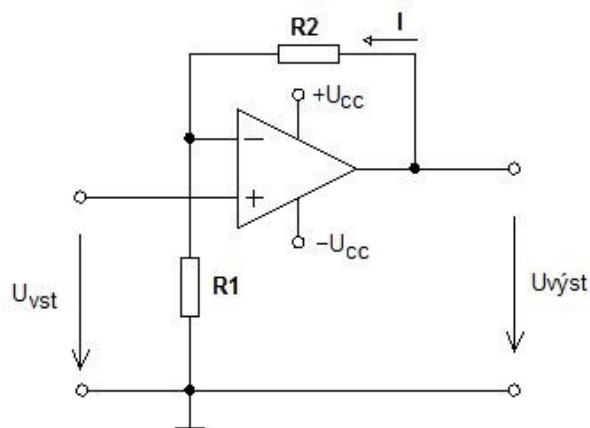
Z vlastností ideálního OZ lze odvodit zjednodušené principy, které pomáhají analyzovat a pochopit chování operačních zesilovačů v různých obvodech.

1. Do vstupních svorek nevstupuje a nevystupuje žádný proud: Ideální OZ mají nekonečnou vstupní impedanci, což znamená, že do vstupních svorek neproudí žádný proud. To znamená, že OZ nezatěžuje zdroj signálu, který ho řídí. Prakticky to znamená, že vstupní svorky OZ lze považovat za svorky měřící napětí, aniž by odebíraly proud, a tím neovlivňují obvod, který OZ monitoruje nebo řídí.[15]
2. Výstup se snaží, aby rozdíl napětí mezi vstupy byl nulový: Toto pravidlo je přímým důsledkem vysokého zesílení. Jakýkoli malý rozdíl mezi napětími na obou vstupních svorkách má za následek velkou změnu výstupního napětí, které se řídí směrem, který snižuje rozdíl vstupních napětí na nulu. Toto chování má zásadní význam v obvodech se zpětnou vazbou, jako jsou zesilovače, kde OZ pracuje tak, aby zajistil nulový rozdíl vstupních napětí tím, že odpovídajícím způsobem upraví svůj výstup.

Základní zapojení operačních zesilovačů:

- Neinvertující zapojení – V neinvertujícím zapojení je vstupní signál připojen přímo k neinvertujícímu (+) vstupu OZ. Invertující vstup (-) OZ je spojen s výstupem prostřednictvím rezistoru, známého jako zpětnovazební rezistor R_2 , a spojen také se zemí přes další rezistor, nazývaný vstupní rezistor R_1 . Zesílení neinvertujícího OZ je dán vztahem:

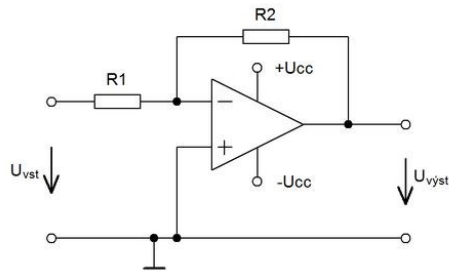
$$A = \frac{U_2}{U_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (1)$$



Obrázek 54 Neinvertující zesilovač

- Invertující zapojení – V invertujícím zapojení je vstupní signál přiveden na invertující (-) vstup prostřednictvím vstupního rezistoru R_1 . Neinvertující (+) vstup je uzemněn. Mezi výstupem OZ a invertujícím vstupem je umístěn zpětnovazební rezistor R_2 . Invertující zapojení způsobuje změnu fáze o 180° . Zesílení invertujícího OZ je dán vztahem:

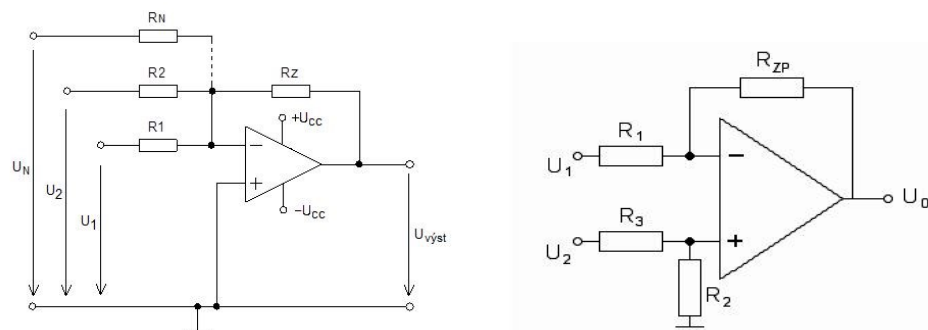
$$A = \frac{U_2}{U_1} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (2)$$



Obrázek 55 Invertující zesilovač

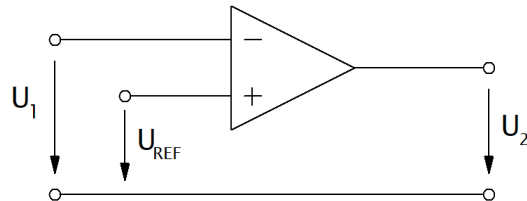
- Součtový zesilovač (sumátor) s rozdílový (diferenční) zesilovač – sumátor, je obvod, který umožňuje sčítání několika vstupních signálů do jednoho výstupního signálu. vstupní signály přivedeny na invertující (-) vstup pomocí sériově zapojených rezistorů. Neinvertující (+) vstup je obvykle připojen k zemi (uzemněn) přes rezistor. Výstupní signál je kombinací vstupních signálů, zesílených a invertovaných. Rozdílový zesilovač je navržený tak, aby zesílil rozdíl mezi dvěma vstupními signály. Každý z těchto vstupů má připojený vstupní rezistor. Výstup je zpětně spojen s oběma vstupy přes další dva rezistory (R_2 pro neinvertující a R_4 pro invertující vstup).

$$A = -R_{ZP} \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U_n}{R_n} \right) \quad A = -R_{ZP} \frac{R_1}{R_2} (U_2 - U_1), \text{ jestliže } \frac{R_{ZP}}{R_1} = \frac{R_2}{R_3} \quad (3)(4)$$



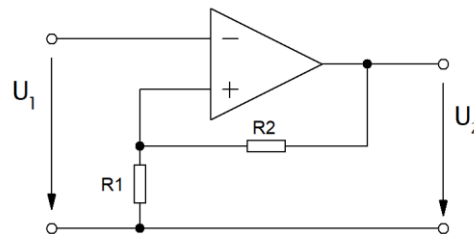
Obrázek 56 Součtový a rozdílový zesilovač

- Napěťový komparátor – funguje tak, že porovnává vstupní napětí na dvou vstupech operačního zesilovače. V závislosti na tom, které z těchto dvou napětí je vyšší, bude výstupní napětí komparátoru buď na maximální úrovni napájecího napětí (pokud je napětí na neinvertujícím vstupu vyšší) nebo na minimální úrovni (pokud je vyšší napětí na invertujícím vstupu).



Obrázek 57 Komparátor

- Schmittův klopný obvod – je vytvořen, pokud do obvodu s operačním zesilovačem zavedeme kladnou zpětnou vazbu. Tato zpětná vazba stabilizuje stav OZ (zavádí hysterezi). Na rozdíl od komparátoru nedochází k okamžité změně výstupního napětí v závislosti na vstupním napětím, ale je třeba většího napětí k překonání napětí na neinvertujícím vstupu. [9][14]

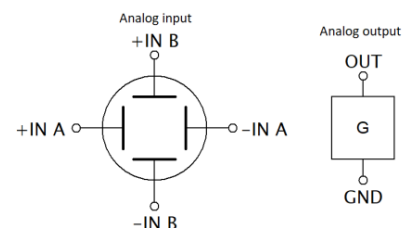


Obrázek 58 Schmittův klopný obvod

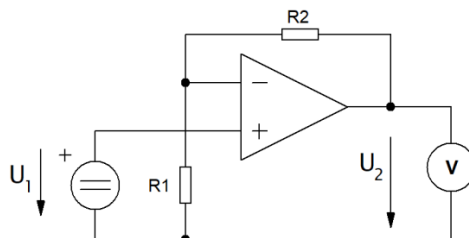
2.6.3 Zadání

Seznam použitých přístrojů a součástek

- G generátor funkcí (viz obr. 59)
- Osc měřicí jednotka RC (viz obr. 59)
- U Programovatelný DC zdroj
- R Rezistory 1,2,5,10,20 kΩ
- Modul operačního zesilovače (OZ OPA132)
- Modul Voltmetr DC & AC RMS



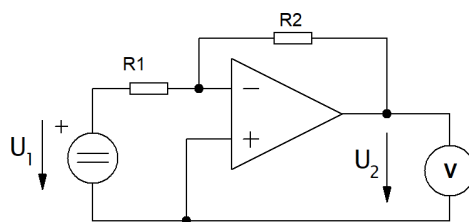
Obrázek 59 Zapojení měřicí jednotky RC

Ad1) Ověřte vlastnosti neinvertujícího zesilovače[17]**Schéma zapojení:**

Obrázek 60 Schéma zapojení neinvertujícího zesilovače

Postup měření:

- a) Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení.
- b) Zvolíme vhodně poměr rezistorů R_1 a R_2 tak, aby celkové zesílení $A = 3$.
- c) Na zdroji U_1 budeme měnit napětí U_1 od 0 V (s krokem 0,5 V) až do okamžiku ustálení výstupního napětí (saturační napětí). Stejným způsobem provedeme měření pro záporné vstupní napětí U_1 .
- d) Měření provedeme pro zesílení $A = 3, 6$.
- e) Naměřené hodnoty napětí U_1 a napětí na voltmetru U_2 si zapíšeme do tabulky, ze které se vytvoří graf charakteristiky neinvertujícího zesilovače.

Ad2) Ověřte vlastnosti invertujícího zesilovače[17]**Schéma zapojení:**

Obrázek 61 Schéma zapojení invertujícího zesilovače

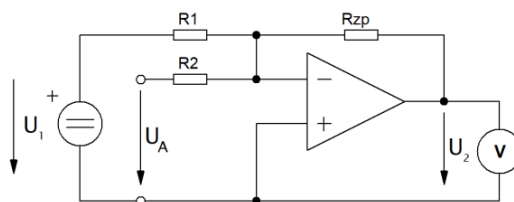
Postup měření:

- a) Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení.
- b) Zvolíme vhodně poměr rezistorů R_1 a R_2 tak, aby celkové zesílení $A = -2$.

- c) Na zdroji U_1 budeme měnit napětí U_1 od 0 V (s krokem 0,5 V) až do okamžiku ustálení výstupního napětí (saturační napětí). Stejným způsobem provedeme měření pro záporné vstupní napětí U_1 .
- d) Měření provedeme pro zesílení $A = -2, -5$.
- e) Naměřené hodnoty napětí U_1 a napětí na voltmetru U_2 si zapíšeme do tabulky, ze které se vytvoří graf charakteristiky neinvertujícího zesilovače.

Ad3) Ověřte vlastnosti součtového zesilovače[17]

Schéma zapojení:



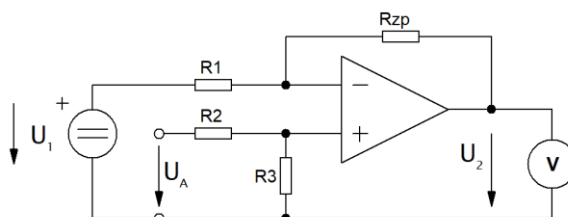
Obrázek 62 Obrázek 63 Schéma zapojení součtového zesilovače

Postup měření:

- Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení.
- Odporů R_1, R_2, R_{ZP} . zvolíme stejné velikosti (např. 1 k Ω). Napětí U_A přivedeme přímo z napájení desky RC (cca. 5,15V – ověříme voltmetrem).
- Na zdroji U_1 budeme měnit napětí U_1 od 0 do 9 V.
- Napětí U_1 a napětí U_2 na voltmetru zapisujeme do tabulky, ze které se vytvoří graf (charakteristika součtového zesilovače).

Ad4) Ověřte vlastnosti rozdílového zesilovače[17]

Schéma zapojení:

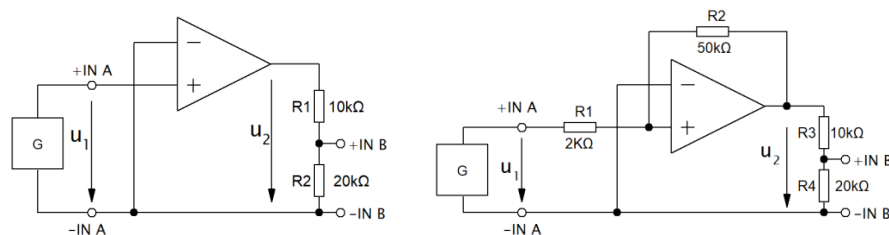


Obrázek 64 Obrázek 65 Schéma zapojení rozdílového zesilovače

Postup měření:

- Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení.
- Odpory R_1 , R_2 , R_{ZP} . zvolíme stejné velikosti (např. $1\text{ k}\Omega$). Napětí U_A přivedeme přímo z napájení desky RC (cca. $5,15\text{V}$ – ověříme voltmetrem).
- Na zdroji U_1 budeme měnit napětí U_1 od 0 do 9 V .
- Napětí U_1 a napětí U_2 na voltmetru zapisujeme do tabulky, ze které se vytvoří graf (charakteristika součtového zesilovače).

Ad5) Ověřte vlastnosti napěťového komparátoru



Obrázek 66 Schéma zapojení komparátoru a komparátoru s hysterezí

Postup měření:

- Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení (zapojení komparátoru).
- Na generátoru napětí nastavíme amplitudu 3 V a frekvenci 100 Hz .
- Spustíme program rc2000 a vybereme režim OSCILLOSCOPE, časový režim XY. V dolním levém rohu přepneme měřicí mód na Single. Zkontrolujeme správnost průběhů vstupního a výstupního napětí, tlačítkem Edit popíšeme průběhy. Poté uložíme naměřené hodnoty pomocí tlačítka Print v sekci File. Obrázek uložíme tlačítkem Print.
- Zapojíme obvod Schmittův klopný obvod a měření opakujeme podle stejného postupu jako komparátor.

2.7 Operační zesilovače II

2.7.1 Úkol

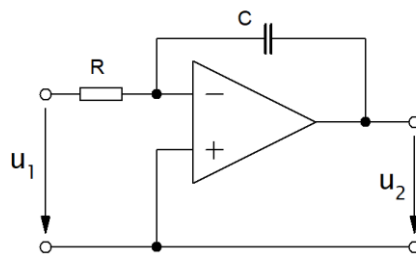
- 1) Ověřte vlastnosti integračního zesilovače (integrátoru)
- 2) Ověřte vlastnosti derivačního zesilovače (derivátoru)
- 3) Ověřte funkci astabilního multivibrátoru
- 4) Ověřte vlastnosti aktivní dolní a horní propusti

2.7.2 Teorie

- Integrační zesilovač (integrátor) – Vyměníme-li rezistor ve zpětné vazbě OZ za kondenzátor, tak dostaneme integrační zapojení OZ (integrátor), jehož zapojení je na obr. 61. Výstupní napětí je dáno vztahem:

$$u_2 = -\frac{1}{RC} \int u_1 dt \quad (5)$$

Přivedeme-li na vstup integračního zesilovače harmonické střídavé napětí $u_1 = U_{1m} \sin(\omega t)$, dostaneme na výstupu napětí $u_2 = \frac{U_{1m}}{RC\omega} \cos(\omega t)$. Amplitudu vstupního napětí a časovou konstantu RC obvodu musíme volit tak, aby nedocházelo k saturaci OZ. Amplituda výstupního napětí je nepřímo úměrná frekvenci vstupního napětí. Obsahuje-li vstupní napětí několik harmonických složek, budou ve výstupním napětí složky s vyšší frekvencí potlačeny.[11]

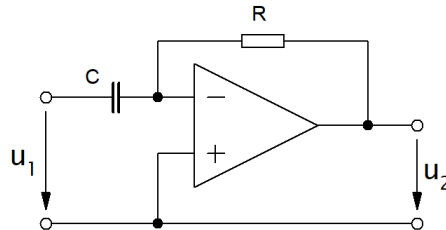


Obrázek 67 Integrační zesilovač

- Derivační zesilovač (derivátor) – Pokud u integračního zesilovače vyměníme pozici kondenzátoru a rezistoru, dostaneme derivační zesilovač (derivátor). Výstupní napětí je dáno vztahem:

$$u_2 = -RC \frac{du_1}{dt} \quad (6)$$

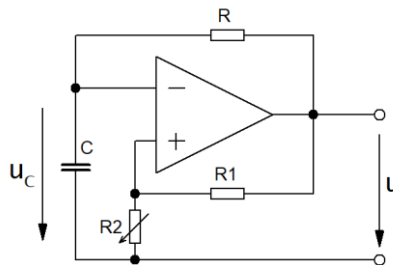
Přivedeme-li na vstup derivačního zesilovače harmonické střídavé napětí $u_1 = U_{1m} \sin(\omega t)$, dostaneme na výstupu napětí $u_2 = -U_{1m} RC \omega \cos(\omega t)$. Amplituda výstupního napětí je přímo úměrná frekvenci vstupního napětí. Derivátor je velmi citlivý na vysokofrekvenční šum, protože derivace signálu zvyšuje amplitudu vysokofrekvenčních složek. To může vést k nežádoucímu šumu a oscilacím ve výstupním signálu.[1] [11]



Obrázek 68 Derivační zesilovač

- Astabilní multivibrátor – Jedná se o zdroj obdélníkového napětí. Na výstupu OZ se střídavě objevuje kladné a záporné saturační napětí. V zapojení jsou dvě větve zpětné vazby. Kladná zpětná vazba, která působí na neinvertující vstup OZ, je realizována děličem rezistorů R_1 a R_2 . Větev záporné zpětné vazby zapojená na invertující vstup OZ je tvořena rezistorem R a kondenzátorem C . Kondenzátor se střídavě vybíjí a nabíjí přes rezistor R z výstupu OZ. Jeho napětí u_C , které je současně napětím invertujícího vstupu se mění spojitě. Jakmile překročí hodnotu napětí u_{i+} , mění se polarita vstupního diferenciálního napětí a OZ přechází do opačné saturace. Od tohoto okamžiku se napětí na kondenzátoru mění opačným směrem, dokud opět nedojde k překročení u_{i+} . Perioda multivibrátoru je dána vztahem.[11]

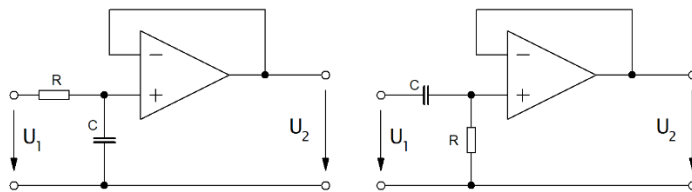
$$T = 2R_1 C \ln \left(1 + \frac{2R_2}{R_3} \right) \quad (7)$$



Obrázek 69 Astabilní multivibrátor

- Aktivní filtry – Pasivní filtry jsou sestaveny pouze z rezistorů, kondenzátorů a cívek. Jednotlivé složky signálu jsou v závislosti na jejich frekvenci více nebo méně

potlačeny. To znamená, že jejich elektrický výkon na výstupu filtru je menší než na vstupu. Naproti tomu aktivní filtry s operačním zesilovačem, které získávají energii z napájecího zdroje, mohou přenášený signál v určitém frekvenčním intervalu i zesílit. Velkou předností aktivních filtrů je, že jejich výstupní napětí prakticky nezávisí na připojené zátěži. Amplituda výstupního napětí ovšem nemůže překročit napětí saturační a také amplituda výstupního proudu je omezena vlastnostmi použitého OZ.[11]



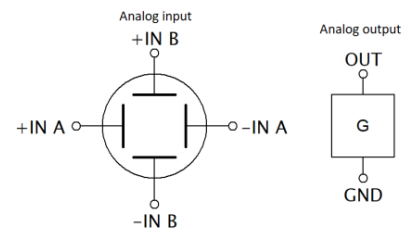
Obrázek 70 Dolní a horní aktivní propust 1.řádu

2.7.3 Zadání

Seznam použitých přístrojů a součástek

- Osc měřící jednotka RC (viz obr.71)
- G generátor funkcí (viz obr.71)
- R rezistory 1kΩ, 2 kΩ, 10 kΩ, 20 kΩ
- C kondenzátor 100 nF, 330 nF

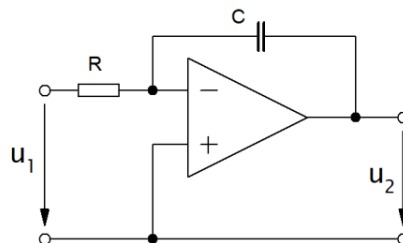
Modul operačního zesilovače



Obrázek 71 Zapojení měřící jednotky RC

Ad1) Ověřte vlastnosti integračního zesilovače[17]

Schéma zapojení:



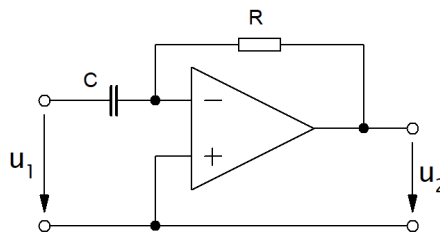
Obrázek 72 Schéma zapojení integračního článku

Postup měření:

- Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení.
- Je nutné provést synchronizaci generátoru harmonického signálu s měřicí soustavou propojením svorky Sync na generátoru se svorkou Ext Trig na měřicí soustavě.
- Na zdroji střídavého napětí nastavíme sinusový průběh.
- Spustíme program rc2000 a vybereme režim OSCILLOSCOPE, časový režim YT (zobrazení dvoukanálového časového průběhu). V sekci Trigger (nastavení úrovně pro spouštění měření) přepneme na Ext (vnější synchronizace). V dolním levém rohu přepneme měřicí mód na Single. Zkontrolujeme správnost průběhů vstupního a výstupního napětí. Tlačítkem Edit lze přidat popisy jednotlivých charakteristik. Poté uložíme obrázek pomocí tlačítka Save v sekci File. Obrázek uložíme tlačítkem Print.

Ad2) Ověřte vlastnosti derivačního zesilovače[17]

Schéma zapojení:



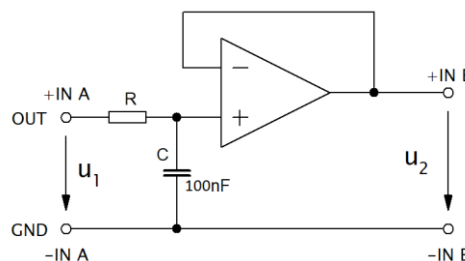
Obrázek 73 Schéma zapojení derivačního článku

Postup měření:

- Měření provedeme stejně jako u integračního zesilovače

Ad3) Ověřte vlastnosti aktivní dolní a horní propusti

Schéma zapojení:



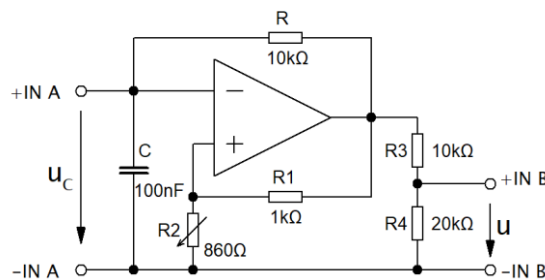
Obrázek 74 Schéma zapojení aktivní dolní a horní propusti

Postup měření:

- Měření amplitudových a fázových frekvenčních charakteristik probíhá obdobně jako u integračního zesilovače (od bodu g).
- Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení (dolní propust).
- U amplitudové charakteristiky nastavíme zesílení amplitudy 10 dB/div a offset amplitudy na 20 dB
- U fázové charakteristiky nastavíme zesílení fáze na 15 deg/div a offset fáze na 45°. Měření provedeme pro rezistory 1kΩ, 2 kΩ, 10 kΩ.
- Výsledné charakteristiky popíšeme a uložíme.
- Vyměníme mezi sebou rezistor a kondenzátor (horní propust), offset fáze nastavíme na -45°.
- Měření provedeme stejně jak u dolní propusti.

Ad4) Ověřte vlastnosti astabilního multivibrátoru

Schéma zapojení:



Obrázek 75 Schéma zapojení astabilního multivibrátoru

Postup měření:

- Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení .
- Vypočítáme teoretickou frekvenci výstupního obdélníkového napětí.


$$f_{vyp} \sim \frac{1}{2 \cdot R \cdot C}$$

- Spustíme program rc2000 a vybereme režim OSCILLOSCOPE, časový režim YT (zobrazení dvoukanalového časového průběhu).V dolním levém rohu přepneme měřicí mód na Single. Přepneme na funkci měření (Measure), kde vidíme frekvenci výstupního signálu. Změřenou frekvenci srovnáme s frekvencí vypočtenou.
- Zkontrolujeme správnost průběhů vstupního a výstupního napětí, tlačítkem Edit popíšeme průběhy. Výsledné charakteristiky uložíme.
- Změníme hodnotu rezistoru R, nebo kondenzátoru C a měření opakujeme od bodu b.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 VYPRACOVANÉ VZOROVÉ PROTOKOLY

3.1 Úloha č.1 – Polovodičová dioda

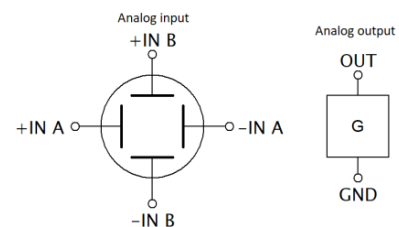
 Univerzita Tomáše Bati Fakulta aplikované informatiky			
Jméno:	Vít Máčala	Ročník:	III
Předmět:	Analogová a číslicová technika	Skupina:	ISR
		Měřeno:	10.04.2024
Název úlohy:	Polovodičová dioda	Odevzdáno:	
		Hodnocení:	

3.1.1 Úkol

4. Změřte VA charakteristiky následujících polovodičových diod pomocí systému rc2000
 - e) Usměrnovací diody
 - f) Zenerovy diody
 - g) Schottkyho diody
 - h) Luminiscenční diody (LED)
5. Ověřte vlastnosti vybraných omezovačů amplitudy
6. Ověřte vlastnosti vybraných zdvojovačů napětí

3.1.2 Seznam použitých přístrojů a součástek:

- G generátor funkcí
- Osc měřící jednotka RC (systém RC2000)
- U Programovatelný DC zdroj
- R Odporová dekáda, rezistory 100Ω, 1kΩ
- C Kondenzátory 1μF
- D Usměrnovací dioda, Zenerova dioda, Schottkyho dioda, luminiscenční dioda
- Modul prvků



3.1.3 Schémata zapojení

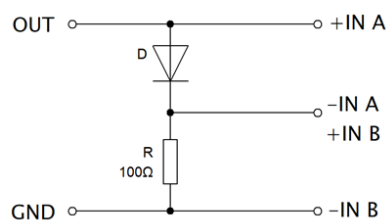


Schéma 1

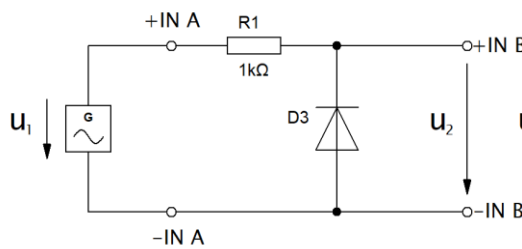


Schéma 2

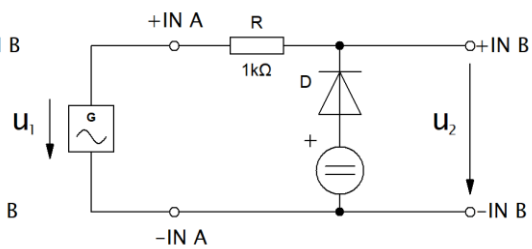


Schéma 3

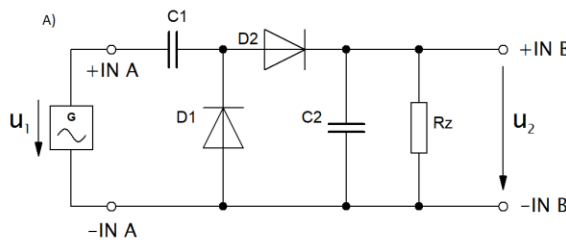


Schéma 4

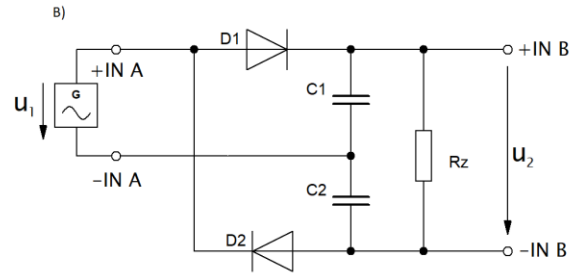


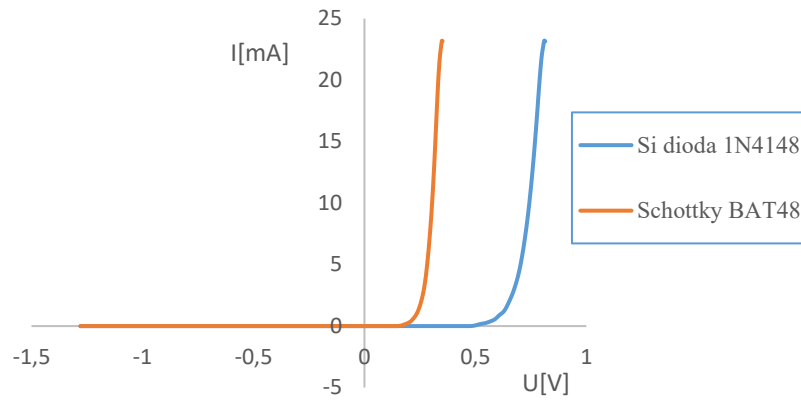
Schéma 5

3.1.4 Vypracování

- a) Pomocí měřicí soustavy RC a programu rc2000 jsem změřil VA charakteristiky diod. Z naměřených dat jsem sestrojil grafy VA charakteristik:
 - a. Křemíkové diody a Schottkyho diody (graf č.1)
 - b. Zenerových diod (graf č.2)
 - c. Luminiscenčních diod (graf č.3)
- b) Ověřil jsem chování záporného a kladného omezovače amplitudy. Chování je znázorněno na grafu č. 4 a 5.
- c) Ověřil jsem chování sériového a paralelního zdvojovače amplitudy. Chování je znázorněno na grafu č. 6 a 7.

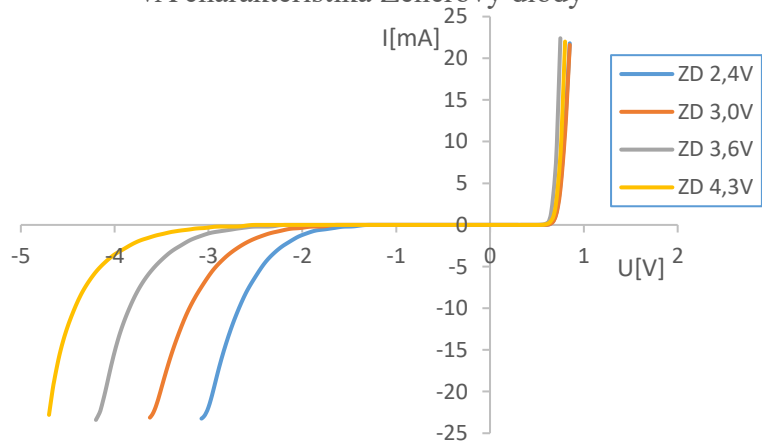
Graf č. 1: VA charakteristika křemíkové a Schottkyho diody

VA charakteristika diody



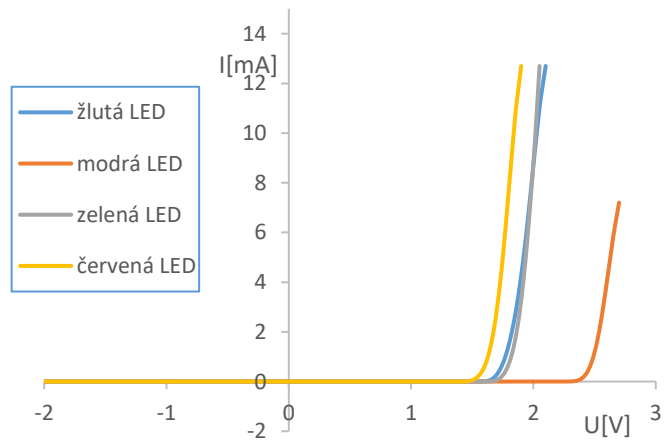
Graf č. 2: VA charakteristika Zenerových diod

VA charakteristika Zenerovy diody

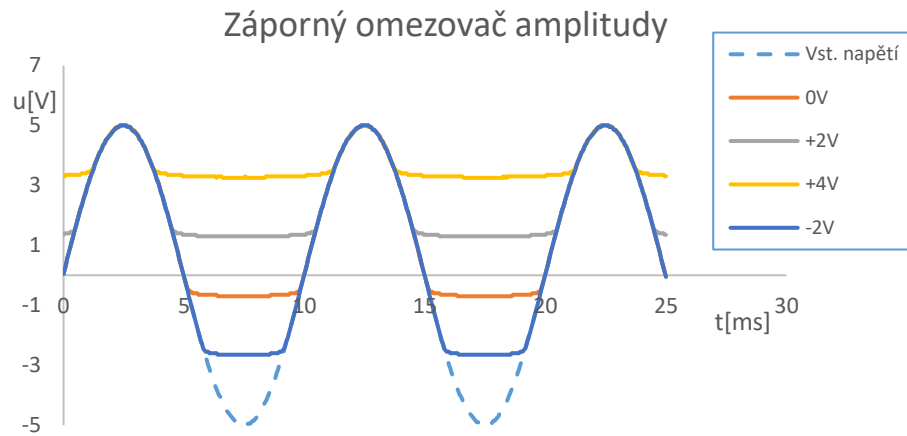


Graf č. 3: VA charakteristika Luminiscenčních diod

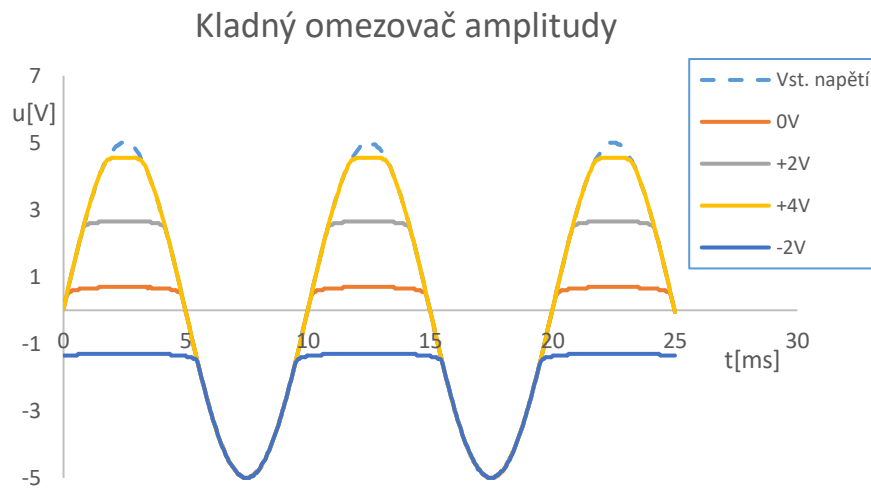
VA charakteristika LED



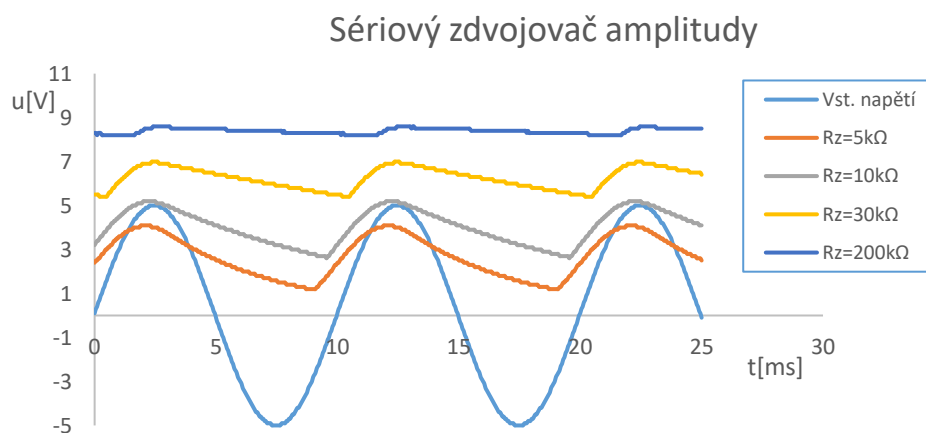
Graf č. 4: Charakteristika záporného omezovače amplitudy



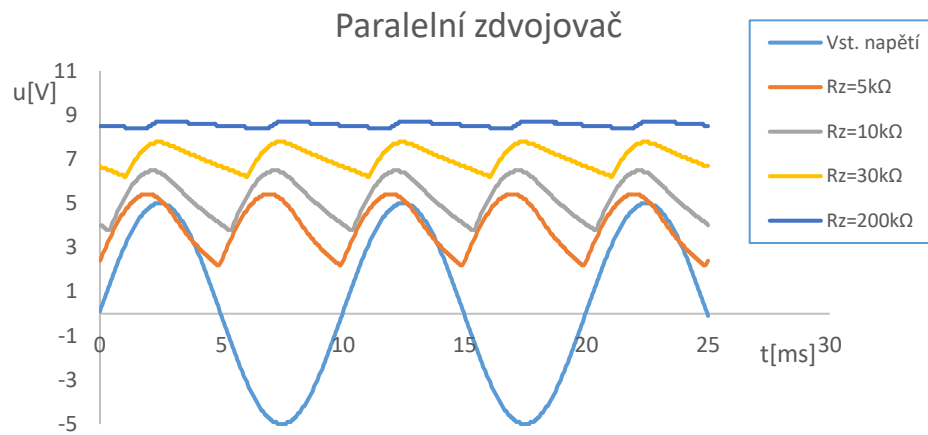
Graf č. 5: Charakteristika kladného omezovače amplitudy



Graf č. 6: Charakteristika sériového zdvojovače amplitudy



Graf č. 7: Charakteristika paralelního zdvojovače amplitudy




3.1.5 Zhodnocení výsledků měření

V této laboratorní úloze jsem si ověřil chování různých polovodičových diod měřením jejich VA charakteristik a chování polovodičové usměrňovací diody v různých zapojení. V zapojení záporného a kladného omezovače amplitudy došlo k omezení výstupního napětí po překročení určité hranice, která je nastavena pomocí předpětí diody.

V zapojení sériového a paralelního zdvojovače napětí dochází k navýšení výstupního napětí pomocí nabíjení paralelních a vybíjení sériových kapacit. Ke zdvojení výstupního napětí dochází pouze v ideálním případě. Paralelní zdvojovač používá na rozdíl od sériového zdvojovače obě půlvlny ze střídavého vstupního napětí. Z grafů 6 a 7 je patrné, že zdvojovače jsou měkké zdroje napětí.

3.2 Úloha č.2 – Usměrňovače a stabilizátory

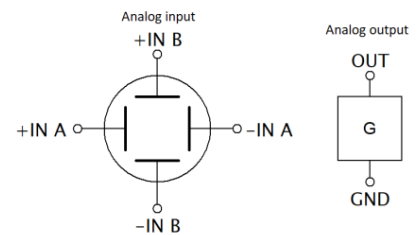
 Univerzita Tomáše Bati Fakulta aplikované informatiky			
Jméno:	Vít Máčala	Ročník:	III
Předmět:	Analogová a číslicová technika	Skupina:	ISR
Název úlohy:	Usměrňovače a stabilizátory	Měřeno:	17.04.2024
		Odevzdáno:	
		Hodnocení:	

3.2.1 Úkol

1. Ověřte vlastnosti jednocestného usměrňovače
2. Ověřte vlastnosti dvoucestného můstkového usměrňovače
3. Ověřte vlastnosti stabilizátoru se Zenerovou diodou
4. Ověřte vlastnosti integrovaného stabilizátoru
5. Ověřte vlastnosti sériového stabilizátoru

3.2.2 Seznam použitých přístrojů a součástek

- Osc měřicí jednotka RC
- G generátor funkcí
- U Programovatelný DC zdroj
- V Voltmetr DC a AC
- A Multimetr Mastech
- D Usměrňovací dioda, Z_D Zenerova dioda
- C Kapacitní sestava
- R Zatěžovací odpor 10 k Ω , odpor 100 Ω , 200 Ω



Modul bipolárního tranzistoru NPN (BC546B), Modul prvků

3.2.3 Schémata zapojení

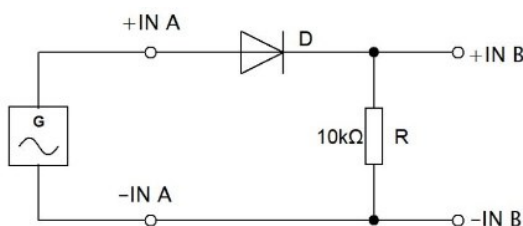


Schéma 1

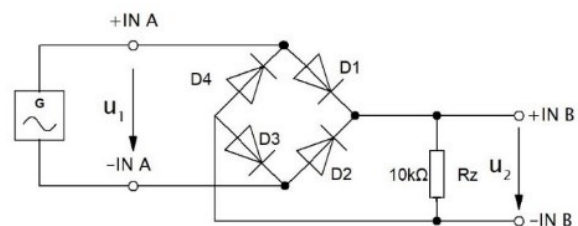


Schéma 2

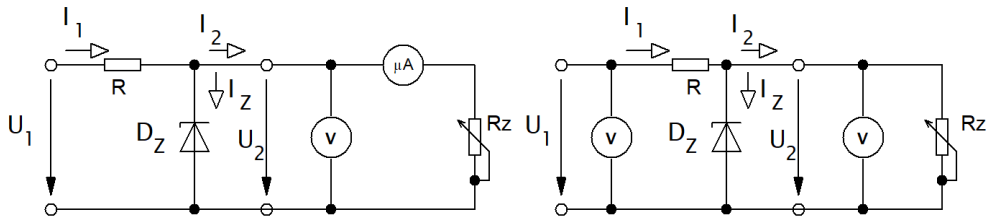


Schéma 3

Schéma 4

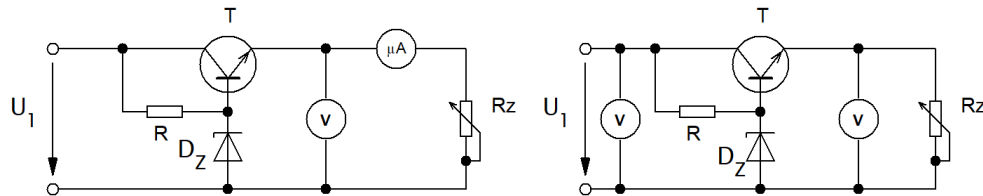


Schéma 5

Schéma 6

3.2.4 Vypracování

- a) Pomocí měřicí soustavy RC a programu rc2000 jsem ověřil chování jednocestného usměrňovače.
 - a. Chování jednocestného usměrňovače bez filtračního kondenzátoru je znázorněno na grafu č. 1
 - b. Chování jednocestného usměrňovače s filtračním kondenzátorem je znázorněno na grafu č. 2 a 3 (pro dvě zátěže).
- b) Ověřil jsem chování můstkového usměrňovače.
 - a. Chování můstkového usměrňovače bez filtračního kondenzátoru je znázorněno na grafu č. 4
 - b. Chování jednocestného usměrňovače s filtračním kondenzátorem je znázorněno na grafu č. 5 a 6 (pro dvě zátěže).
- c) Ověřil jsem chování stabilizátoru se Zenerovou diodou.
 - a. Změřil jsem zatěžovací charakteristiku stabilizátoru se Zenerovou diodou.

Naměřené hodnoty:

R_z [k Ω]	U_2 [V]	I [mA]	R_z [k Ω]	U_2 [V]	I [mA]
999	3,152	0,003	49	3,150	0,064
899	3,152	0,004	39	3,149	0,081
799	3,152	0,004	29	3,149	0,108
699	3,152	0,005	19	3,147	0,165
599	3,152	0,005	9	3,140	0,343
499	3,152	0,007	8	3,138	0,387
399	3,152	0,008	7	3,137	0,441
299	3,152	0,011	6	3,134	0,513
199	3,152	0,016	5	3,130	0,612
99	3,152	0,032	4	3,125	0,760
89	3,152	0,035	3	3,115	1,001
79	3,151	0,040	2	3,097	1,469
69	3,150	0,046	1	3,032	2,997
59	3,150	0,053			

- b. Změřil jsem převodní charakteristiku stabilizátoru se Zenerovou diodou.

Naměřené hodnoty:

U_1 [V]	U_2 [V]	U_1 [V]	U_2 [V]
0,000	0,000	4,200	2,987
0,300	0,300	4,500	3,057
0,600	0,601	4,800	3,119
0,900	0,900	5,100	3,175
1,200	1,199	5,400	3,225
1,500	1,493	5,700	3,271
1,800	1,713	6,000	3,312
2,100	2,029	6,300	3,349
2,400	2,250	6,600	3,385
2,700	2,433	6,900	3,419
3,000	2,585	7,200	3,449
3,300	2,711	7,500	3,477
3,600	2,817	7,800	3,502
3,900	2,909		

- d) Ověřil jsem chování sériového stabilizátoru

- a. Změřil jsem zatěžovací charakteristiku stabilizátoru se Zenerovou diodou.

Naměřené hodnoty:

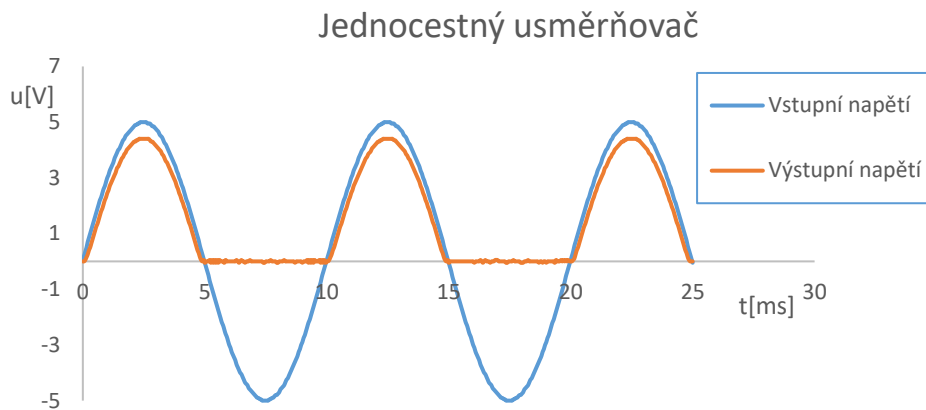
RZ[kΩ]	U ₂ [V]	I[mA]	RZ[kΩ]	U ₂ [V]	I[mA]
999	3,556	0,004	49	3,464	0,071
899	3,555	0,004	39	3,457	0,089
799	3,552	0,005	29	3,445	0,119
699	3,546	0,006	19	3,428	0,181
599	3,542	0,006	9	3,389	0,376
499	3,536	0,008	8	3,380	0,422
399	3,528	0,009	7	3,371	0,480
299	3,519	0,012	6	3,359	0,559
199	3,507	0,018	5	3,343	0,667
99	3,486	0,036	4	3,320	0,828
89	3,482	0,040	3	3,285	1,092
79	3,480	0,044	2	3,322	1,600
69	3,475	0,051	1	3,323	3,326
59	3,470	0,059			

b. Změřil jsem převodní charakteristiku stabilizátoru se Zenerovou diodou.

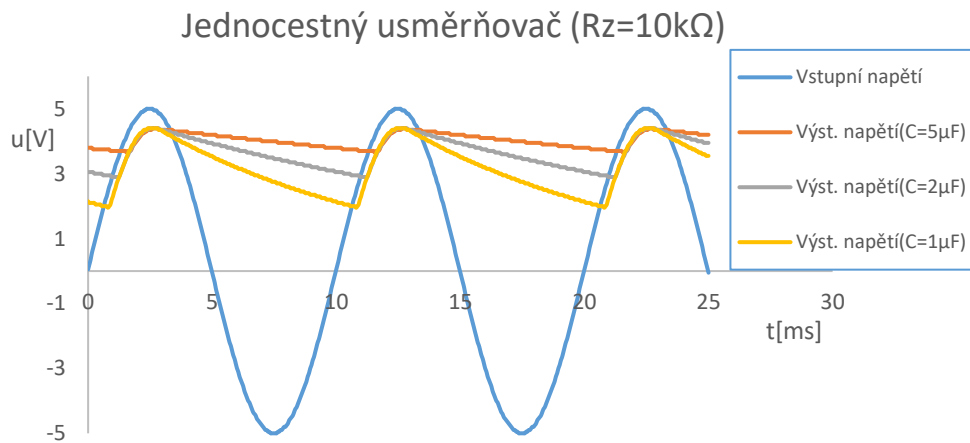
Naměřené hodnoty:

U ₁ [V]	U ₂ [V]	U ₁ [V]	U ₂ [V]
0,000	0,000	4,500	2,971
0,300	0,002	4,800	3,053
0,600	0,114	5,100	3,121
0,900	0,382	5,400	3,180
1,200	0,667	5,700	3,233
1,500	0,957	6,000	3,279
1,800	1,249	6,300	3,321
2,100	1,535	6,600	3,359
2,400	1,813	6,900	3,392
2,700	2,067	7,200	3,422
3,000	2,292	7,500	3,450
3,300	2,481	7,800	3,476
3,600	2,638	8,100	3,501
3,900	2,769	8,400	3,521
4,200	2,879		

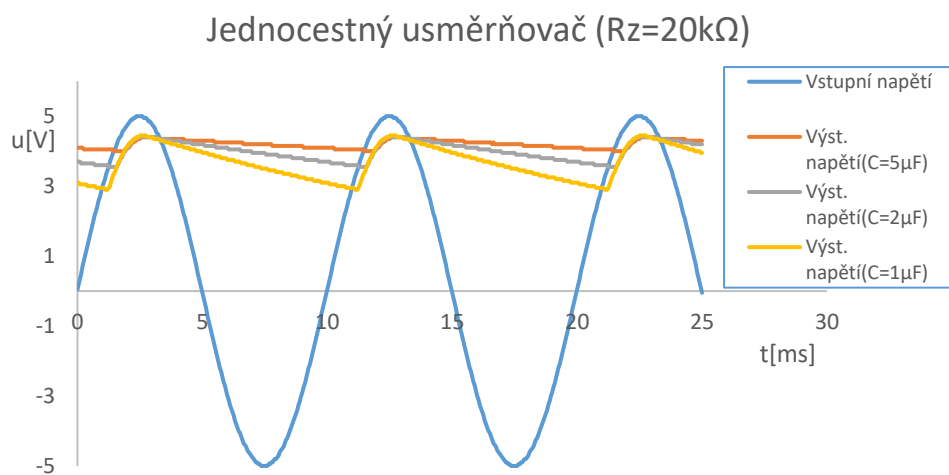
Graf č. 1: Charakteristika jednocestného usměřovače



Graf č. 2: Charakteristika jednocestného usměrňovače s filtračním kondenzátorem ($R_Z=10k\Omega$)



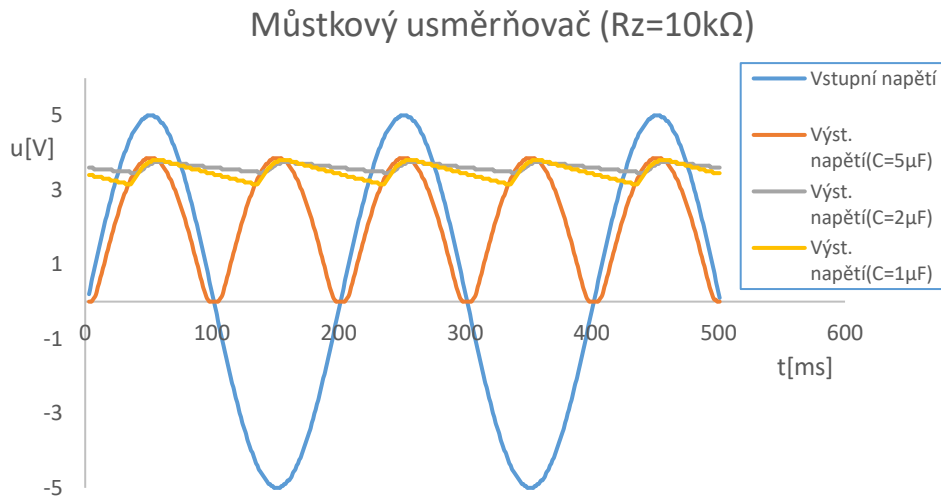
Graf č. 3: Charakteristika jednocestného usměrňovače s filtračním kondenzátorem ($R_Z=20k\Omega$)



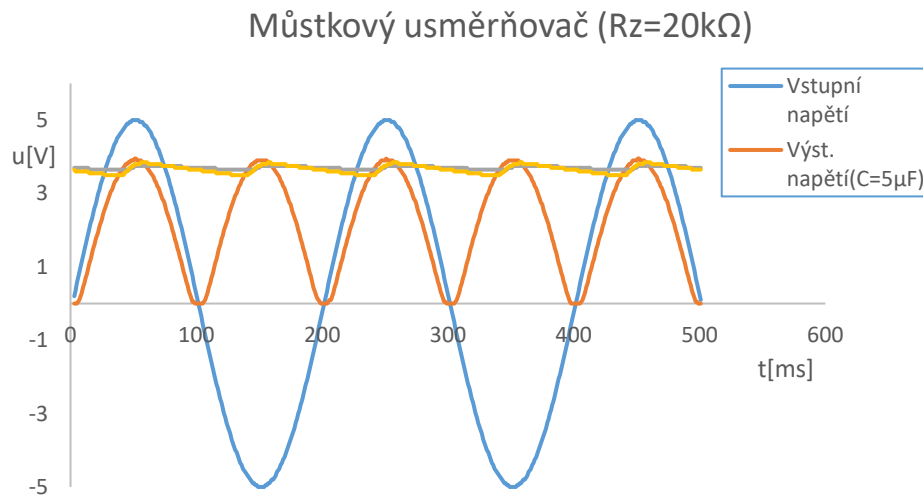
Graf č. 4: Charakteristika můstkového usměrňovače



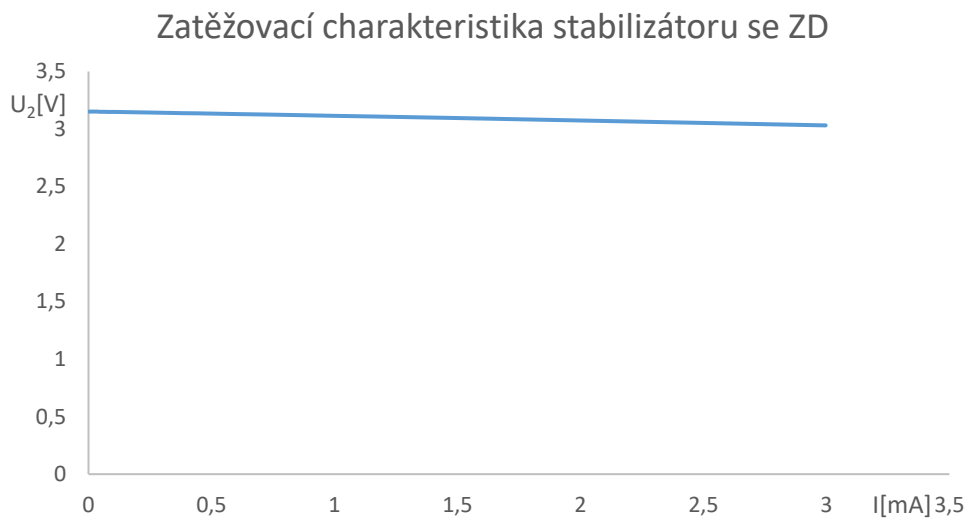
Graf č. 5: Charakteristika můstkového usměrňovače s filtračním kondenzátorem ($R_Z=10k\Omega$)



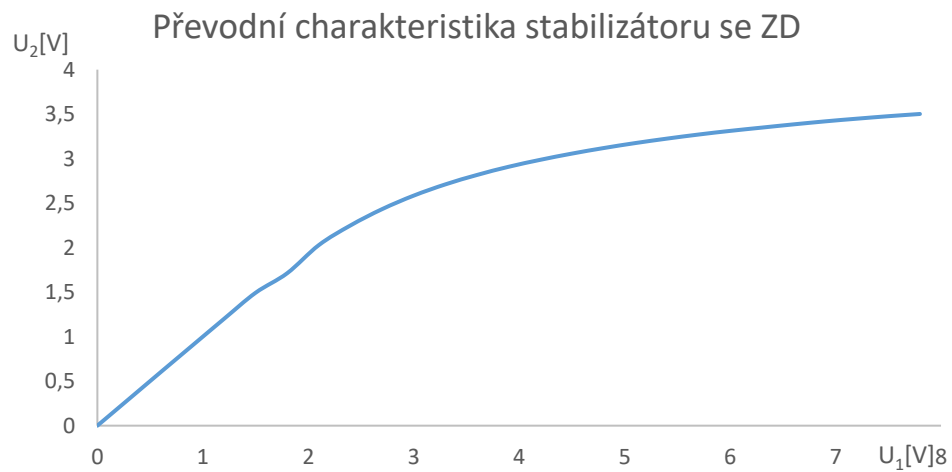
Graf č. 5: Charakteristika můstkového usměrňovače s filtračním kondenzátorem ($R_Z=20k\Omega$)



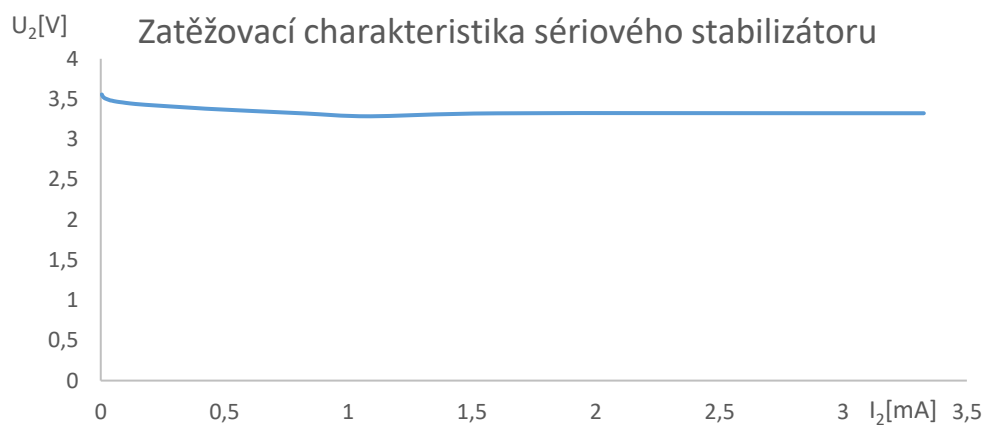
Graf č. 6: Zatěžovací charakteristika stabilizátoru se Zenerovou diodou



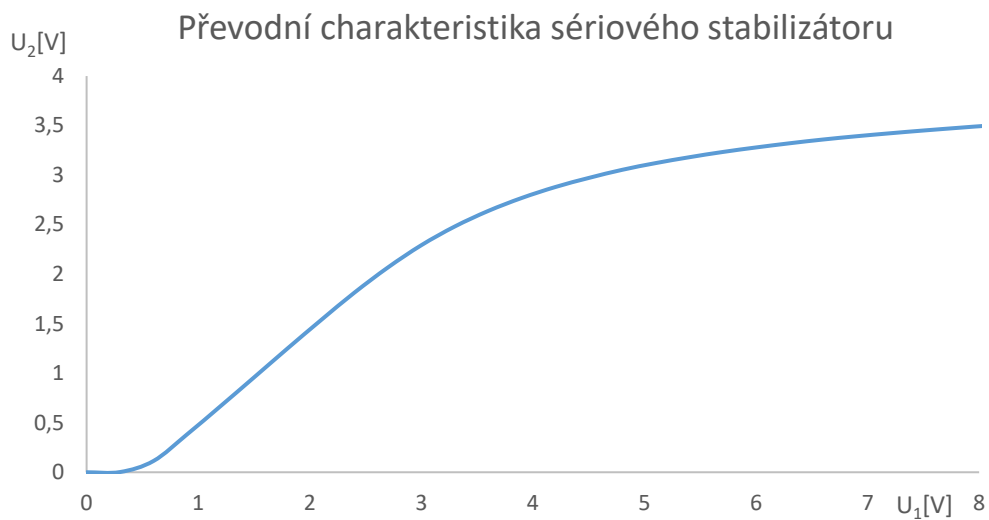
Graf č. 7: Převodní charakteristika stabilizátoru se Zenerovou diodou



Graf č. 8: Zatěžovací charakteristika sériového stabilizátoru



Graf č. 9: Převodní charakteristika sériového stabilizátoru




3.2.5 Zhodnocení výsledků měření

V téhle laboratorní úloze jsem si ověřil chování vybraných usměřňovačů a stabilizátorů. V zapojení jednocestného usměřňovače je oproti můstkového zapojení použita jen jedna půlvlna střídavého napětí. Použitím filtračního kondenzátoru jsou výstupní stejnosměrné napětí usměřňovačů téměř lineární.

U zapojení sériového stabilizátoru a stabilizátoru se Zenerovou diodou jsem změřil jejich zatěžovací a převodní charakteristiky. Oba stabilizátory stabilizují napětí od hodnoty Zenerova napětí použité Zenerovy diody.

3.3 Úloha č.3 – Tranzistory

 Univerzita Tomáše Bati Fakulta aplikované informatiky			
Jméno:	Vít Máčala	Ročník:	III
Předmět:	Analogová a číslicová technika	Skupina:	ISR
		Měřeno:	24.04.2024
Název úlohy:	Tranzistory	Odevzdáno:	
		Hodnocení:	

3.3.1 Úkol

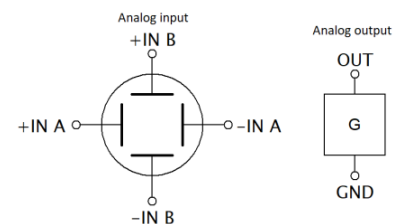
- 1) Změřte vstupní charakteristiku bipolárního tranzistoru typu NPN
- 2) Změřte převodní charakteristiku bipolárního tranzistoru typu NPN
- 3) Změřte výstupní charakteristiku bipolárního tranzistoru typu NPN
- 4) Změřte převodní charakteristiku unipolárního tranzistoru typu JFET-N
- 5) Změřte výstupní charakteristiku unipolárního tranzistoru typu JFET-N
- 6) Ověřte funkci tranzistoru ve funkci spínače

3.3.2 Seznam použitých přístrojů a součástek

- Osc měřicí jednotka RC
- U Programovatelný DC zdroj
- A Multimetr Mastech
- R Rezistor 10 Ω, 100 Ω, 200 Ω, 1 kΩ, 100 kΩ
- D Luminiscenční dioda (červená)

Modul bipolárního tranzistoru NPN (BC546B)

Modul unipolárního tranzistoru JFET-N (BF245)



3.3.3 Schémata zapojení

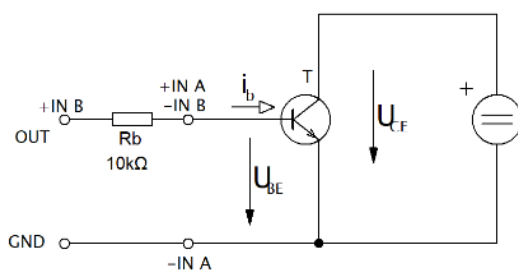


Schéma1

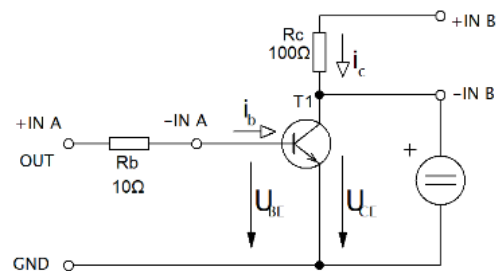


Schéma2

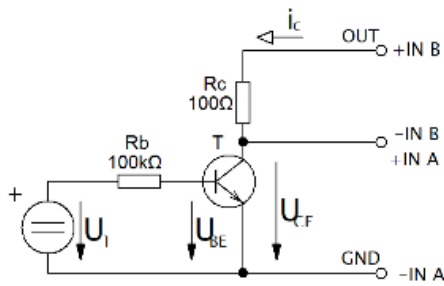


Schéma 3

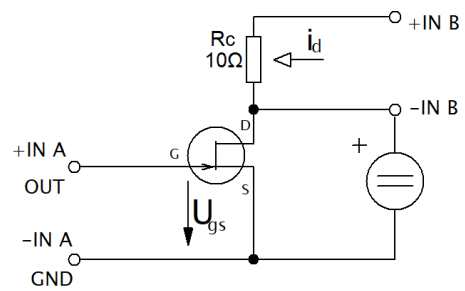


Schéma 4

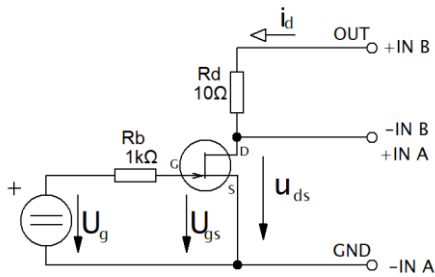


Schéma 5

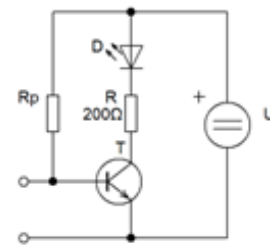
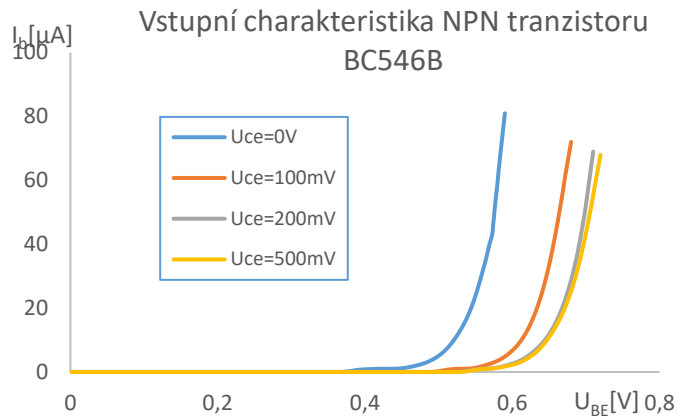


Schéma 6

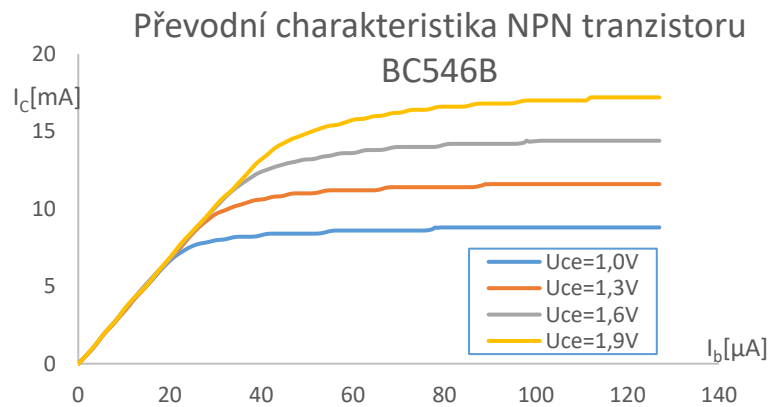
3.3.4 Vypracování

- a) Pomocí měřicí soustavy RC a programu rc2000 jsem změřil statické charakteristiky. NPN tranzistoru. Z naměřených dat jsou sestrojeny grafy:
 - a. Vstupní charakteristika (graf č. 1)
 - b. Převodní charakteristika (graf č. 2). Napětí na ose X (napětí na snímacím odporu) je nutné přepočítat na proud I_b , $I_b = \frac{U}{R_b} = \frac{U}{10000}$
 - c. Výstupní charakteristika (graf č. 3)
- b) Pomocí měřicí soustavy RC a programu rc2000 jsem změřil statické charakteristiky. JFET-N tranzistoru. Z naměřených dat jsou sestrojeny grafy:
 - a. Převodní charakteristika (graf č. 4)
 - b. Výstupní charakteristika (graf č. 5)
- c) Ověřil jsem funkci tranzistoru jako spínače

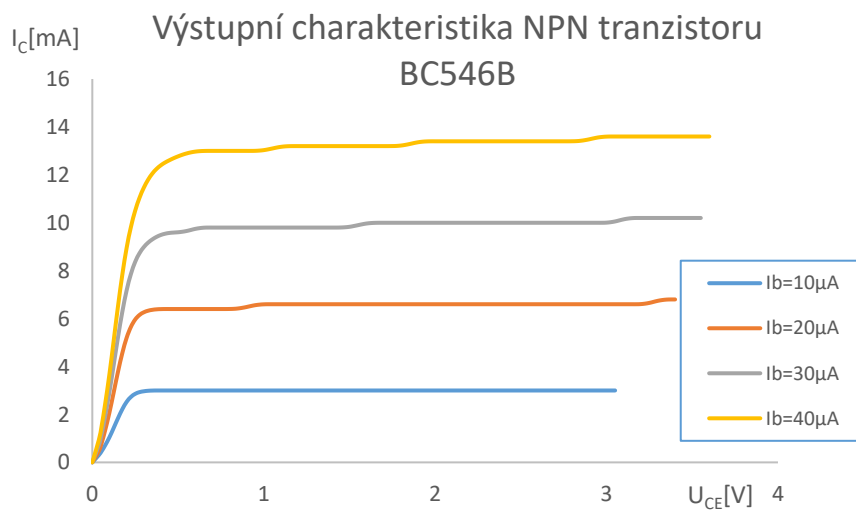
Graf č. 1: Vstupní charakteristika NPN tranzistoru



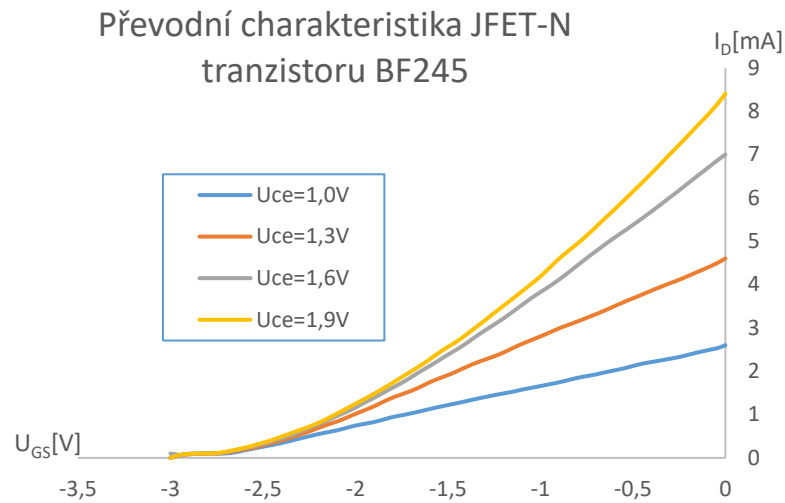
Graf č. 2: Převodní charakteristika NPN tranzistoru



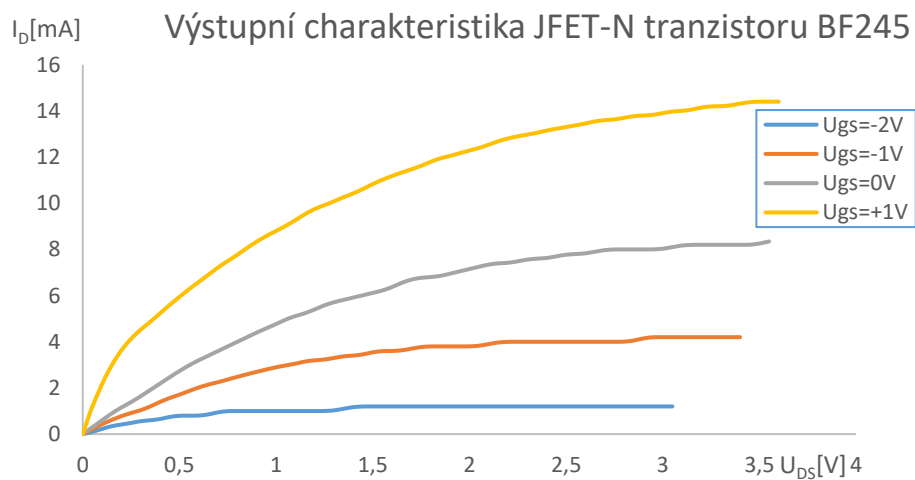
Graf č. 3: Výstupní charakteristika NPN tranzistoru



Graf č. 4: Převodní charakteristika JFET-N tranzistoru




Graf č. : Výstupní charakteristika JFET-N tranzistoru



3.3.5 Zhodnocení výsledků měření

V téhle laboratorní úloze jsem změřil statické charakteristiky bipolárního NPN tranzistoru a unipolárního tranzistoru JFET-N. Všechny naměřené charakteristiky odpovídají charakteristikám použitých tranzistorů. V zapojení tranzistoru jako spínače jsem ověřil jeho správnost. Při zkratovaném vstupu se tranzistor rozpojil (LED zhasla), jinak LED zůstala svítit.

3.4 Úloha č.4 – Tranzistor jako zesilovač

 Univerzita Tomáše Bati Fakulta aplikované informatiky			
Jméno:	Vít Máčala	Ročník:	III
Předmět:	Analogová a číslicová technika	Skupina:	ISR
		Měřeno:	30.04.2024
Název úlohy:	Tranzistor jako zesilovač	Odevzdáno:	
		Hodnocení:	

3.4.1 Úkol

- 1) Ověřte vlastnosti zesilovače se společným emitorem (SE)
- 2) Ověřte vlastnosti zesilovače se společným kolektorem (SC)
- 3) Ověřte vlastnosti zesilovače se společnou bází (SB)

3.4.2 Seznam použitých přístrojů a součástek

Osc měřící jednotka RC

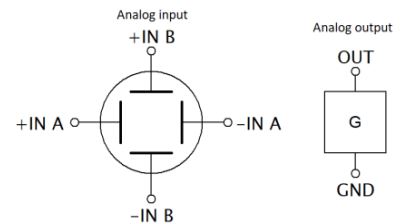
G generátor funkcí

U Programovatelný DC zdroj

R Sada rezistorů, odporová dekáda

C Kondenzátor 1μF

Modul bipolárního tranzistoru NPN (BC546B)



3.4.3 Schémata zapojení

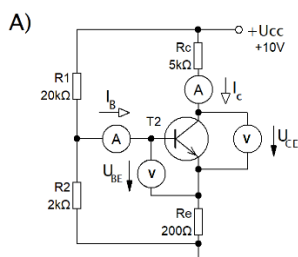


Schéma 1

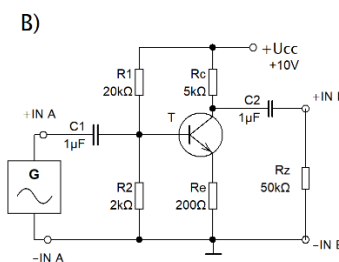


Schéma 2

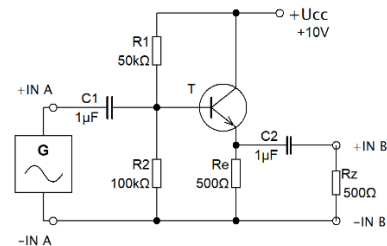


Schéma 3

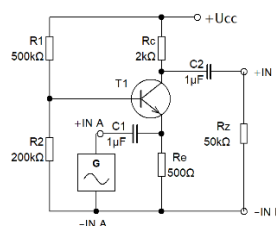


Schéma 4

3.4.4 Vypracování

- a) Pomocí měřicí soustavy RC a programu rc2000 jsem ověřil chování zesilovače se společným emitorem (SE).

- a. Pomocí multimetru jsem změřil parametry pracovního bodu tranzistoru v zapojení SE:

$$U_{CC} = 10 \text{ V}, U_{BE} = 0,623 \text{ V}, U_{CE} = 2,781 \text{ V},$$

$$I_B = 3,9 \mu\text{A}, I_C = 1,381 \text{ mA}$$

- b. Stanovil jsem napěťové zesílení a proudový zesilovací činitel

$$U_2 = 1,99\text{V} \quad A_U = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1,99}{0,1} = 19,9 \quad \beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{1,381 \text{ mA}}{3,9 \mu\text{A}} = 354,3$$

- c. Chování zesilovače je znázorněno v grafu č. 1.

- d. Vliv výstupního vazebního kondenzátoru na amplitudovou a fázovou frekvenční charakteristiku je sestaven v grafu č. 2 a 3.

- b) Pomocí měřicí soustavy RC a programu rc2000 jsem ověřil chování zesilovače se společným kolektorem (SC).

- a. Pomocí multimetru jsem změřil parametry pracovního bodu tranzistoru v zapojení SE:

$$U_{CC} = 10 \text{ V}, U_{BE} = 0,677 \text{ V}, U_{CE} = 4,905 \text{ V},$$

$$I_B = 26,1 \mu\text{A}, I_C = 10,15 \text{ mA}$$

- b. Stanovil jsem napěťové zesílení

$$U_2 = 0,94 \text{ V} \quad A_U = \frac{U_2}{U_1} = \frac{0,94}{1} = 0,94$$

- c. Chování zesilovače je znázorněno v grafu č. 4.

- c) Pomocí měřicí soustavy RC a programu rc2000 jsem ověřil chování zesilovače se společným bází (SB).

- a. Pomocí multimetru jsem změřil parametry pracovního bodu tranzistoru v zapojení SE:

$$U_{CC} = 10 \text{ V}, U_{BE} = 0,635 \text{ V}, U_{CE} = 3,789\text{V},$$

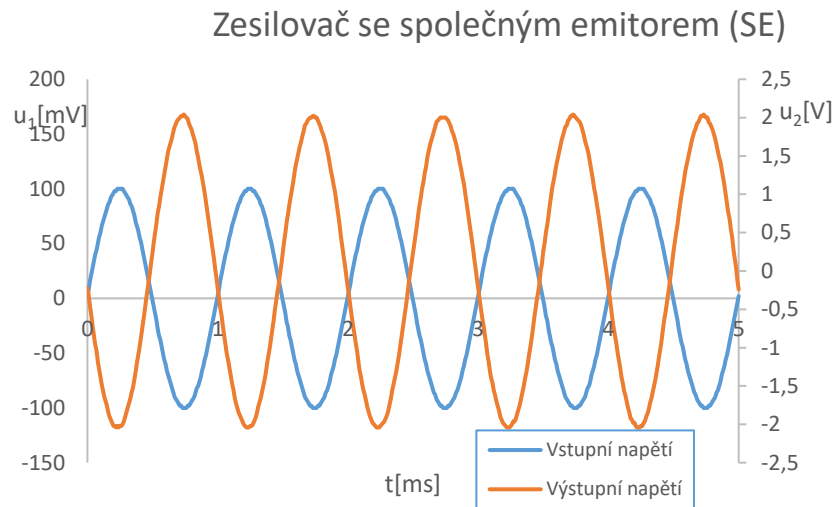
$$I_B = 16,1 \mu\text{A}, I_C = 2,482\text{mA}$$

- d. Stanovil jsem napěťové zesílení

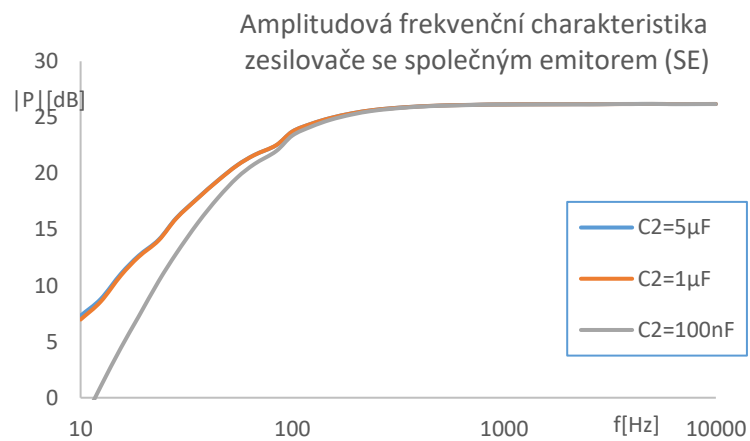
$$U_2 = 0,4 \text{ V} \quad A_U = \frac{U_2}{U_1} = \frac{0,4}{0,1} = 4$$

- e. Chování zesilovače je znázorněno v grafu č. 5.

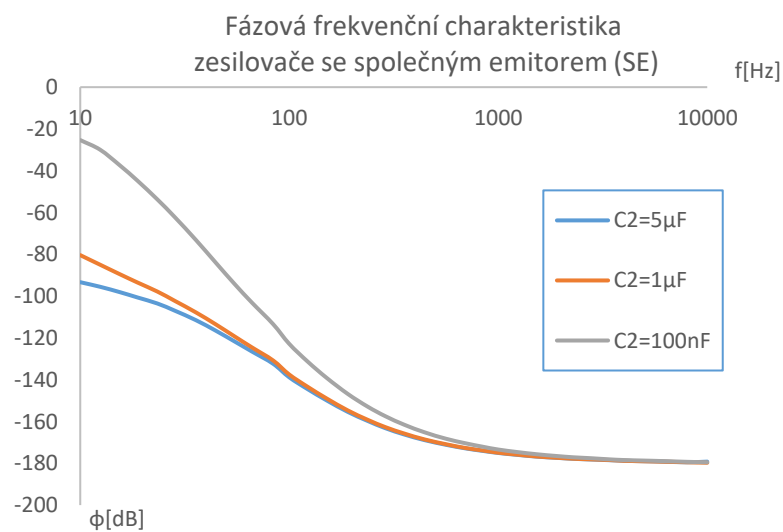
Graf č. 1: Chování zesilovače se společným emitorem (SE)



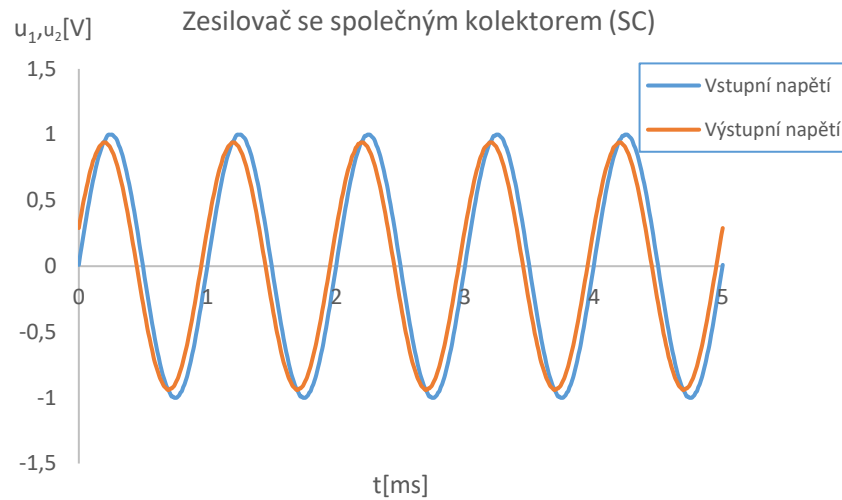
Graf č. 2: Amplitudová frekvenční charakteristika zesilovače se společným emitorem (SE)



Graf č. 3: Fázová frekvenční charakteristika zesilovače se společným emitorem (SE)



Graf č. 4: Chování zesilovače se společným kolektorem (SC)




Graf č. 5: Chování zesilovače se společným bází (SB)



3.4.5 Zhodnocení výsledků měření

V této laboratorní úloze jsem změřil vlastnosti základních zapojení zesilovačů se společným emitorem, společným kolektorem a společnou bází. Nejvyššího napětového zesílení dosahuje společný emitor, jeho nevýhodou je výstupní fáze otočená o 180° oproti vstupnímu signálu. Zapojení se vstupním kolektorem (emitorový sledovač) je vhodný pro zesílení proudu.

3.5 Úloha č.5 – Vícevrstvé součástky – tyristor

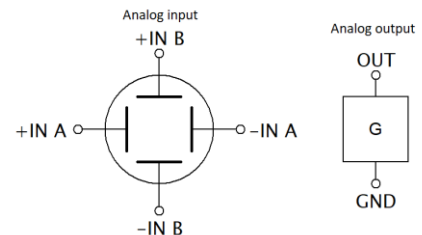
 Univerzita Tomáše Bati Fakulta aplikované informatiky			
Jméno:	Vít Máčala	Ročník:	III
Předmět:	Analogová a číslicová technika	Skupina:	ISR
		Měřeno:	07.05.2024
Název úlohy:	Vícevrstvé součástky – tyristor	Odevzdáno:	
		Hodnocení:	

3.5.1 Úkol

- 1) Změřte VA charakteristiku tyristoru
- 2) Ověřte funkci regulace výkonu pomocí tyristoru
- 3) Změřte velikost přídržného proudu tyristoru
- 4) Změřte velikost spínacího proudu tyristoru

3.5.2 Seznam použitých přístrojů a součástek

- G generátor funkcí
- Osc měřicí jednotka RC
- U Programovatelný DC zdroj
- A Ampérmetr
- C Kondenzátor 100nF, 1μF
- R Odporová dekáda, rezistory 100 Ω, 1, 2, 10 kΩ
- Modul tyristoru (tyristor 2N5060)



3.5.3 Schémata zapojení

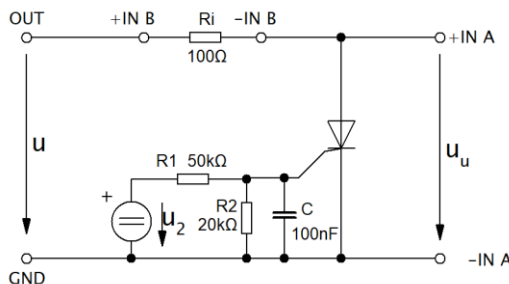


Schéma 1

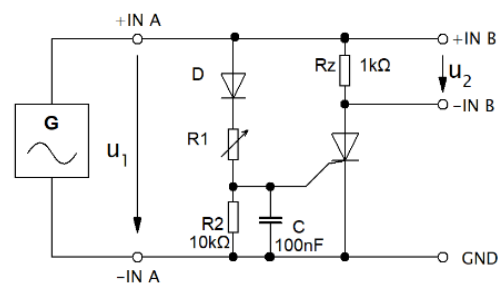


Schéma 2

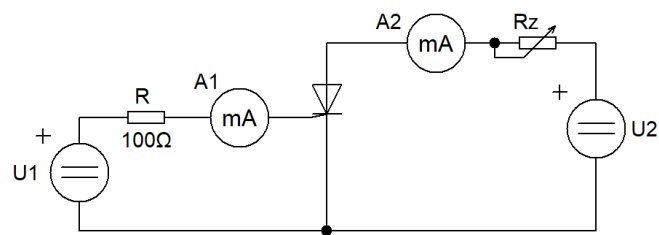
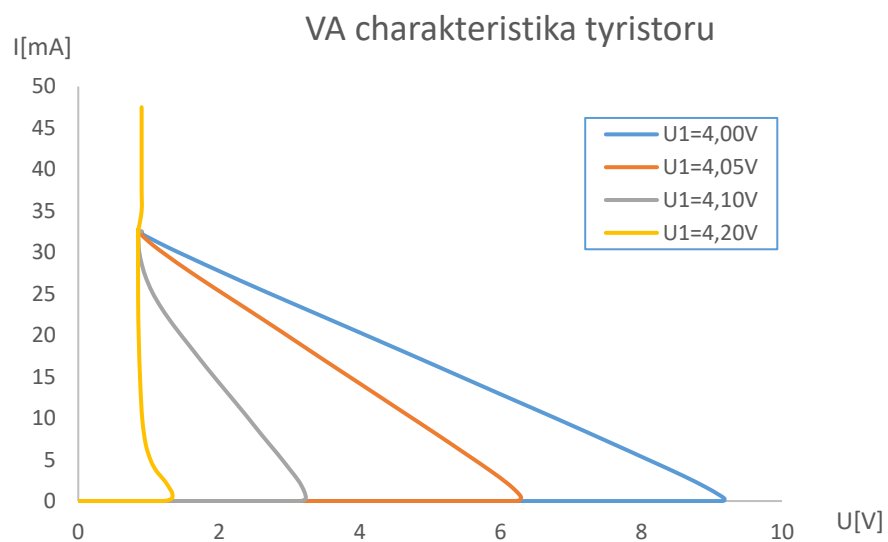


Schéma 3

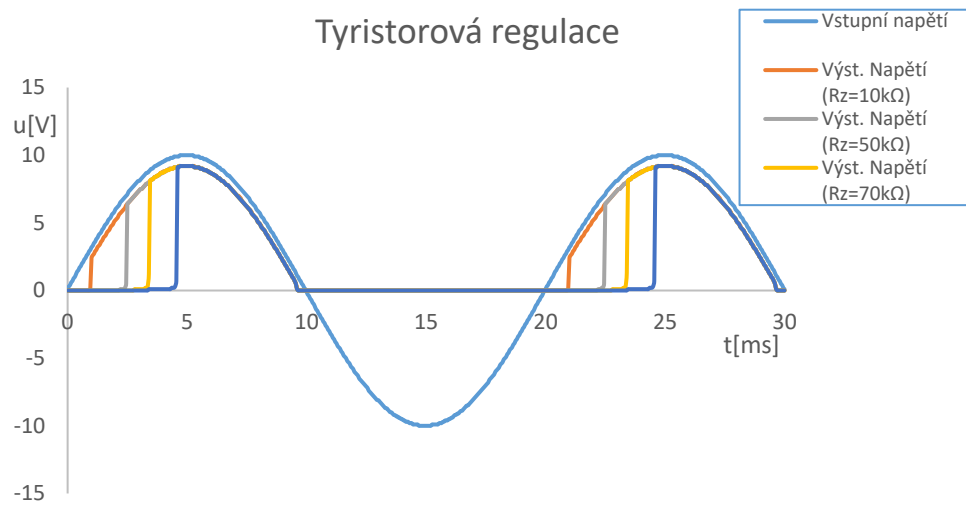
3.5.4 Vypracování

- Pomocí měřicí soustavy RC a programu rc2000 jsem ověřil chování jednocestného usměrňovače (graf č. 1).
- Pomocí měřicí soustavy RC a programu rc2000 jsem ověřil chování tyristorové regulace (graf č. 2).
- Změřil jsem velikost přídržného proudu tyristoru. $I_H = 5,12 \text{ mA}$.
- Změřil jsem velikost spínacího proudu tyristoru. $I_L = 317 \text{ } \mu\text{A}$.

Graf č. 1: VA charakteristika tyristoru




Graf č. 2: Ověření vlastností tyristorové regulace



3.5.5 Zhodnocení výsledků měření

V této laboratorní úloze jsem změřil VA charakteristiku a využití tyristoru jako regulátor výkonu. Hodnota přídržného a spínacího proudu odpovídá hodnotám použitého tyristoru.

3.6 Úloha č.6 – Operační zesilovače I

 Univerzita Tomáše Bati Fakulta aplikované informatiky			
Jméno:	Vít Máčala	Ročník:	III
Předmět:	Analogová a číslicová technika	Skupina:	ISR
		Měřeno:	17.04.2024
Název úlohy:	Operační zesilovače I	Odevzdáno:	
		Hodnocení:	

3.6.1 Úkol

- 1) Ověřte vlastnosti neinvertujícího zesilovače
- 2) Ověřte vlastnosti invertujícího zesilovače
- 3) Ověřte vlastnosti součtového zesilovače
- 4) Ověřte vlastnosti rozdílového zesilovače
- 5) Ověřte vlastnosti komparátoru

3.6.2 Seznam použitých přístrojů a součástek

G generátor funkcí

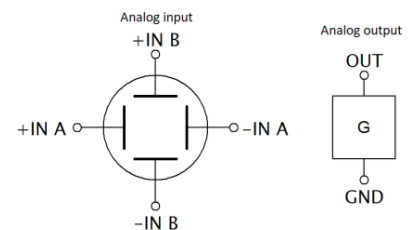
Osc měřicí jednotka RC

U Programovatelný DC zdroj

R Rezistory 1,2,5,10,20 k Ω

Modul operačního zesilovače (OZ OPA132)

Modul Voltmetr DC & AC RMS



3.6.3 Schémata zapojení

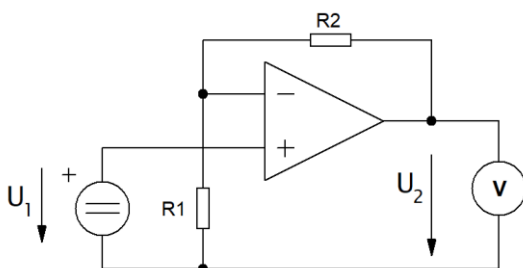


Schéma 1

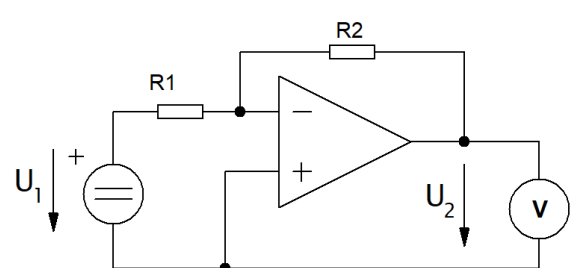


Schéma 2

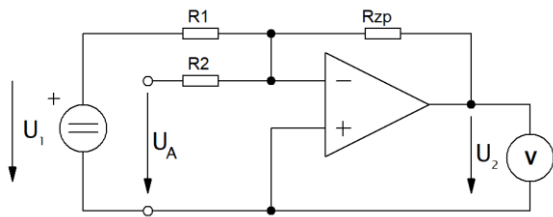


Schéma 3

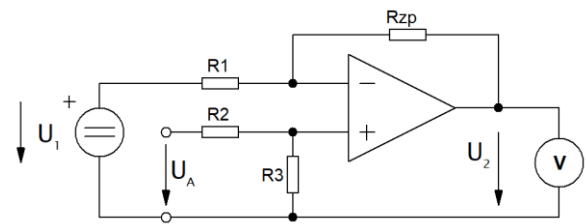


Schéma 4

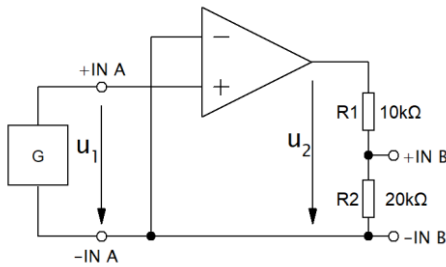


Schéma 5

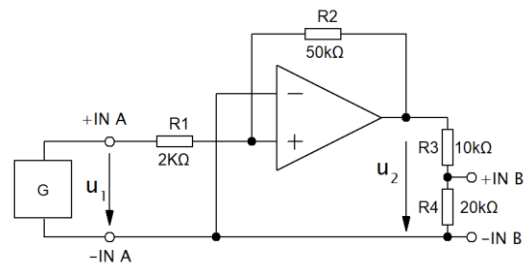


Schéma 6

3.6.4 Vypracování

- a) Změřil jsem průběh výstupního napětí neinvertujícího operačního zesilovače. Z naměřených hodnot jsem sestrojil graf č. 1.

Naměřené hodnoty:

A=3, R ₁ =1kΩ, R ₂ =2kΩ				A=6, R ₁ =1kΩ, R ₂ =5kΩ			
U ₁ [V]	U ₂ [V]	U ₁ [V]	U ₂ [V]	U ₁ [V]	U ₂ [V]	U ₁ [V]	U ₂ [V]
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,5	1,499	-0,5	-1,500	0,5	2,997	-0,5	-2,999
1,0	3,006	-1,0	-3,000	1,0	5,995	-1,0	-5,997
1,5	4,497	-1,5	-4,498	1,5	8,995	-1,5	-8,996
2,0	5,997	-2,0	-5,997	2,0	11,993	-2,0	-11,995
2,5	7,496	-2,5	-7,497	2,5	13,619	-2,5	-14,367
3,0	8,995	-3,0	-8,997	3,0	13,493	-3,0	-14,363
3,5	10,495	-3,5	-10,496	3,5	13,483	-3,5	-14,361
4,0	11,994	-4,0	-11,995	4,0	13,485	-4,0	-14,361
4,5	13,472	-4,5	-13,495				
5,0	13,384	-5,0	-13,970				
5,5	13,320	-5,5	-13,966				

- b) Změřil jsem průběh výstupního napětí invertujícího operačního zesilovače. Z naměřených hodnot jsem sestrojil graf č. 2.

Naměřené hodnoty:

A=-2, R ₁ =1kΩ, R ₂ =2kΩ				A=-5, R ₁ =1kΩ, R ₂ =5kΩ			
U ₁ [V]	U ₂ [V]	U ₁ [V]	U ₂ [V]	U ₁ [V]	U ₂ [V]	U ₁ [V]	U ₂ [V]
0	0	0,0	0,0	0	0	0	0
0,5	-0,999	-0,5	0,999	0,5	-2,497	-0,5	2,499
1,0	-1,998	-1,0	1,999	1,0	-4,995	-1,0	4,997
1,5	-2,998	-1,5	2,999	1,5	-7,495	-1,5	7,496
2,0	-3,997	-2,0	3,997	2,0	-9,993	-2,0	9,995
2,5	-4,996	-2,5	4,996	2,5	-12,492	-2,5	12,493
3,0	-5,995	-3,0	5,996	3,0	-14,196	-3,0	13,584
3,5	-6,995	-3,5	6,995	3,5	-14,173	-3,5	13,468
4,0	-7,994	-4,0	7,995	4,0	-14,361	-4,0	13,485
4,5	-8,994	-4,5	8,994				
5,0	-9,993	-5,0	9,994				
5,5	-10,992	-5,5	10,993				
6,0	-11,992	-6,0	11,993				
6,5	-12,991	-6,5	12,992				
7,0	-13,771	-7,0	13,270				
7,5	-13,753	-7,5	13,194				

c) Změřil jsem průběh výstupního napětí invertujícího součtového operačního zesilovače. Z naměřených hodnot jsem sestrojil graf č. 3.

Naměřené hodnoty:

	U ₁ =5,169V, R ₁ ,R ₂ ,R _{ZP} =2kΩ									
U ₂ [V]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U _{OUT} [V]	-5,165	-6,165	-7,163	-8,162	-9,160	-10,159	-11,157	-12,156	-13,155	-13,768

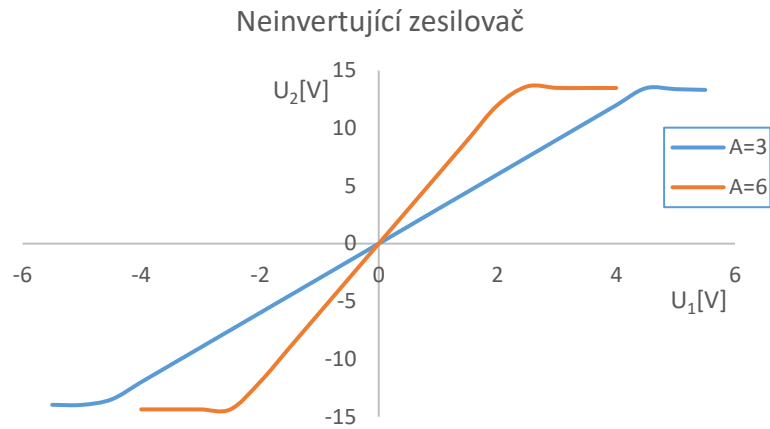
d) Změřil jsem průběh výstupního napětí invertujícího součtového operačního zesilovače. Z naměřených hodnot jsem sestrojil graf č. 4.

Naměřené hodnoty:

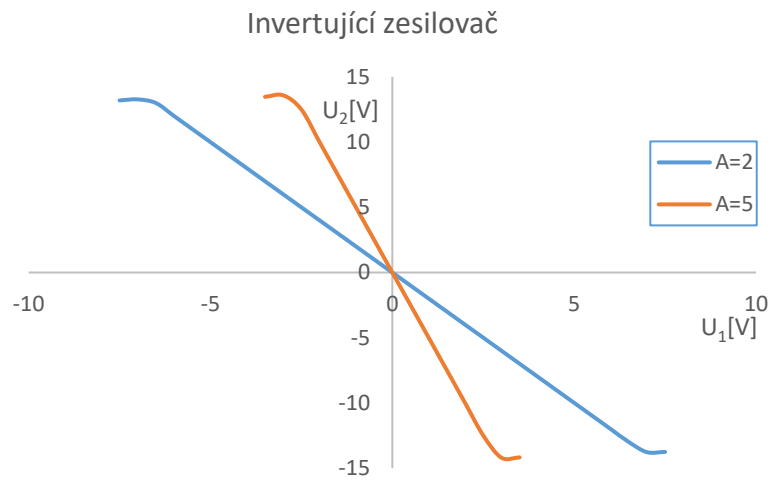
	U ₁ =5,169V, R ₁ ,R ₂ ,R ₃ ,R _{ZP} =2kΩ									
U ₂ [V]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U _{OUT} [V]	5,165	4,167	3,169	2,17	1,172	0,174	-0,826	-1,825	-2,826	-3,825

e) Pomocí měřicí soustavy RC a programu rc2000 jsem ověřil chování komparátoru a komparátoru s hysterezí. Z naměřených hodnot jsem sestrojil graf č. 5.

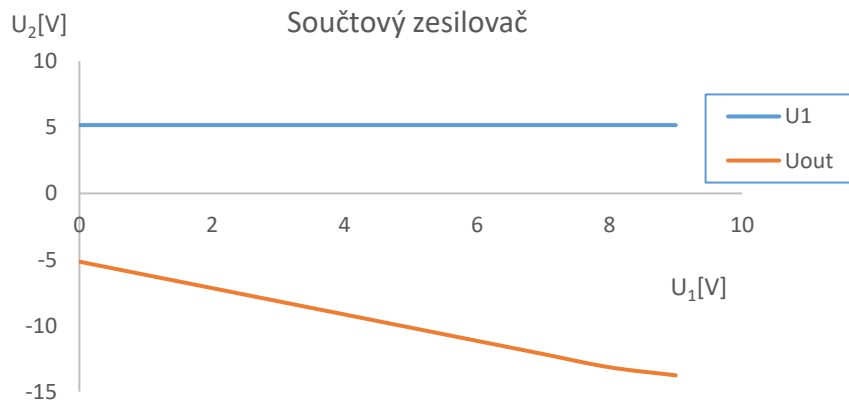
Graf č. 1: Charakteristika neinvertujícího zesilovače



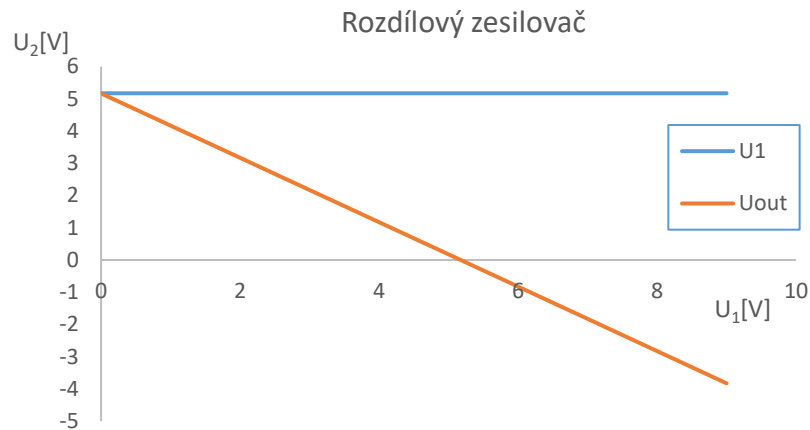
Graf č. 2: charakteristika invertujícího zesilovače



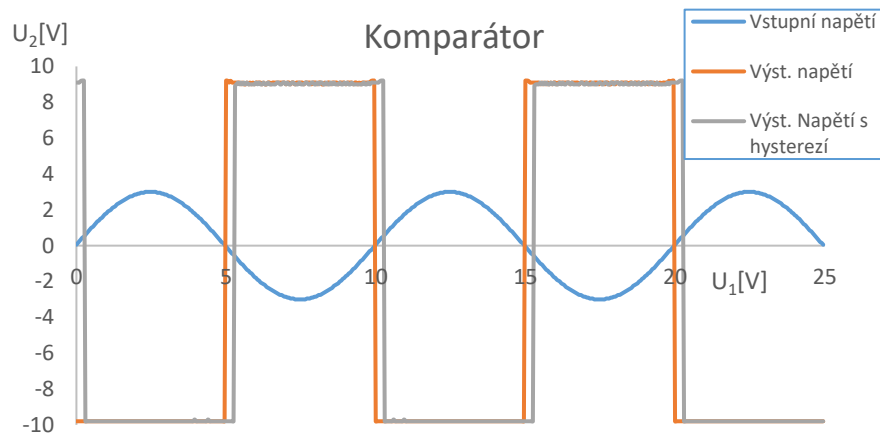
Graf č. 3: charakteristika součtového zesilovače



Graf č. 4: charakteristika rozdílového zesilovače




Graf č. 5: charakteristika komparátoru



3.6.5 Zhodnocení výsledků měření

Měřením jsem si ověřil chování operačního zesilovače v základních zapojeních. U invertujícího a neinvertujícího zesilovače docházelo při vyšším vstupním napětím k saturaci výstupu, $U_{sat+} = 13,5$ V a $U_{sat-} = -14,2$ V. V zapojení komparátoru bylo nutné použít výstupní dělič napětí, kvůli limitní hodnotě výstupního napětí na měřící jednotce RC, která je ± 10 V.

3.7 Úloha č.7 – Operační zesilovače II

 Univerzita Tomáše Bati Fakulta aplikované informatiky			
Jméno:	Vít Máčala	Ročník:	III
Předmět:	Analogová a číslicová technika	Skupina:	ISR
Název úlohy:	Operační zesilovače II	Měřeno:	17.04.2024
		Odevzdáno:	
		Hodnocení:	

3.7.1 Úkol

- 1) Ověřte vlastnosti integračního zesilovače (integrátoru)
- 2) Ověřte vlastnosti derivačního zesilovače (derivátoru)
- 3) Ověřte vlastnosti aktivní dolní a horní propusti
- 4) Ověřte funkci astabilního multivibrátoru

3.7.2 Seznam použitých přístrojů a součástek

Osc měřicí jednotka RC (systém RC2000)

G generátor funkcí

R rezistory 1kΩ, 2 kΩ, 10 kΩ, 20 kΩ

C kondenzátor 100 nF, 330 nF

Modul operačního zesilovače

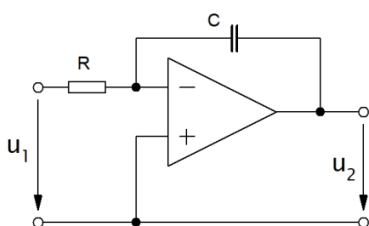
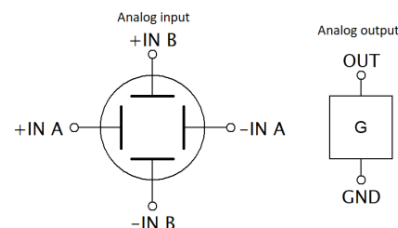


Schéma 1

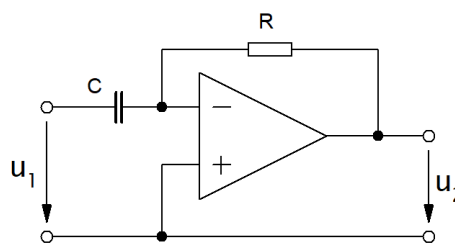


Schéma 2

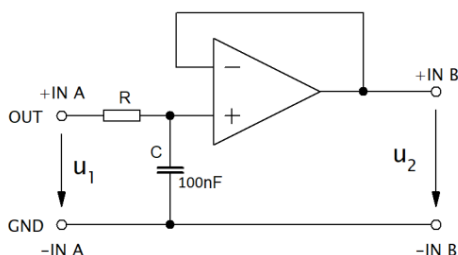


Schéma 5

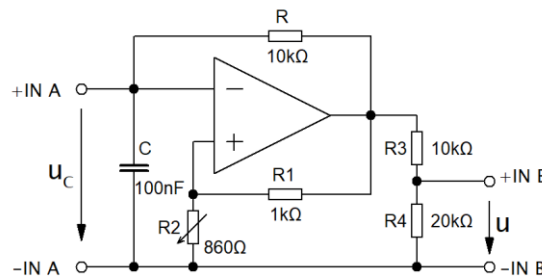
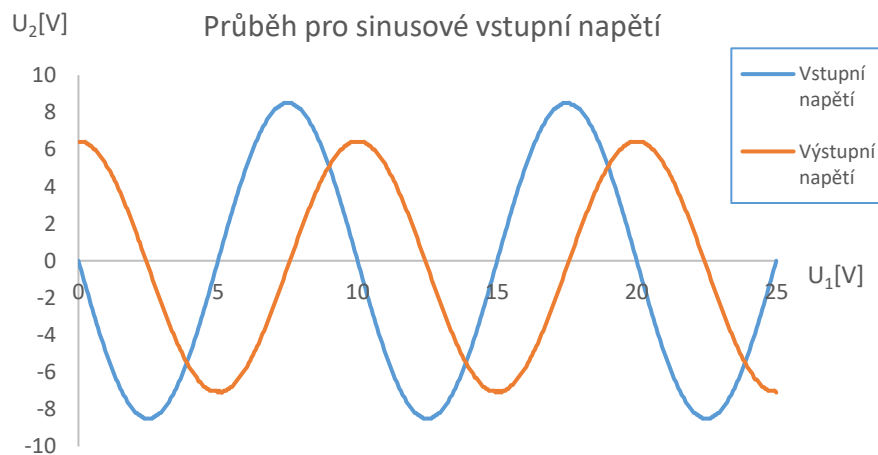


Schéma 6

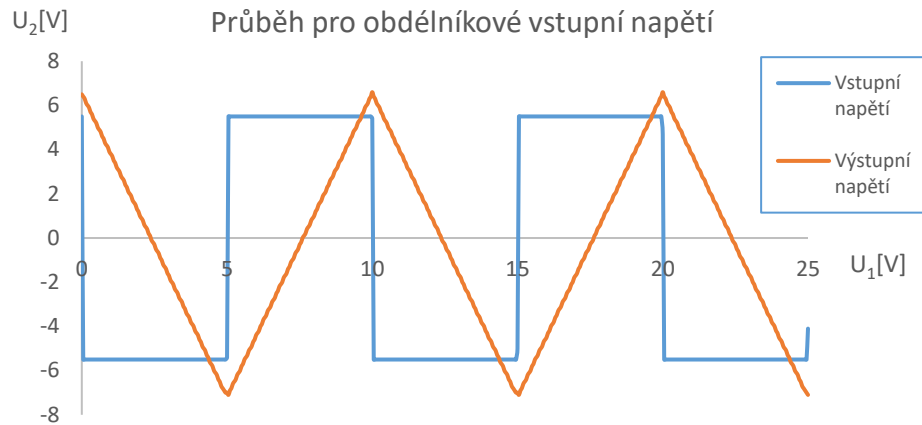
3.7.4 Vypracování

- a) Pomocí měřicí soustavy RC a programu rc2000 jsem ověřil chování operačního zesilovače ve funkci integrátoru. Z naměřených hodnot jsem sestrojil grafy:
- Průběh výstupního napětí pro sinusový vstup (graf č. 1)
 - Průběh výstupního napětí pro obdélníkový vstup (graf č. 2)
- b) Pomocí měřicí soustavy RC a programu rc2000 jsem ověřil chování operačního zesilovače ve funkci derivátoru. Z naměřených hodnot jsem sestrojil grafy:
- Průběh výstupního napětí pro sinusový vstup (graf č. 3)
 - Průběh výstupního napětí pro obdélníkový vstup (graf č. 4)
- c) Pomocí měřicí soustavy RC a programu rc2000 jsem ověřil chování aktivní dolní a horní propusti. Z naměřených hodnot jsem sestrojil grafy:
- Amplitudová frekvenční charakteristika aktivní dolní propusti (graf č. 5)
 - Fázová frekvenční charakteristika aktivní dolní propusti (graf č.6)
 - Amplitudová frekvenční charakteristika aktivní horní propusti (graf č. 7)
 - Fázová frekvenční charakteristika aktivní dolní propusti (graf č.8)
- d) Pomocí měřicí soustavy RC a programu rc2000 jsem ověřil chování astabilního klopného obvodu (generátoru obdélníkového signálu). Z naměřených hodnot jsem sestrojil graf č.9.
- $R=10\text{k}\Omega$ $C= 100 \text{ nF}$ $F_{\text{vyp}}=500 \text{ H}$ $F_{\text{meř}}= 493 \text{ Hz}$
 - $R=1\text{k}\Omega$ $C= 100 \text{ nF}$ $F_{\text{vyp}}=5 \text{ kHz}$ $F_{\text{meř}}= 4,78 \text{ kHz}$
 - $R=1\text{k}\Omega$ $C= 33 \text{ nF}$ $F_{\text{vyp}}=15 \text{ kHz}$ $F_{\text{meř}}= 14 \text{ kHz}$

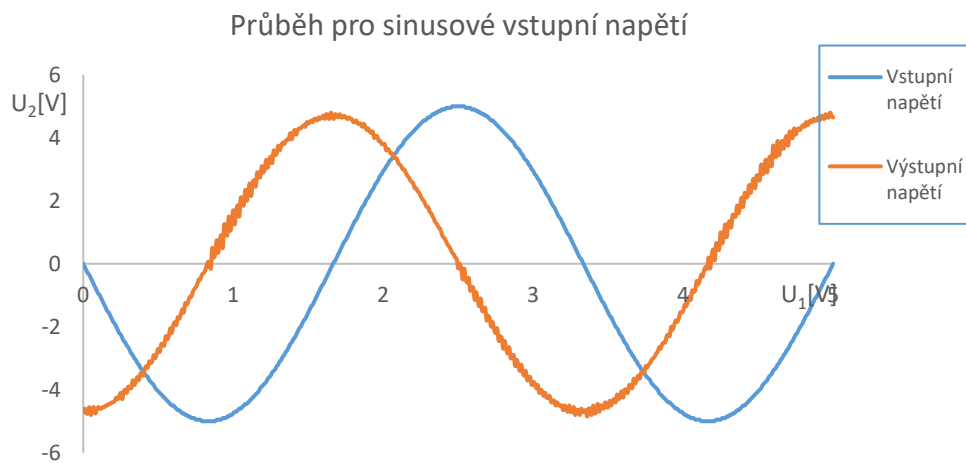
Graf č. 1: Charakteristika integrátoru pro vstupní sinusový signál



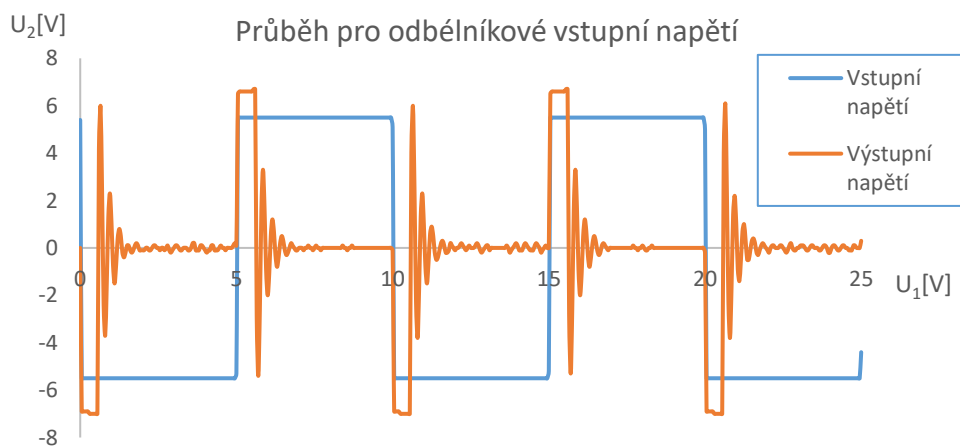
Graf č. 2: Charakteristika integrátoru pro vstupní obdélníkový signál



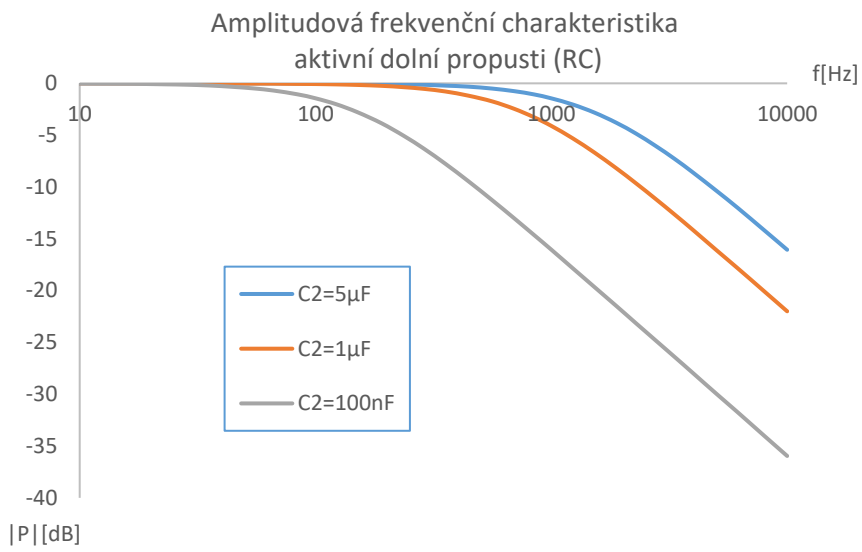
Graf č. 3: Charakteristika derivátoru pro vstupní sinusový signál



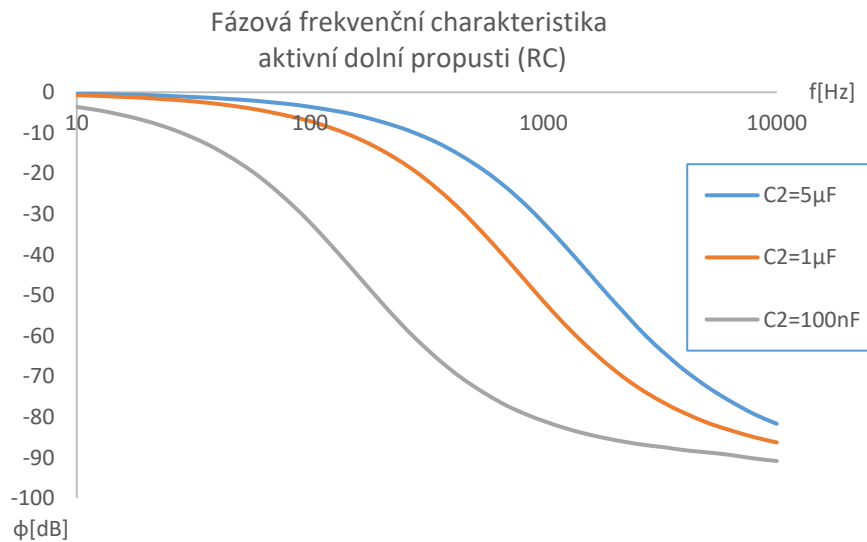
Graf č. 4: Charakteristika derivátoru pro vstupní obdélníkový signál



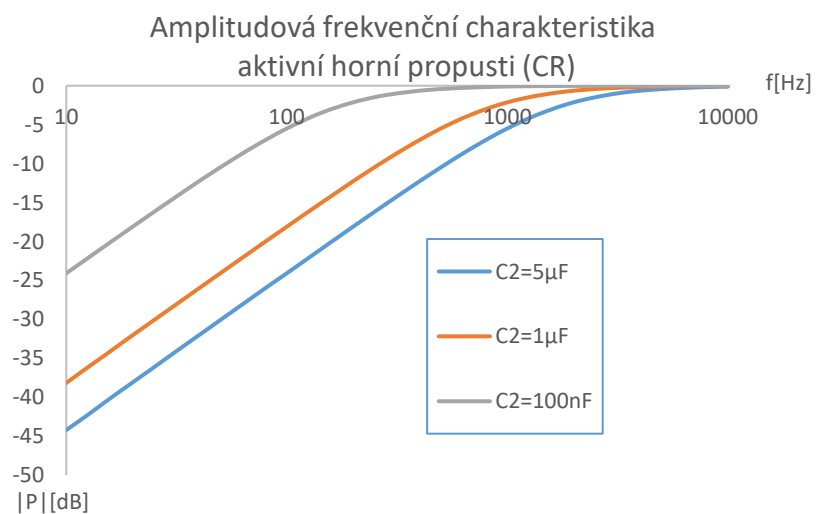
Graf č. 5: Amplitudová frekvenční charakteristika aktivní dolní propusti (RC)



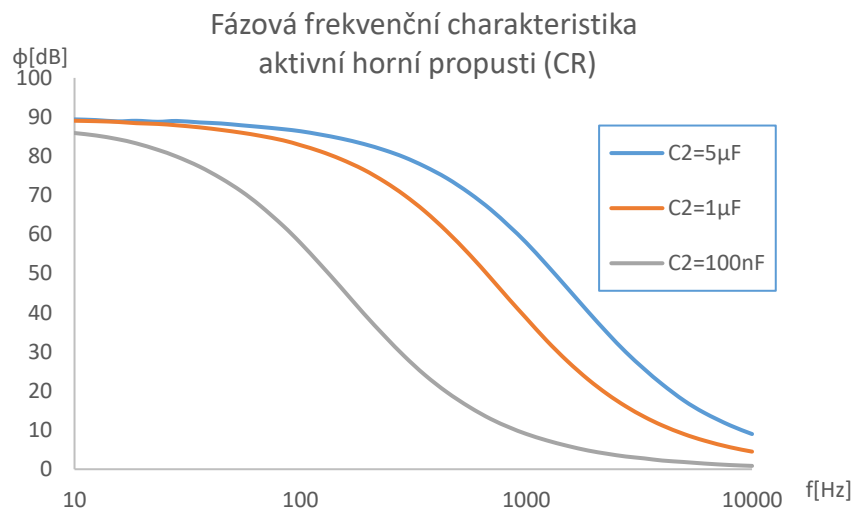
Graf č. 6: Fázová frekvenční charakteristika aktivní dolní propusti (RC)



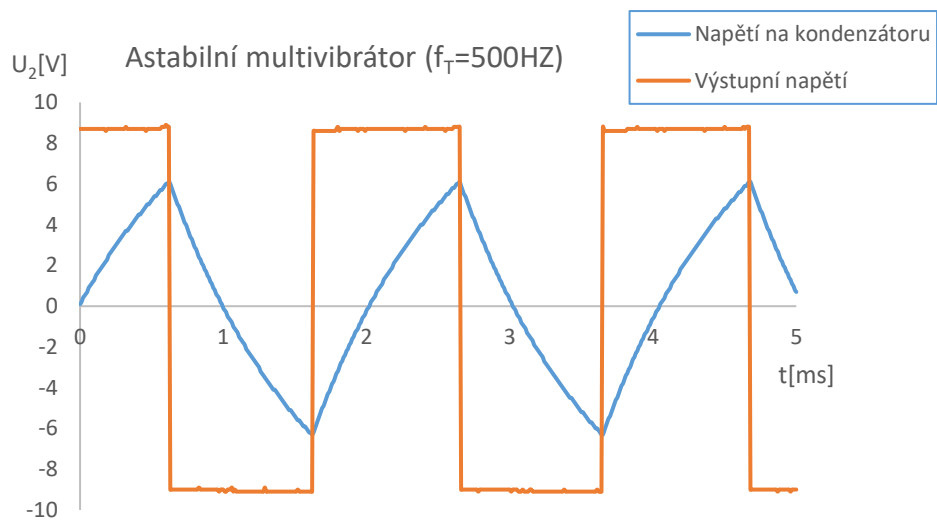
Graf č. 7: Amplitudová frekvenční charakteristika aktivní horní propusti (CR)



Graf č. 8: Fázová frekvenční charakteristika aktivní horní propusti (CR)



Graf č. 9: Charakteristika astabilního multivibrátoru



3.7.5 Zhodnocení výsledků měření

Měřením jsem si ověřil chování zapojení operačního zesilovače ve funkci integrátoru, derivátoru a aktivních dolních a horních propustí. U zapojení astabilního multivibrátoru se při vyšší frekvenci zvyšoval rozdíl oproti teoretické velikosti frekvence.

ZÁVĚR

V této bakalářské práci byl proveden návrh a příprava laboratorních měření pro analogovou část předmětu Analogová a číslicová technika na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Práce byla rozdělena na kapitoly obsahující jednotlivá zadání laboratorních úloh reflektující obsah analogové části předmětu. Jednotlivé laboratorní úlohy jsou rozděleny na teorii k měřené úloze, která doplňuje poznatky získané na přednáškách předmětu, a poté následuje návod k měření.

Jednotlivé úlohy jsou zaměřeny na seznámení s polovodičovými prvky: polovodičové diody a jejich použití v omezovačích a zdvojovačích amplitudy, usměrňovačích a stabilizátorech, bipolární a unipolární tranzistory a jejich použití ve funkci zesilovače, tyristory a operační zesilovače v různých zapojeních.

Laboratorní úloha zaměřená na polovodičové diody má za cíl obeznámit studenty s VA charakteristikami usměrňovačích, Zenerových, Schottkyho a Luminiscenčních diod a princip polovodičové diody v zapojení omezovačů a zdvojovačů amplitudy. Druhá úloha seznámí studenty s principem usměrňovačů a stabilizátorů napětí. Třetí laboratorní úloha na téma tranzistory seznámí studenty se statickými charakteristikami bipolárního a unipolárního FET tranzistoru. Čtvrtou úlohou je měření jednoduchých zesilovačů v různých zapojeních bipolárního tranzistoru NPN. V páté úloze jsou studenti seznámeni s funkcí tyristoru a jeho použitím v regulaci výkonu. Ve dvou posledních úlohách budou seznámeni s principem operačního zesilovače a jeho různých zapojení od zesilovačů, až po generátor obdélníkového signálu.

V jednotlivých laboratorních úlohách jsem se snažil co nejvíce využít měřící jednotku RC a její program rc2000, který dokáže mnoho měření automatizovat a tím měření urychlit. V obsahu náplně předmětu se vyskytuje téma optoelektroniky, který není z důvodu absence vhodných modulů a diskrétních prvků ve školních sestavách zahrnuto v téhle práci.

Cílem této práce bylo pomocí dostupných zdrojů a pořízených školních sestav navrhnout a připravit laboratorní úlohy, tak aby studenti na základě experimentů prováděných v laboratořích dospěli ke zlepšení svých znalostí a praktických dovedností v oboru analogové techniky.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BEZDĚK, Miloslav. *Elektronika 1*. 3. vyd. České Budějovice: Kopp. ISBN 9788072323654.
- [2] DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky*. 2. díl, Polovodičové prvky a elektronky : dioda, bipolární tranzistor, unipolární tranzistor, tyristor, triak, diak, trioda, vícemřížkové elektronky, obrazovka, Hallova sonda, magnetorezistor, magnetodioda, termistor, varistor. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 8073001616.
- [3] RC společnost s r. o. přístroje pro vědu a vzdělání. Modulový výukový systém rc2000 – μ LAB [online]. c2016-2023 [cit. 2023-11-07]. Dostupné z: <https://www.rcdidactic.com/>
- [4] TKOTZ, Klaus. Příručka pro elektrotechniku. 2. dopl. vyd. Praha: Europa - Sobotáles, 2006. ISBN 8086706133.
- [5] ELUC - Elektronika [online]. 2015. ELUC, 2015 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/504>
- [6] ElectronicsTutorials. ASPENCORE. *ElectronicsTutorials* [online]. c2024 [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: <https://www.electronics-tutorials.ws/>
- [7] Elektronické obvody - interaktivní studijní materiál [online]. Verze 1.4.3. ČVUT, 2024 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: <https://hippo.fel.cvut.cz/vyuka/soubory/ElektronickeObvody.pdf>
- [8] Brandštetter P., Elektronika - Prvky elektronických obvodů [online], [cit. 12.05. 2024]. Elektronický učební text, 142 stran, dostupné z <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FEI/EL/Brandstetter_Elektronika_text.pdf>.
- [9] Barts.cz - Operační zesilovače [online]. c2008-2015 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: <https://www.barts.cz/domains/barts.cz/index.php/elektronika/obvody/69-operacni-zesilovace>
- [10] Třídy zesilovačů. *Audio-DIY* [online]. c2024 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: <https://audio-diy.rdacoustic.cz/audio-diy-blog/tridy-zesilovacu/>
- [11] ŠEDIVÝ, Přemysl. Pokusy s operačními zesilovači [online]. Hradec Králové: gymnázium J. K. Tyla, 2023 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: <http://fyzikalniolympiada.cz/texty/opzes.pdf>

- [12] ZÁHLAVA, Vít a VOBECKÝ, Jan. *Elektronika: součástky a obvody, principy a příklady*. 3., rozš. vyd. Praha: Grada Publishing, 2005. ISBN 8024712415.
- [13] MALINA, Václav. *Poznáváme elektroniku I*. 3. upr. a rozš. vyd. České Budějovice: Kopp, 2001. ISBN 8072320394.
- [14] DOLEŽAL, I. a kol. *Analogová elektronika*. 1. vydání. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, 2014. ISBN 9788074941368.
- [15] FROHN, Manfred. *Elektronika: polovodičové součástky a základní zapojení*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 8073001233.
- [16] Tranzistory – rozdělení, základní zapojení, výstupní VA charakteristika, použití. In: *MyLms* [online]. 21. 5. 2018 [cit. 2024-05-23]. Dostupné z: <https://www.mylms.cz/tranzistory-rozdeleni-zakladni-zapojeni-vystupni-va-charakteristika-pouziti/>
- [17] TIHLÁŘ, Robert. *Laboratorní úlohy v Mikroelektronice*. 2005. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/36219>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

DC	Direct Current
AC	Alternating Current
RMS	Root Mean Square
LED	Light Emitting Diode
BJT	Bipolar Junction Transistor
FET	Field Effect Transistor
SE	Společný Emitor
SC	Společný Kolektor
SC	Společná báze
OZ	Operační zesilovač

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Systém RC2000[3]	11
Obrázek 2 Měřicí jednotka[3]	12
Obrázek 3 Generátor funkcí[3]	13
Obrázek 4 Programovatelný DC zdroj[3]	14
Obrázek 5 Voltmetr DC & AC RMS[3]	14
Obrázek 6 Modul prvků[3]	15
Obrázek 7 Přejechod PN.....	18
Obrázek 8 Vyprázdněná oblast přechodu PN	19
Obrázek 9 Schématická značka polovodičové diody	19
Obrázek 10 V-A charakteristika polovodičové usměrňovací diody.....	20
Obrázek 11 Omezovač amplitudy.....	21
Obrázek 12 Omezovač napětí s pomocným zdrojem napětí.....	21
Obrázek 13 Greinacherův zdvojovač napětí	21
Obrázek 14 Zapojení měřicí jednotky RC	22
Obrázek 15 Schéma zapojení pro měření V-A charakteristiky	22
Obrázek 16 RC 2000 popis prostředí [3]	23
Obrázek 17 Schéma zapojení omezovačů amplitudy	23
Obrázek 18 Schéma zapojení zdvojovačů amplitudy	24
Obrázek 19 Průběh napětí na sériovém zdvojovači amplitudy.....	24
Obrázek 20 Zjednodušené blokové schéma napájecího zdroje[5].....	25
Obrázek 21 Jednocestný usměrňovač	26
Obrázek 22 Dvoucestné usměrňovače	26
Obrázek 23 Průběh napětí při použití vyhlazovacího kondenzátoru [6]	27
Obrázek 24 V-A charakteristika Zenerovy diody a schéma stabilizátoru se ZD [7]..	28
Obrázek 25 Sériový stabilizátor napětí [5]	28
Obrázek 26 schéma integrovaného stabilizátoru 78xx	29
Obrázek 27 Zapojení měřicí jednotky RC	29
Obrázek 28 Schéma zapojení jednocestného usměrňovače.....	30
Obrázek 29 Schéma zapojení můstkového usměrňovače	30
Obrázek 30 Schéma měření stabilizátoru se ZD.....	31
Obrázek 31 Schéma zapojení sériového stabilizátoru napětí.....	31
Obrázek 32 Struktura bipolárního tranzistoru	32

Obrázek 33	Statické charakteristiky NPN tranzistoru[8]	33
Obrázek 34	Rozdělení unipolárních tranzistorů[16].....	34
Obrázek 35	Struktura JFET-N tranzistoru a) s přiloženým U_{DS} , b) bez U_{DS} [7]	35
Obrázek 36	Statické charakteristiky tranzistoru JFET s kanálem typu N[7].....	35
Obrázek 37	Zapojení měřicí jednotky RC	35
Obrázek 38	Schéma zapojení pro měření vstupní char. NPN tranzistoru	35
Obrázek 39	Schéma zapojení pro měření převodní char. NPN tranzistoru	36
Obrázek 40	Schéma zapojení pro měření výstupní char. NPN tranzistoru	37
Obrázek 41	Schéma zapojení pro měření převodní charakteristiky JFET-N	37
Obrázek 42	Schéma zapojení pro měření výstupní charakteristiky JFET-N.....	38
Obrázek 43	Schéma zapojení tranzistoru jako spínače.....	38
Obrázek 44	Nastavení pracovního bodu tranzistoru (SE)	41
Obrázek 45	Zapojení měřicí jednotky RC	42
Obrázek 46	Schéma zapojení zesilovače se společným emitorem (SE).....	42
Obrázek 47	Schéma zapojení zesilovače se společným kolektorem (SC).....	43
Obrázek 48	Schéma zapojení zesilovače se společným bází (SB)	44
Obrázek 49	Schématická značka a VA charakteristika tyristoru [7].....	45
Obrázek 50	Zapojení měřicí jednotky RC	47
Obrázek 51	Schéma zapojení pro měření VA charakteristiky tyristoru	47
Obrázek 52	Schéma zapojení regulace pomocí tyristoru.....	48
Obrázek 53	Schéma zapojení pro měření přídržného a spínacího proudu	48
Obrázek 54	Neinvertující zesilovač	51
Obrázek 55	Invertující zesilovač	52
Obrázek 56	Součtový a rozdílový zesilovač.....	52
Obrázek 57	Komparátor.....	53
Obrázek 58	Schmittův klopný obvod	53
Obrázek 59	Zapojení měřicí jednotky RC	53
Obrázek 60	Schéma zapojení neinvertujícího zesilovače.....	54
Obrázek 61	Schéma zapojení invertujícího zesilovače.....	54
Obrázek 62	Obrázek 63 Schéma zapojení součtového zesilovače	55
Obrázek 64	Obrázek 65 Schéma zapojení rozdílového zesilovače	55
Obrázek 66	Schéma zapojení komparátoru a komparátoru s hysterezí	56
Obrázek 67	Integrační zesilovač.....	57

Obrázek 68 Derivační zesilovač	58
Obrázek 69 Astabilní multivibrátor	58
Obrázek 70 Dolní a horní aktivní propust 1.řádu	59
Obrázek 71 Zapojení měřící jednotky RC	59
Obrázek 72 Schéma zapojení integračního článku	59
Obrázek 73 Schéma zapojení derivačního článku	60
Obrázek 74 Schéma zapojení aktivní dolní a horní propustí	60
Obrázek 75 Schéma zapojení astabilního multivibrátoru	61

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Porovnání vlastností zapojení bipolárního tranzistoru [5].....	40
--	----

SEZNAM PŘÍLOH

PI Fotodokumentace zapojení a snímky obrazovky z jednotlivých úloh

PII Seznam modulů ve školních měřicích soustavách

Veškeré přílohy jsou nahrány na CD, které je součástí práce. Vzhledem k rozsahu nejsou přímou součástí práce.