

Laboratorní úlohy v Mikroelektronice

Robert Tihlár

Bakalářská práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Lubomíru Macků, Ph.D. za odborné vedení, připomínky a pomoc v průběhu řešení této práce.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího bakalářské práce, ředitele ústavu a institutu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 25.5.2005

.....

podpis

ABSTRAKT

Abstrakt česky

Práce obsahuje návrh šesti laboratorních úloh pro předmět Mikroelektronika. Úlohy jsou sestaveny tak, aby se studenti prakticky seznámili s principy a použitím některých součástek patřících do mikroelektroniky. Studenti si pomocí experimentů, které budou provádět, ověří teoretické poznatky získané z přednášek. Součástí práce jsou zadání, návody a vypracování vzorových protokolů k laboratorním úlohám.

Laboratorní úlohy byly vytvořeny na témata: usměrňovače, stabilizátory, bipolární tranzistory, optoelektronické součástky a operační zesilovače.

Abstrakt ve světovém jazyce

The purpose of this diploma work is to propose six laboratory exercises for Microelectronics subject so that students could practically acquaint with principles and sorts of some inevitable microelectronics parts. By the help of experiments students should verify their theoretic piece of knowledge gained from lectures. The work consists of the task description, elaboration instructions and a laboratory protocol example.

The themes of laboratory exercises were: rectifier, stabilizers, bipolar semiconductor triode, optoelectronic devices and differentiating amplifier.

OBSAH

I. TEORETICKÁ ČÁST	7
1 JEDNOTLIVÉ LABORATORNÍ ÚLOHY	8
1.1 USMĚRŇOVACÍ DIODA	8
1.1.1 Úkol:	8
1.1.2 Teorie:	8
1.1.3 Zadání:	11
1.2 STABILIZÁTORY	18
1.2.1 Úkol:	18
1.2.2 Teorie:	18
1.2.3 Zadání:	20
1.3 BIPOLÁRNÍ TRANZISTOR	25
1.3.1 Úkol:	25
1.3.2 Teorie:	25
1.3.3 Zadání:	27
1.4 OPTOELEKTRICKÉ VAZBOVÉ ČLENY	32
1.4.1 Úkol:	32
1.4.2 Teorie:	32
1.4.3 Zadání:	33
1.5 OPERAČNÍ ZESILOVAČE I.	36
1.5.1 Úkol:	36
1.5.2 Teorie:	36
1.5.3 Zadání:	39
1.6 OPERAČNÍ ZESILOVAČE II.	43
1.6.1 Úkol:	43
1.6.2 Teorie:	43
1.6.3 Zadání:	45
II. PRAKTICKÁ ČÁST.....	49
2 VYPRACOVANÉ VZOROVÉ PROTOKOLY	50
2.1 ÚLOHA Č.1 – USMĚRŇOVACÍ DIODA	50
2.1.1 Zadání:	50
2.1.2 Seznam použitých přístrojů a součástek:	50
2.1.3 Schémata zapojení:	50
2.1.4 Vypracování:	51
2.1.5 Grafy:	51
2.1.6 Zhodnocení výsledků měření:	53
2.2 ÚLOHA Č.2 – STABILIZÁTOR	54
2.2.1 Zadání:	54
2.2.2 Seznam použitých přístrojů a součástek:	54
2.2.3 Schémata zapojení:	54
2.2.4 Vypracování:	55
2.2.5 Grafy:	56
2.2.6 Zhodnocení výsledků měření:	57
2.3 ÚLOHA Č.3 – BIPOLÁRNÍ TRANZISTOR	58
2.3.1 Zadání:	58

2.3.2	Seznam použitých přístrojů a součástek:	58
2.3.3	Schémata zapojení:	58
2.3.4	Vypracování:	59
2.3.5	Grafy:	60
2.3.6	Zhodnocení výsledků měření:	61
2.4	ÚLOHA Č.4 – OPTOELEKTRICKÉ VAZBOVÉ ČLENY	62
2.4.1	Zadání:	62
2.4.2	Seznam použitých přístrojů a součástek:	62
2.4.3	Schémata zapojení:	62
2.4.4	Vypracování:	62
2.4.5	Graf:	63
2.4.6	Zhodnocení výsledků měření:	64
2.5	ÚLOHA Č.5 – OPERAČNÍ ZESILOVAČE I.	65
2.5.1	Zadání:	65
2.5.2	Seznam použitých přístrojů a součástek:	65
2.5.3	Schémata zapojení:	65
2.5.4	Vypracování:	66
2.5.5	Grafy:	67
2.5.6	Zhodnocení výsledků měření:	68
2.6	ÚLOHA Č.6 – OPERAČNÍ ZESILOVAČE II.	69
2.6.1	Zadání:	69
2.6.2	Seznam použitých přístrojů a součástek:	69
2.6.3	Schémata zapojení:	69
2.6.4	Vypracování:	69
2.6.5	Grafy:	70
2.6.6	Zhodnocení výsledků měření:	71
ZÁVĚR		72
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		73
SEZNAM OBRÁZKŮ		74
SEZNAM TABULEK		75

ÚVOD

Součástí výuky na fakultě Technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně je předmět Mikroelektronika. Cílem tohoto předmětu je seznámit studenty s principy a druhy polovodičových součástek. Předmět je rozdělen na teoretickou oblast přednášek a praktickou část laboratorních cvičení. V laboratorních cvičeních je student veden k samostatné práci a tudíž získávání základních zkušeností. Cílem cvičení je ověřit teoretické poznatky v praxi. Ve cvičeních z předmětu Mikroelektronika se předpokládá určitá samostatnost studentů. Studenti by měli být schopni bez přímé pomoci zapojit jednotlivé elektrické obvody, používat měřicí přístroje a provádět měření. K úspěšnému zvládnutí laboratorních cvičení je nezbytné, aby byla studentům jasná podstata a účel laboratorní úlohy ještě před samostatným začátkem cvičení. Příprava na laboratorní cvičení má tedy vycházet z vědomostí získaných na přednáškách doplněných návody k jednotlivým laboratorním úlohám.

Úkolem této práce je s pomocí dostupných zdrojů připravit šest laboratorních úloh pro předmět Mikroelektronika tak, aby se student prakticky seznámil s polovodičovými součástkami a jejich principy. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část je pro lepší orientaci rozdělena do samostatných kapitol obsahujících 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 uvedeno jak postupovat při provádění laboratorní úlohy a je zdrojem informací potřebných k úspěšnému zvládnutí laboratorního cvičení. Absolvování laboratorní úlohy je spojeno se zpracováním protokolu o provedeném měření ve formě a rozsahu které určí vyučující. Protokol by měl obsahovat naměřená data, postup práce a celkové vyhodnocení měření.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 JEDNOTLIVÉ LABORATORNÍ ÚLOHY

1.1 Usměrňovací dioda

1.1.1 Úkol:

1. Změřte VA charakteristiku usměrňovací diody
 - a) pomocí osciloskopu
 - b) pomocí soustavy RC 2000
2. Ověřte vlastnosti jednocestného usměrňovače
 - a) bez filtračního kondenzátoru
 - b) s filtračním kondenzátorem o malé kapacitě
 - c) s filtračním kondenzátorem o velké kapacitě
3. Ověřte vlastnosti dvoucestného usměrňovače
 - a) bez filtračního kondenzátoru
 - b) s filtračním kondenzátorem o malé kapacitě
 - c) s filtračním kondenzátorem o velké kapacitě

1.1.2 Teorie:

Základem používaných usměrňovacích prvků je PN přechod. Využívá se skutečnosti, že v jednom směru PN přechod proud propouští a v opačném směru je téměř nevodivý.

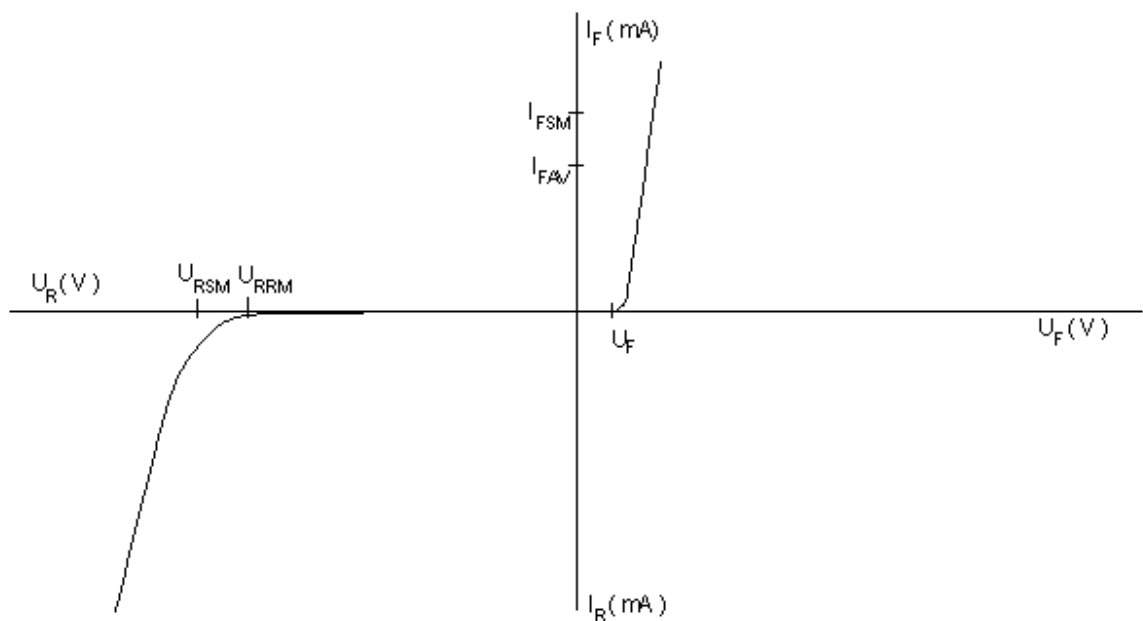
Vzrůstá-li v propustném směru postupně napětí, vzrůstá i proud diodou. Malé napětí v propustném směru vyvolá velký propustný proud od katody k anodě. Vzrůstá-li napětí v závěrném, prochází diodou pouze malý závěrný proud (od anody ke katodě). Pro germaniovou diodu je v rozsahu 1mA a pro křemíkovou v rozsahu 1μA. Vzrůstá-li postupně napětí v závěrném směru, závěrný proud zůstává na konstantní nízké úrovni až do dosažení průrazného napětí přechodu. V tomto bodě přestane přechod existovat a dioda začne propouštět proud. Jde o tzv. lavinový průraz. Proud diody zde už není závislý na napětí. Při práci v tomto režimu je proud elektronů tak velký, že diody s běžnými PN přechody jsou zničeny [1]. Propustný a závěrný směr diody může být přirovnán k proměnnému odporu. V propustném směru je odpor několik Ω. V závěrném směru má dioda odpor v rozmezí MΩ až do dosažení průrazu.

Podle způsobu zapojení dělíme usměrňovače na:

- jednocestné
- dvoucestné
- dvoucestné můstkové
- vícecestné

Podle toho, zda je možné průběh usměrnění měnit, dělíme usměrňovače na:

- neřízené (diodové)
- řízené (tyristorové, triakové)



Obr. 1. VA charakteristika usměrňovací diody

U_{RRM} – maximální opakovatelné špičkové závěrné napětí

U_{RSM} – maximální nárazové závěrné napětí

I_{FAV} – maximální usměrněný proud

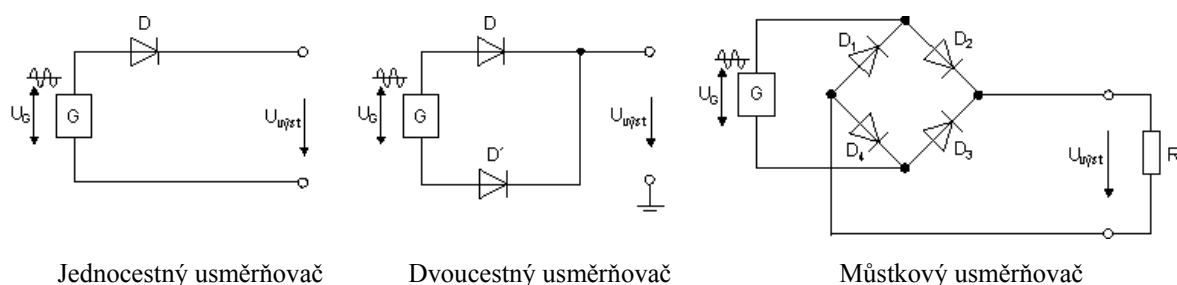
I_{FSM} – maximální povolený impulsní proud

P_{tot} – celkový ztrátový výkon

Platí: Ztrátový výkon v propustném směru = ztrátový výkon v závěrném směru

Neřízenými usměrňovači není možné přímým řízením usměrňovacích prvků dosáhnout změnu výstupního usměrněného napětí. Řízené usměrňovače umožňují této změny dosáhnout řídicí elektrodou.

K usměrnění jednocestným usměrňovačem postačuje jedna dioda. Ta propouští proud do zátěže jen tehdy, pokud je na její anodě vyšší napětí než na katodě. Diodu volíme úměrně jejímu namáhání v závěrném směru. Úbytek napětí v propustném směru je pro germaniovou diodu cca 0,5V a pro křemíkovou diodu cca 0,7 V.



Obr. 2. Schémata usměrňovačů

Zapojení dvoucestného usměrňovače vyžaduje dvě usměrňovací diody a transformátor s dvojitým sekundárním vinutím. Každá z diod usměrňuje jednu půlvlnu střídavého napětí. Na výstupních svorkách je stále napětí s výjimkou okamžiku, kdy střídavé napětí prochází nulou. V době kladné periody protéká proud diodou D v bodě (a), dioda D' je uzavřená. V druhé polovině periody jde dioda D' v propustném směru a protéká jí proud přes bod (b).

Nejčastějším zapojením usměrňovače je můstkový, tzv. Greatzův můstek. Jedná se o dvoucestný usměrňovač s jednoduchým transformátorem. Vyžaduje použití čtyř usměrňovacích diod. V kladné půlperiodě se obvod uzavírá diodou D_2 , zátěží R_Z a diodou D_4 , v záporné půlperiodě diodou D_1 zátěží R_Z a diodou D_3 .

Řízený usměrňovač je složen z tyristoru a članku posouvajícího fázi. Tyristor je schopen propouštět kladné nebo záporné půlvlny střídavého napětí a to od okamžiku kdy řídicí elektroda dostane impuls pro uvedení do propustného stavu. Tento impuls lze časově posouvat pomocí RC članku. Pak mluvíme o fázově řízeném tyristoru.

1.1.3 Zadání:

Poznamenejte si katalogové hodnoty součástek z příloženého listu.

Např. KA 262 $U_{RRM}=115V$, $U_{RSM}=125V$, $I_{FAV}=100mA$, $I_{FRM}=300mA$, $P_{tot}=0,25W$

Popis použitých přístrojů a součástek:

G generátor harmonického signálu

Osc analogový osciloskop popř. interface počítače

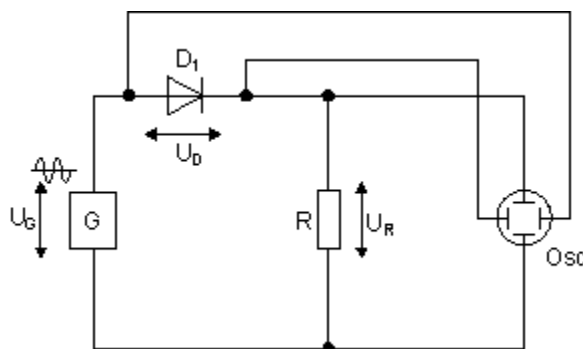
D usměrňující dioda

C filtrační kondenzátor $1\mu F$, $5\mu F$

R zatěžovací odpor $1k\Omega$

Ad1a)

Schéma zapojení:



Obr. 3. Zapojení elektrického obvodu pro měření VA charakteristiky

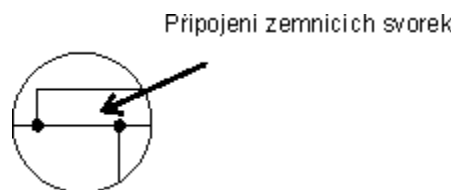
U_G – napětí generátoru harmonického signálu

U_D – napětí na usměrňovací diodě

U_R – napětí na rezistoru

Postup měření:

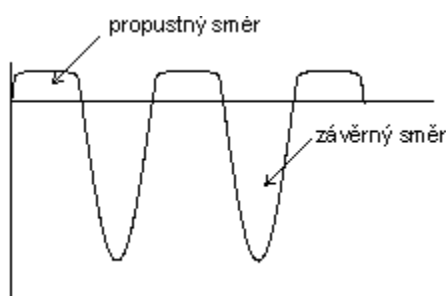
- Zapojíme součástky dle schématu. V zapojení používáme stavebnici Dominoputer. Rozložení součástek by mělo odpovídat schématu zapojení.
- Před začátkem měření nastavíme na modré sondě osciloskopu přepínač do polohy č.1 a provedeme **kalibraci** rozsahů obou sond.
- Připojíme sondy osciloskopu. (sondu č.1 na diodu, sondu č.2 na zatěžovací odpor) Zemní svorky obou sond musí být vyvedeny ze stejného uzlu.



Obr. 4. Připojení zemních svorek

Po zapojení zavoláme vyučujícího, a teprve po kontrole zapneme zdroj napětí.

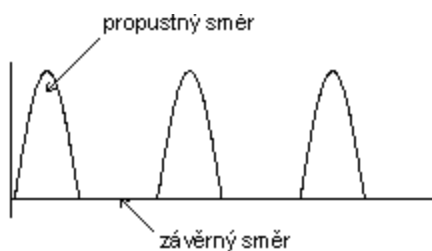
- d) Na osciloskopu přepneme na kanál č.1 a zkontrolujeme průběh napětí na diodě.



Obr. 5. Průběh napětí na diodě

Pozn. V propustném směru vidíme úbytek napětí na diodě (podle typu diody 0,7 V u křemíkové diody, 0,5V u germaniové diody). V závěrném směru se napětí shoduje s amplitudou nastavenou na zdroji.

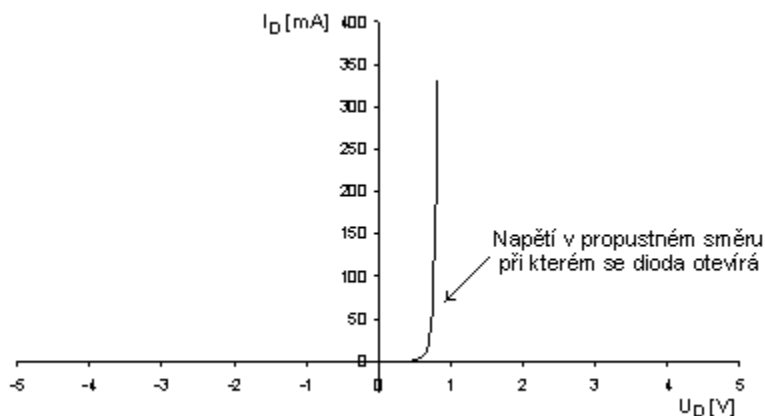
- e) Osciloskop přepneme na kanál č.2 a zkontrolujeme průběh napětí na zatěžovacím odporu.



Obr. 6. Průběh napětí na zatěžovacím rezistoru

Pozn. V propustném směru je na rezistoru napětí zdroje sníženo o úbytek napětí na diodě. V závěrném směru není na rezistoru napětí.

- f) Osciloskop přepneme na duální režim a časovou základnu přepneme na režim XY. Po přepnutí na režim XY je třeba, aby zobrazený bod na osciloskopu byl v počátku souřadnicových os.. Výsledné zobrazení bude VA charakteristika diody.



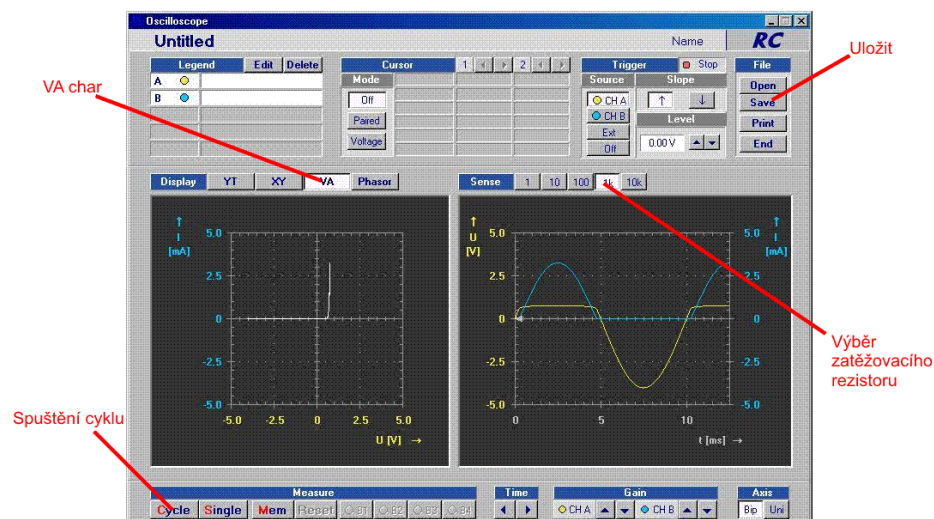
Obr. 7. VA charakteristika diody

Pozn.: Na ose X vidíme skutečné hodnoty napětí na diodě, osa Y je proudová, proto musíme provést přepočet. Jelikož je proud procházející tímto obvodem všude stejný vypočítáme proud procházející diodou z napětí na zatěžovacím rezistoru (sonda osciloskopu č.2) a jeho odporu. (viz.Ohmuv zákon).

Ad1b)

Postup měření:

- Připojíme měřicí sondy z rozhraní počítače (Analog and digital data unit) soustavy RC 2000 na místo sond osciloskopu. (kanál A = kanál č.1, kanál B = kanál č.2). Je nutné provést synchronizaci generátoru harmonického signálu s měřicí soustavou. Synchronizaci provedeme propojením svorky Sync na generátoru se svorkou Ext Trig na měřicí soustavě.
- Spustíme PC a v něm program RC 2000. Po spuštění vybereme z nabídky položku Oscilloscope. Tlačítkem v sekci Sense vybereme hodnotu zatěžovacího odporu. V sekci display vybereme VA charakteristiku a v dolním levém rohu spustíme cyklus měření tlačítkem Cycle.

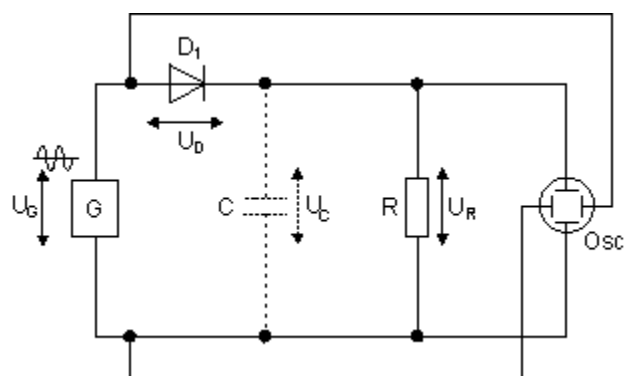


Obr. 8. Prostředí RC 2000

- c) Pokud průběh napětí souhlasí poznamenejme si hodnotu frekvence a amplitudy na generátoru a projekt uložíme. Uložení provedeme tak, že ukončíme cyklus (Cycle) a v pravém horním rohu v sekci File zvolíme Save. V aktivním adresáři vytvoříme adresář s názvem skupiny, podadresář se jmény měřících a soubor uložíme pod názvem VAchar. Pro kontrolu zkopírujeme obrázek pomocí tlačítka Print Screen a vložíme do Wordu.

Ad2a)

Schéma zapojení:



Obr. 9. Zapojení elektrického obvodu pro měření jednocestného usměrňovače

U_G – napětí generátoru harmonického signálu

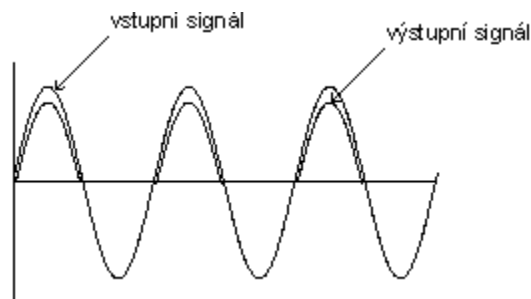
U_D – napětí na usměrňovací diodě

U_C – napětí na kondenzátoru

U_R – napětí na rezistoru

Postup měření:

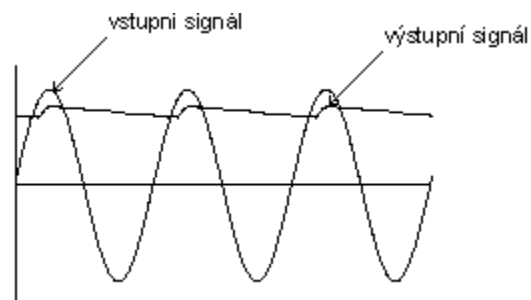
- Zapojíme jednocestný usměrňovač podle schématu (bez kondenzátoru).
- V programu RC 2000 se přepneme v sekci display do časového režimu YT. Zapneme cyklus měření (Cycle).
- Zkontrolujeme průběh napětí a projekt uložíme pod názvem Usmer.



Obr. 10. Průběh napětí na jednocestném usměrňovači bez filtračního kondenzátoru

Ad2b)**Postup měření:**

- Zapojíme jednocestný usměrňovač podle schématu. (s filtračním kondenzátorem o malé kapacitě)
- V programu RC 2000 necháme předešlé nastavení a zapneme měřicí cyklus.
- Zkontrolujeme průběh a projekt uložíme pod názvem Usmer_m_C

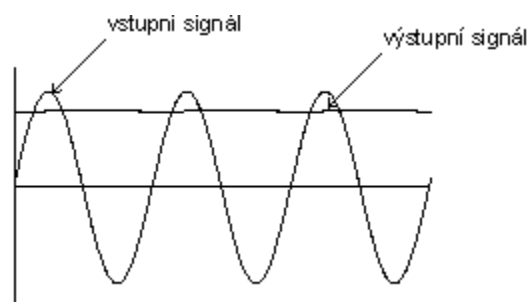


Obr. 11. Průběh napětí na jednocestném usměrňovači s kondenzátorem o malé kapacitě

Ad2c)

Postup měření:

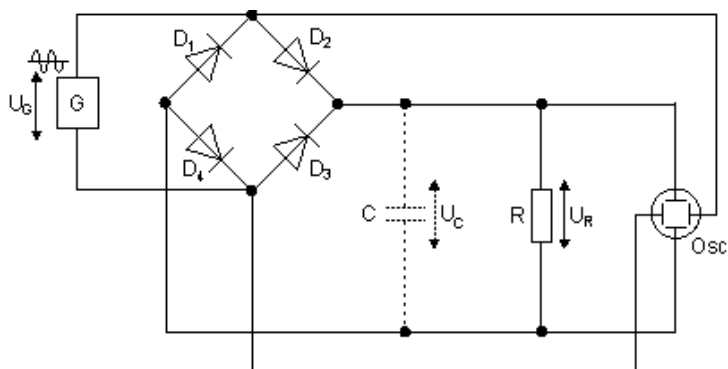
- Zapojíme jednocestný usměrňovač podle schématu. (s filtračním kondenzátorem o velké kapacitě)
- V programu RC 2000 necháme předešlé nastavení a zapneme měřicí cyklus.
- Zkontrolujeme průběh a projekt uložíme pod názvem Usmer_v_C



Obr. 12. Průběh napětí na jednocestném usměrňovači s kondenzátorem o velké kapacitě

Ad3a)

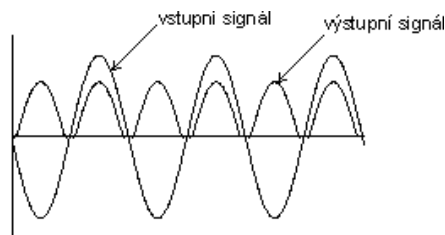
Schéma zapojení:



Obr. 13. Zapojení elektrického obvodu pro měření dvoucestného usměrňovače

Postup měření:

- Zapojíme dvoucestný usměrňovač podle schématu (bez kondenzátoru).
- V programu RC 2000 se přepneme v sekci display do časového režimu YT. Zapneme cyklus měření (Cycle).
- Zkontrolujeme průběh napětí a projekt uložíme pod názvem Mustek.

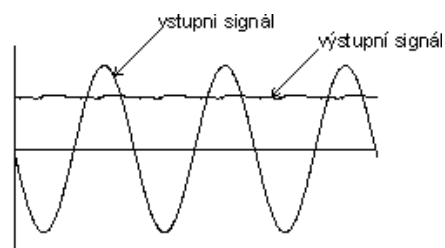


Obr. 14. Průběh napětí na dvoucestném usměrňovači bez filtračního kondenzátoru

Ad3b)

Postup měření:

- Zapojíme dvoucestný usměrňovač podle schématu. (s filtračním kondenzátorem o malé kapacitě)
- V programu RC 2000 necháme předešlé nastavení a zapneme měřicí cyklus.
- Zkontrolujeme průběh a projekt uložíme pod názvem Mustek_m_C

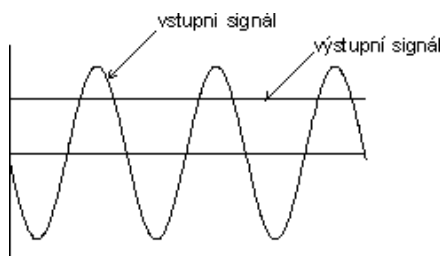


Obr. 15. Průběh napětí na dvoucestném usměrňovači s kondenzátorem o malé kapacitě

Ad3c)

Postup měření:

- Zapojíme dvoucestný usměrňovač podle schématu. (s filtračním kondenzátorem o velké kapacitě)
- V programu RC 2000 necháme předešlé nastavení a zapneme měřicí cyklus.
- Zkontrolujeme průběh a projekt uložíme pod názvem Mustek_v_C



Obr. 16. Průběh napětí na dvoucestném usměrňovači s kondenzátorem o velké kapacitě

1.2 Stabilizátory

1.2.1 Úkol:

1. Změřte VA charakteristiku Zenerovy diody
2. Změřte zatěžovací charakteristiku stabilizátoru se Zenerovou diodou
3. Změřte převodní charakteristiku stabilizátoru se Zenerovou diodou

1.2.2 Teorie:

U jednotlivých elektronických zařízení které nevyžadují velkou přesnost stabilizace se většinou používají parametrické stabilizátory využívající vlastnosti nelineárních prvků zejména Zenerovy diody.

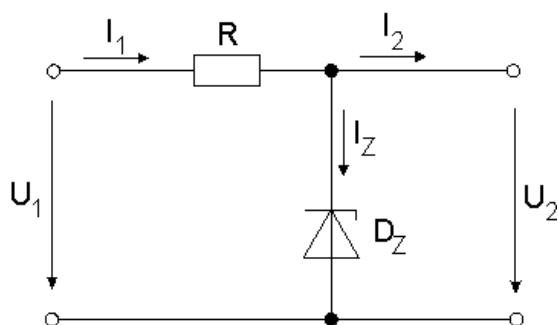
Stabilizátory dělíme na:

- Stabilizátory se Zenerovou diodou
- Integrované stabilizátory

Zenerovy diody se z hlediska fyzikálního principu dělí na do dvou skupin. Pokud se jedná o malé napětí (asi do 8 V) je fyzikálním principem Zenerův jev. Zenerova dioda s vyšším napětím funguje na principu lavinového průrazu závěrně polarizovaného přechodu PN. Průrazné napětí závěrně polarizované diody závisí na měrném odporu materiálu, z něhož je dioda vyrobena [1]. Charakteristika v propustném směru je shodná s charakteristikou běžné polovodičové diody.

Pokud z vnějšího obvodu prochází Zenerovou diodou určitý minimální proud, lze ji v náhradním obvodu zakreslit jako stejnosměrný zdroj U_{ZD} v sérii s odporem R_d , který je dán strmostí voltampérové charakteristiky v použité oblasti. Při překročení maximální hodnoty proudu I_{max} Zenerovou diodou dojde k tepelné nevratné destrukci, tedy ke zničení diody.

Nejjednodušší stabilizátor napětí se Zenerovou diodou se skládá z předřadného odporu R a Zenerovy diody zapojené v závěrném směru.



Obr. 17. Stabilizátor se Zenerovou diodou

Měníme-li napětí U_1 na vstupu stabilizátoru za předpokladu, že $U_1 > U_Z$, stabilizátor nám udržuje na výstupních svorkách téměř konstantní napětí U_2 , které je přibližně rovno napětí U_Z . Rozdíl mezi napětím na vstupu a výstupu stabilizátoru $U_1 - U_2$ musí být podle II. Kirchhoffova zákona [KZ] vytvořen na předřadném odporu R . Tento úbytek napětí je vytvořen proudem I_1 který prochází předřadným odporem R . Proud I_1 je tvořen podle I. KZ proudem Zenerovou diodou I_Z a proudem I_2 , který odebírá ze stabilizátoru zátěž. V případě odpojení zátěže je proud I_1 tvořen pouze proudem I_Z . Tudíž Zenerova dioda je nejvíce zatížená, když je odběr minimální.

U_{ZD} – Zenerovo napětí

ΔI – rozdíl proudů v závěrném směru

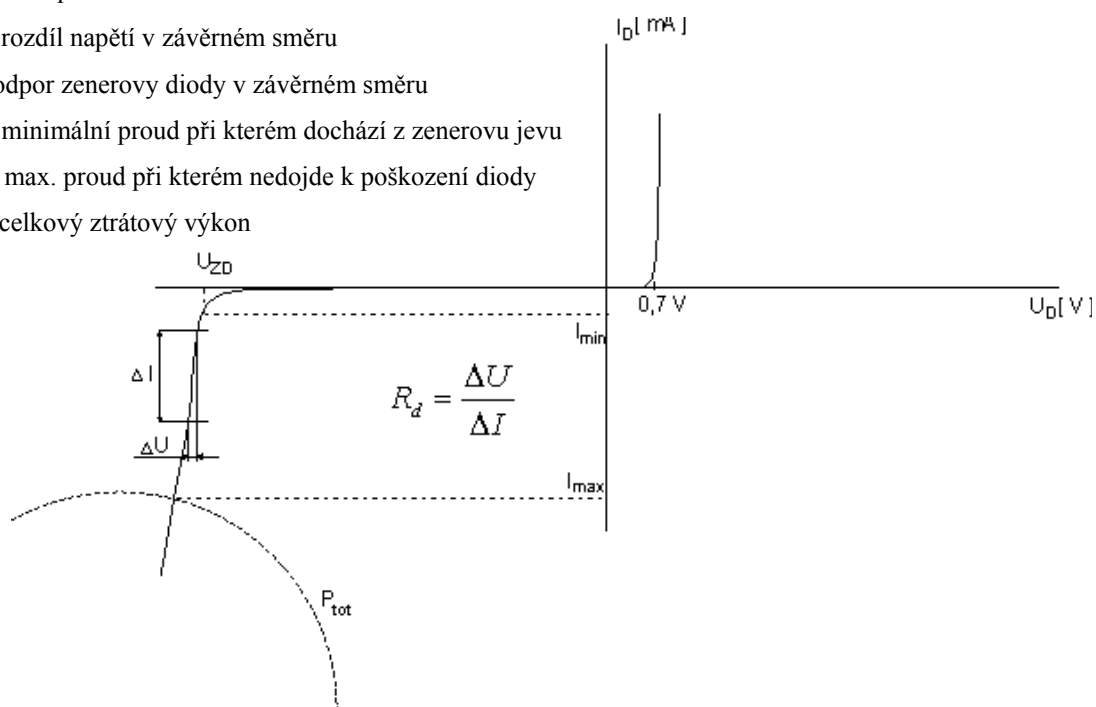
ΔU – rozdíl napětí v závěrném směru

R_d – odpor zenerovy diody v závěrném směru

$I_{\min}$ – minimální proud při kterém dochází z zenerovu jevu

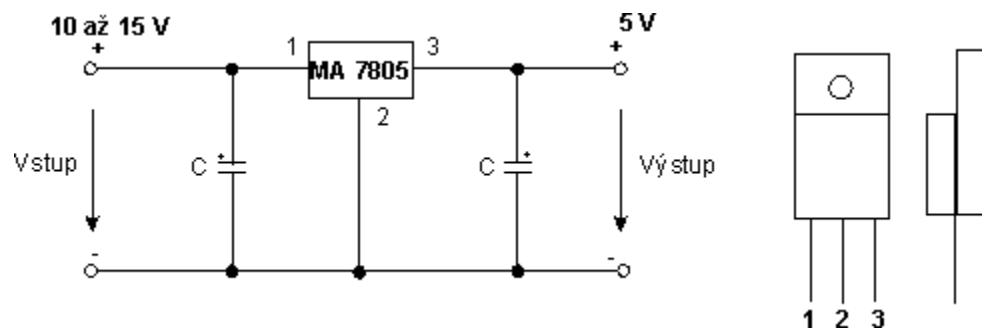
$I_{\max}$ – max. proud při kterém nedojde k poškození diody

P_{tot} – celkový ztrátový výkon



Obr. 18. VA charakteristika Zenerovy diody

Jednouúčelové integrované stabilizátory jsou řešeny pro stabilizaci jediného výstupního napětí. Zpravidla jsou řešeny jako výkonové obvody.



Obr. 19. Zapojení integrovaného stabilizátoru

Víceúčelové stabilizátory jsou schopné pracovat v různých režimech, především s různým výstupním napětím, jehož velikost je nastavitelná prostřednictvím vnějších pasivních prvků [5]. Obvody jsou obvykle řešeny jako málovýkonové.

1.2.3 Zadání:

Poznamenejte si katalogové hodnoty součástek z příloženého listu.

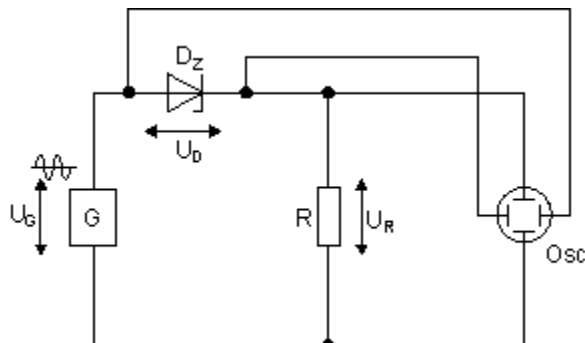
Např. KZ 260/6V2 $U_Z = 5,8\text{V}$ až $6,6\text{V}$, $I_Z = 0,18\text{A}$, $P_{\text{tot}} = 0,13\text{W}$, $U_R = 6\text{V}$ při $I_R = 0,5\mu\text{A}$

Popis použitých přístrojů a součástek:

G	generátor harmonického signálu
Z_{dr}	stejnoseměrný zdroj
Osc	analogový osciloskop
A_1, A_2	ampérmetr
V_1, V_2	voltmetr
D_Z	Zenerova dioda
R	rezistor 220Ω
R_Z	zatěžovací odpor $5\text{k}\Omega$

Ad1)

Schéma zapojení:



Obr. 20. Zapojení elektrického obvodu pro měření VA charakteristiky zenerovy diody

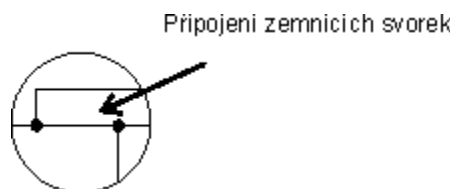
U_G – napětí generátoru harmonického signálu

U_D – napětí na zenerově diodě

U_R – napětí na rezistoru

Postup měření:

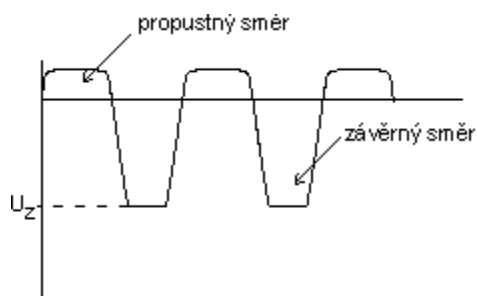
- Zapojíme součástky dle schématu. V zapojení používáme stavebnici Dominoputer. Rozložení součástek by mělo odpovídat schématu zapojení.
- Před začátkem měření nastavíme na modré sondě osciloskopu přepínač do polohy č.1 a provedeme **kalibraci** rozsahů obou sond.
- Připojíme sondy osciloskopu. (sondu č.1 na zenerovu diodu, sondu č.2 na zatěžovací odpor) Zemní svorky obou sond musí být vyvedeny ze stejného uzlu.



Obr. 21. Připojení zemních svorek

Po zapojení zavoláme vyučujícího, a teprve po kontrole zapneme zdroj napětí.

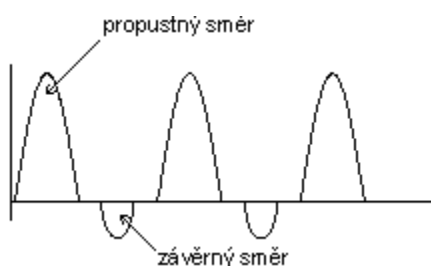
- Na generátoru nastavíme 8V. Na osciloskopu přepneme na kanál č.1 a zkontrolujeme průběh napětí na zenerově diodě.



Obr. 22. Průběh napětí na zenerově diodě

Pozn. V propustném směru vidíme úbytek napětí na zenerově diodě (asi 0,7V). V závěrném směru je napětí jehož amplituda je omezena velikostí Zenerova napětí U_Z .

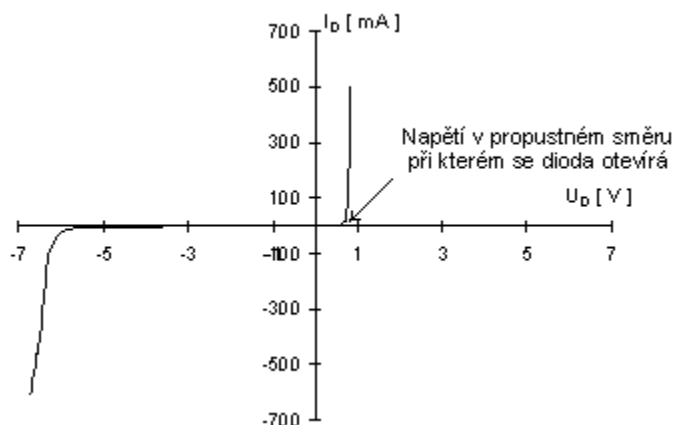
- e) Osciloskop přepneme na kanál č.2 a zkontrolujeme průběh napětí na zatěžovacím odporu.



Obr. 23. Průběh napětí na zatěžovacím rezistoru

Pozn. V propustném směru je na rezistoru napětí zdroje snižené o úbytek napětí na Zenerově diodě. V závěrném směru se objeví napětí, které je rovno napětí zdroje sniženému o Zenerovo napětí.

- f) Osciloskop přepneme na duální režim a časovou základnu přepneme na režim XY. Po přepnutí na režim XY je třeba, aby zobrazený bod na osciloskopu byl v počátku souřadnicových os.. Výsledné zobrazení bude VA charakteristika zenerovy diody.

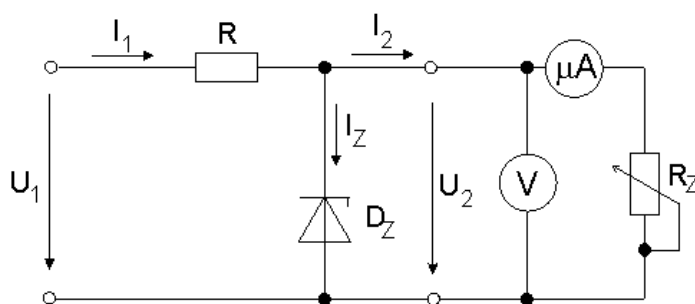


Obr. 24. VA charakteristika zenerovy diody

Pozn.: Na ose X vidíme skutečné hodnoty napětí na zenerově diodě, osa Y je proudová, proto musíme provést přepočet. Jelikož je proud procházející tímto obvodem všude stejný vypočítáme proud procházející zenerovou diodou z napětí na zatěžovacím rezistoru (sonda osciloskopu č.2) a jeho odporu. (viz.Ohmuv zákon).

Ad2)

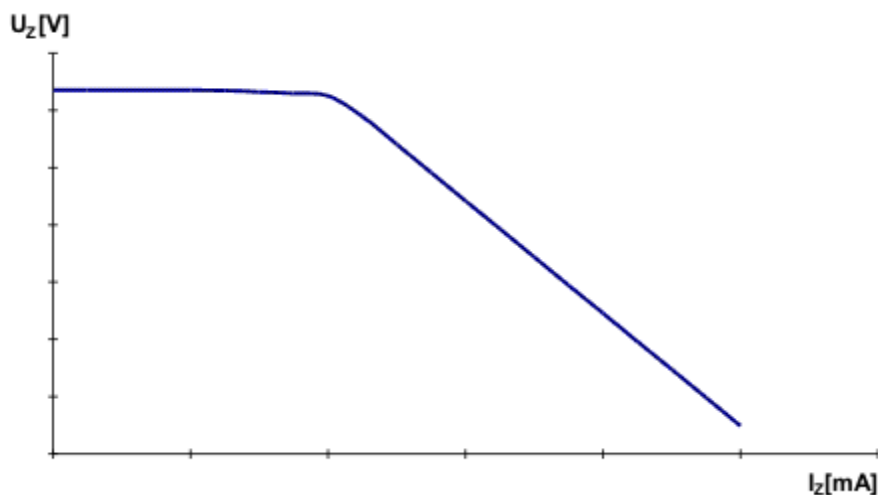
Schéma zapojení:



Obr. 25. Zapojení elektrického obvodu pro měření zatěžovací charakteristiky

Postup měření:

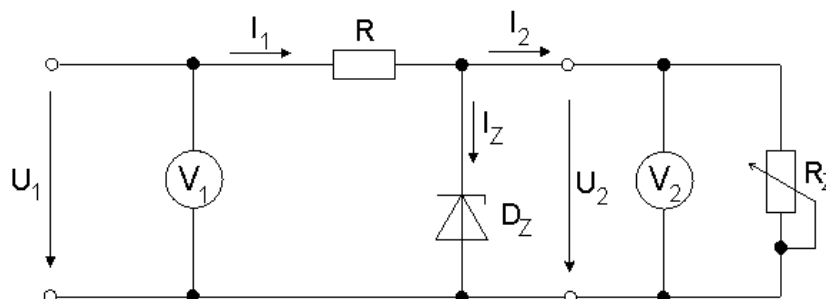
- Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení.
- Na stejnosměrném zdroji nastavíme 9V.
- Budeme měnit odpor zátěže od 999kΩ do 2kΩ. Krok se kterým měníme odpor volíme nejprve po stovkách, poté po desítkách a nakonec po jednotkách. (př. 999kΩ, 899kΩ.....99kΩ, 89kΩ.....9kΩ, 8kΩ....)
- Naměřené hodnoty napětí a proudů zapisujeme do tabulky ze které se vytvoří graf (zatěžovací charakteristika).



Obr. 26. Zatěžovací charakteristika

Ad3)

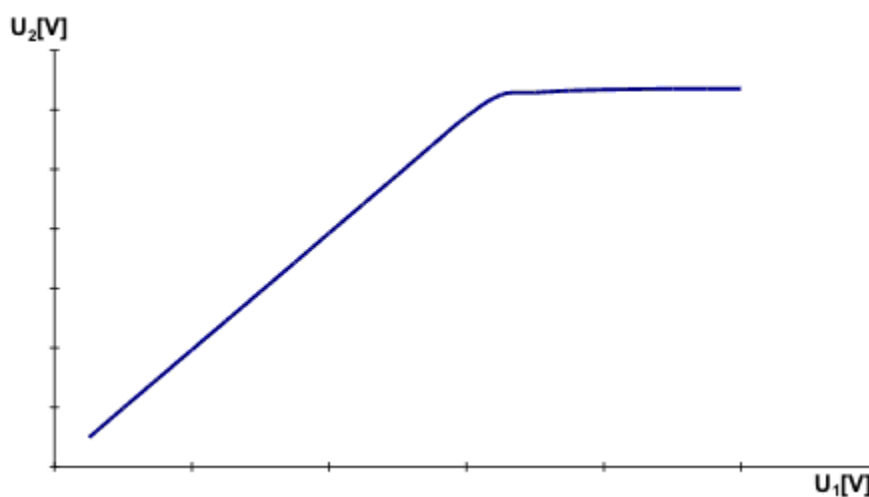
Schéma zapojení:



Obr. 27. Zapojení elektrického obvodu pro měření zatěžovací charakteristiky

Postup měření:

- Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení.
- Na zatěžovacím odporu nastavíme $5\text{k}\Omega$.
- Budeme měnit napětí stejnosměrného zdroje od 0V do 9V . Krok se kterým měníme napětí je $0,3\text{V}$.
- Naměřené hodnoty napětí zapisujeme do tabulky ze které se vytvoří graf (převodní charakteristika).



Obr. 28. Převodní charakteristika

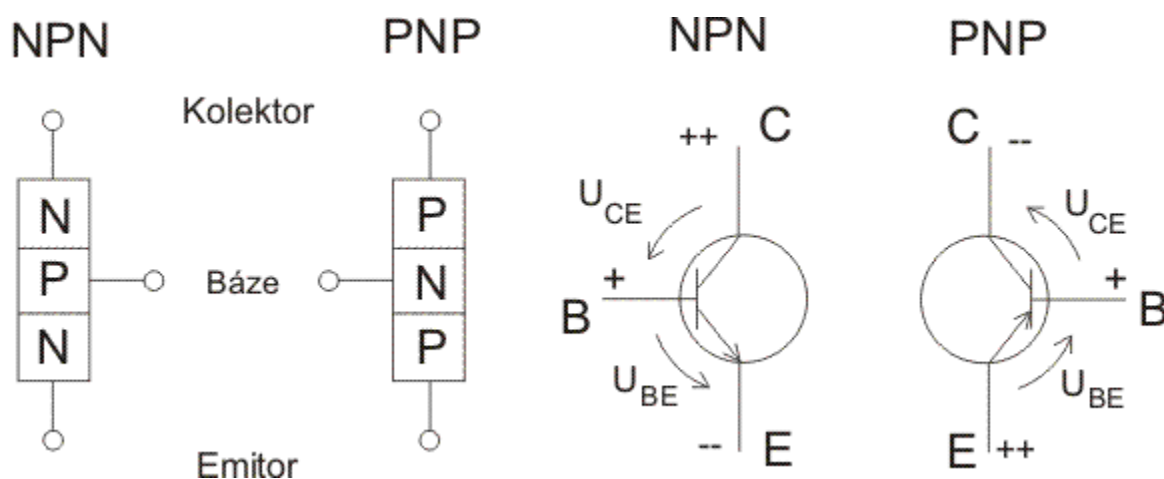
1.3 Bipolární tranzistor

1.3.1 Úkol:

1. Změřte vstupní charakteristiku bipolárního tranzistoru
2. Změřte převodovou charakteristiku bipolárního tranzistoru
3. Změřte výstupní charakteristiku bipolárního tranzistoru
4. Zapojte bipolární tranzistor ve funkci spínače

1.3.2 Teorie:

Tranzistor je polovodičová součástka, která obsahuje dva polovodičové přechody PN. Každý bipolární tranzistor se skládá ze tří oblastí seřazených v pořadí NPN nebo PNP. Vyvedené elektrody se nazývají emitor, báze, kolektor.



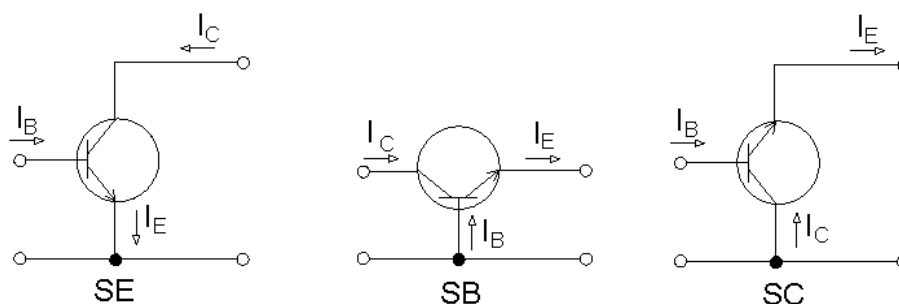
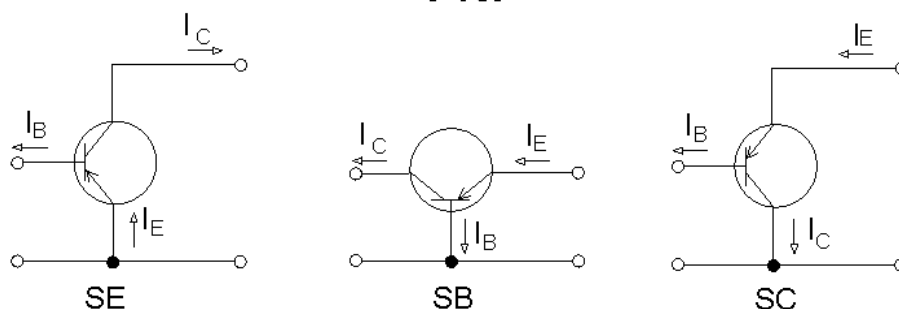
Obr. 29. Struktura tranzistorů

Činnost obou typů tranzistorů se v podstatě neliší, avšak zásadní rozdíl je v polaritě napájecího napětí kolektoru a emitoru. Pro tranzistor typu NPN platí, že napětím několik desetin voltů otevřeme přechod báze – emitor. Protože báze má poměrně malou tloušťku prochází téměř celý kolektorový proud až do emitoru což vyplývá z obrázku. Pro tranzistor PNP platí obdobný princip jen s tím rozdílem, že na bázi musíme přivést zápornější napětí než na emitor. Potom platí, že proud z kolektoru projde téměř celý do emitoru [1].

Tranzistory se používají v zapojení se společným emitorem (SE), společnou bází (SB) a se společným kolektorem (SC).

Tabulka 1. Charakteristické chování bipolárních tranzistorů v různých zapojeních

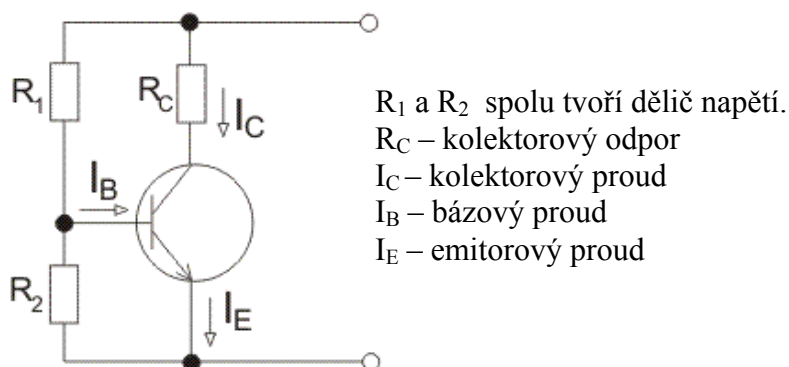
		Zapojení bipolárního tranzistoru		
		Společná báze	Společný emitor	Společný kolektor
Zesílení	Proud	0,95 až 0,99	10 až 500	10 až 500
	Napětí	10 až 100	10 až 100	0,9 až 0,99
	Výkon	10 až 100	100 až 10000	10 až 100
Impedance	Vstupní	10Ω až 100Ω	100 až 1kΩ	10kΩ až 1MΩ
	Výstupní	0,1M až 1MΩ	10kΩ až 100kΩ	100Ω až 1kΩ
Fázový posun	Napěťový	0°	180°	0°
	Proudový	0°	0°	180°

NPN**PNP**

Obr. 30. Základní zapojení bipolárních tranzistorů

V elektrotechnických zařízeních se nejčastěji používá zapojení se společným emitorem [4]. Abychom zabránili zkreslení signálu, který zesilujeme, musíme nastavit vhodný pracovní bod tranzistoru. Má-li tranzistor pracovat bez zkreslení musíme zajistit, aby tranzistorem bez připojeného vstupního signálu procházel kolektorový proud určité velikosti. Jelikož je pracovní bod určen velikostí kolektorového proudu a kolektorovým napětím, volíme v praxi kolektorové napětí jako poloviční hodnotu napájecího napětí. Poloha pracovního

bodů se z různých příčin může měnit proto je nutné polohu stabilizovat. K tomu slouží obvody stabilizace které přímo souvisí s obvodem pro jeho nastavení. Klidový pracovní bod tranzistoru se prakticky realizuje pomocí odporového děliče do báze tranzistoru.



Obr. 31. Bipolární NPN tranzistor v zapojení SE s nastaveným pracovním bodem

Tranzistor pracující ve spínacím režimu je uzavřen - vypnut nebo otevřen – sepnut. Jestliže na vstup tranzistoru přivedeme napětí vhodné velikosti a polarity, pak tranzistor sepne. I když je tranzistor plně otevřen vzniká na přechodu kolektor – emitor zbytkové napětí. Toto napětí bývá řádu desetin voltů a ve většině aplikací není na závadu.

1.3.3 Zadání:

Poznamenejte si katalogové hodnoty součástek z příloženého listu.

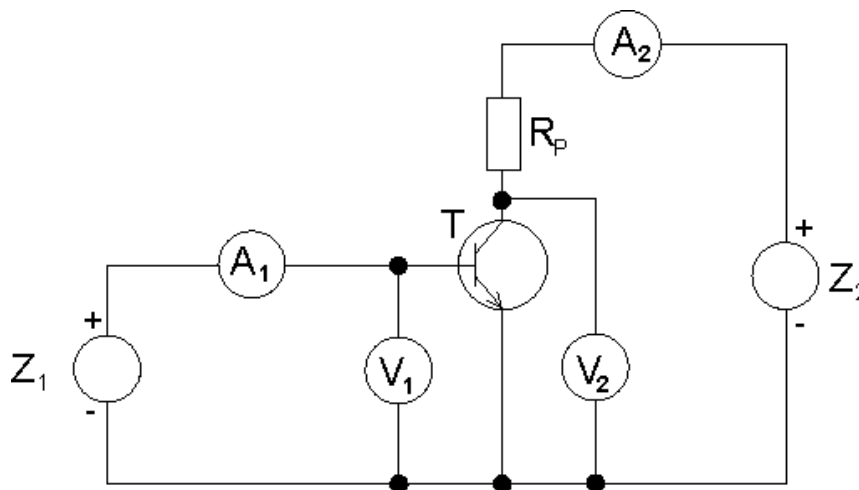
Např. BC546 $U_{CEO} = 65V$, $I_C = 0,1A$, $P_{tot} = 0,5W$, $h_{fe} = 200 - 450$ při $I_C = 2mA$

Popis použitých přístrojů a součástek:

Z_1	stejnoseměrný zdroj
Z_2	napájení ze základní desky RC (cca 5,2V)
A_1, A_2	ampérmetr
V_1, V_2	voltmetr
T	bipolární tranzistor
R	rezistor 120Ω
R_p	proměnný rezistor
LED	svítivá dioda LED

Ad1)

Schéma zapojení:



Obr. 32. Zapojení pro měření charakteristik bipolárního tranzistoru

Postup měření:

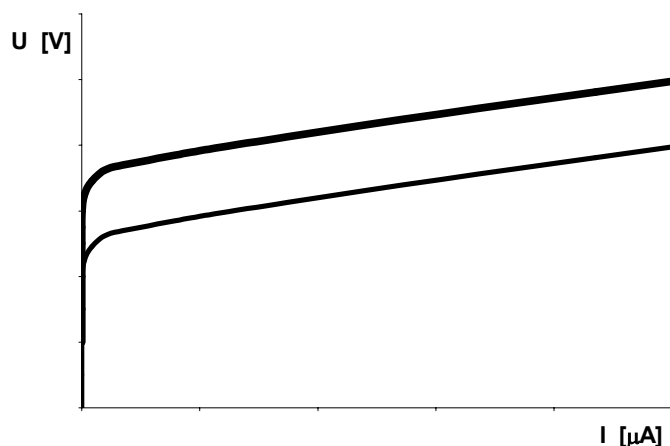
- Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení.
- Vypočítáme minimální hodnotu odporu R a maximální proud procházející obvodem podle vztahů:

$$I_{Max} = \frac{P_{tot}}{U_{Z2}}$$

$$R_{Min} = \frac{U_{Z2}}{I_{Max}}$$

U_{Z2} – napětí zdroje Z_2
 P_{tot} – maximální výkon
 I_{Max} – maximální proud
 R_{Min} – minimální odpor

- Proměnný rezistor R nastavíme na hodnotu větší než je R_{MIN} .
- Na stejnosměrném zdroji Z_1 nastavíme 1V abychom docílili plného otevření tranzistoru. Poté na voltmetru V_2 nastavíme postupnou změnou odporu proměnného rezistoru napětí $U_{CE} = 1V$.
- Na zdroji Z_1 budeme měnit napětí od 0 do 1V. Kroky, po kterých měníme napětí, volíme vhodně – kolem hodnoty 0,7V bude docházet k největším změnám proudů protože se začne tranzistor otevírat, tj. kolem této hodnoty provedeme větší počet měření.
- Měření provedeme pro napětí $U_{CE} = 1V, 2V$.
- Naměřené hodnoty napětí U_{BE} a proudu I_B zapisujeme do tabulky, ze které se vytvoří graf (vstupní charakteristika).

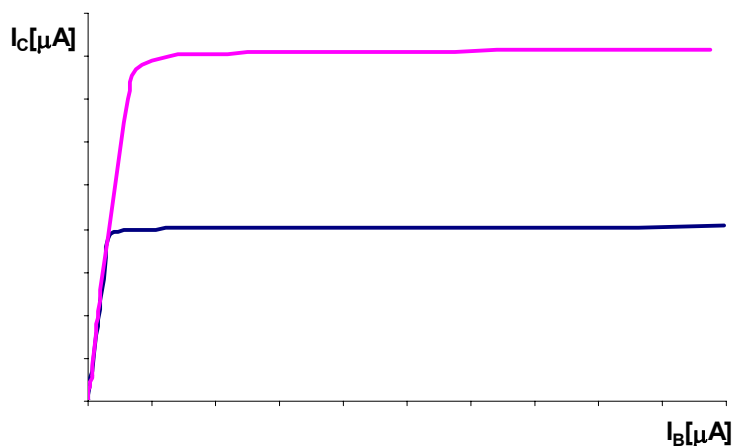


Obr. 33. Vstupní charakteristika

Ad2)

Postup měření:

- Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení.
- Proměnný rezistor R nastavíme na hodnotu větší než je R_{MIN} .
- Na stejnosměrném zdroji Z_1 nastavíme 1V abychom docílili plného otevření tranzistoru. Poté na voltmetru V_2 nastavíme postupnou změnou odporu proměnného rezistoru napětí $U_{\text{CE}} = 1\text{V}$.
- Na zdroji Z_1 budeme měnit napětí od 0 do 1V. Kroky, po kterých měníme napětí, volíme vhodně – kolem hodnoty 0,7V bude docházet k největším změnám proudů protože se začne tranzistor otevírat, tj. kolem této hodnoty provedeme větší počet měření.
- Měření provedeme pro napětí $U_{\text{CE}} = 1\text{V}, 2\text{V}$.
- Naměřené hodnoty proudů I_{C} a I_{B} zapisujeme do tabulky ze které se vytvoří graf (převodová charakteristika).

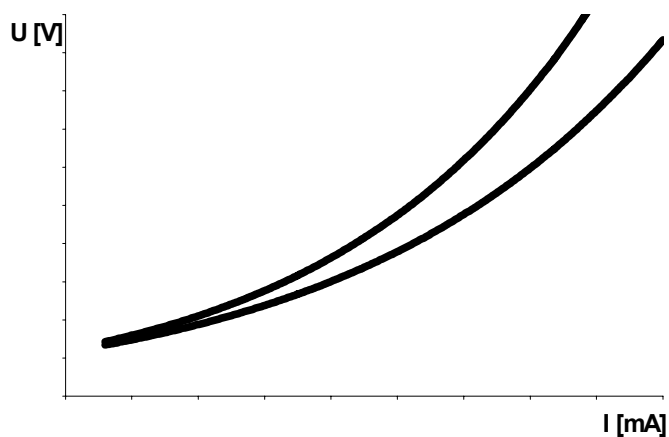


Obr. 34. Převodová charakteristika

Ad3)

Postup měření:

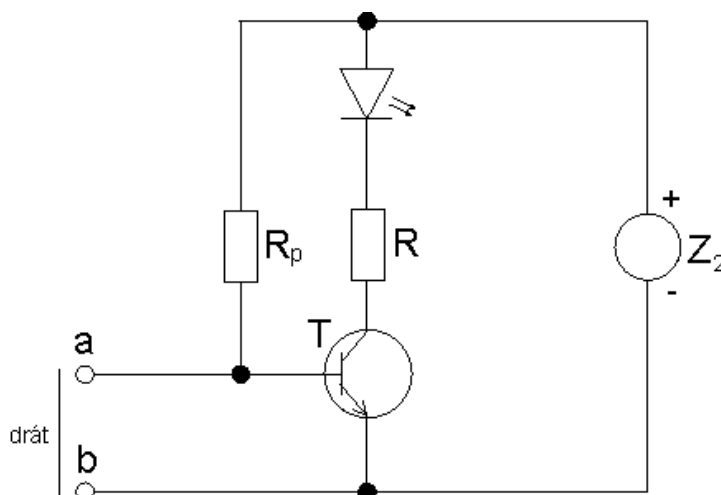
- Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení.
- Na stejnosměrném zdroji Z_1 nastavíme takové napětí, abychom na ampérmetru A_1 naměřili bázevý proud $I_B = 20\mu A$. Odpor nastavíme na 999Ω .
- Na proměnném rezistoru měníme odpor od 999Ω do 200Ω . Celé měření kontrolujeme proud I_B a odchylky od přednastavené hodnoty doladujeme.
- Měření provedeme pro proud báze $I_B = 20\mu A$, $40\mu A$.
- Naměřené hodnoty napětí U_{CE} a proudu I_C zapisujeme do tabulky ze které se vytvoří graf (výstupní charakteristika).



Obr. 35. Výstupní charakteristika

Ad4)

Schéma zapojení:



Obr. 36. Zapojení pro bipolární tranzistor ve funkci spínače

Postup měření:

- a) Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení.
- b) Hodnotu proměnného rezistoru R_p snižujeme od nejvyšší hodnoty tak dlouho, dokud nezačne dioda jasně svítit. Spínací funkci tranzistoru ověříme propojením svorek „a“ a „b“ drátovou propojku - dioda zhasne, neboť mezi bází a emitorem zanikne potřebný rozdíl potenciálu a tranzistor se uzavře.

1.4 Optoelektrické vazbové členy

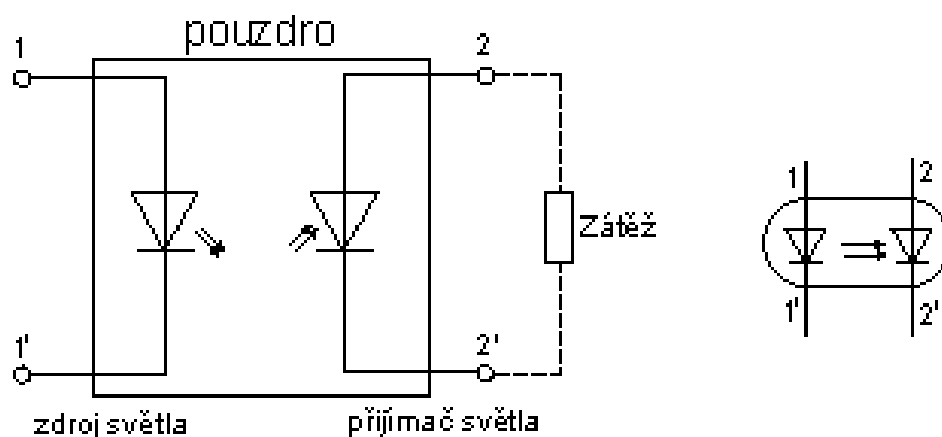
1.4.1 Úkol:

1. Změřte vstupní charakteristiku optoelektronického vazbového členu
2. Změřte výstupní charakteristiku optoelektronického vazbového členu
3. Změřte převodní charakteristiku optoelektronického vazbového členu

1.4.2 Teorie:

V elektrických obvodech, kde je požadováno galvanické oddělení řídicího obvodu od spínacího obvodu lze použít optoelektrické vazbové členy, také nazývané optrony.

Optrony jsou součástky složené z řízeného zdroje světla a fotoelektrického přijímače. Funkcí jsou příbuzné reléovým spojům. Jako řízené zdroje světla se používají nejčastěji luminiscenční diody (dlouhá životnost, malý příkon, malé rozměry, relativně vysoká rychlost). Přijímače jsou fotodiody nebo fototranzistory. Nepožaduje-li se lineární převodní charakteristika, užívají se jako přijímače lavinové fotodiody, fotodiody PIN (dioda která má mezi P vrstvou a N vrstvou nedotovanou vrstvičku křemíku (intrinzistní vodivost) a fototyristory. Důležité je, aby použitý zdroj světla a fotoelektrický přijímač měly stejné spektrální charakteristiky. Přijímač i zdroj světla jsou uzavřeny do neprůhledného pouzdra [1].



Obr. 37 Princip optronu

1.4.3 Zadání:

Poznamenejte si katalogové hodnoty součástek z přiloženého listu.

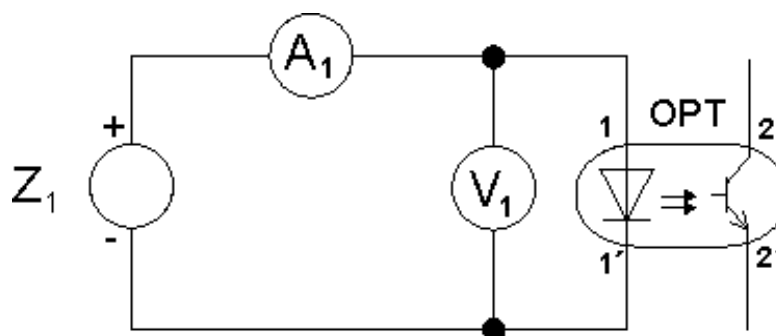
Např. WK 16413 $I_{\text{MAX}} = 30\text{mA}$, $P_{\text{TOT}} = 100\text{mW}$, $I_T = 10\text{mA}$, $U_{\text{CE}} = 6\text{V}$, $P_C = \leq 50\text{mW}$

Popis použitých přístrojů a součástek:

Z_1, Z_2	stejnoseměrný zdroj
A_1, A_2	ampérmetr
V_1, V_2	voltmetr
OPT	optron

Ad1)

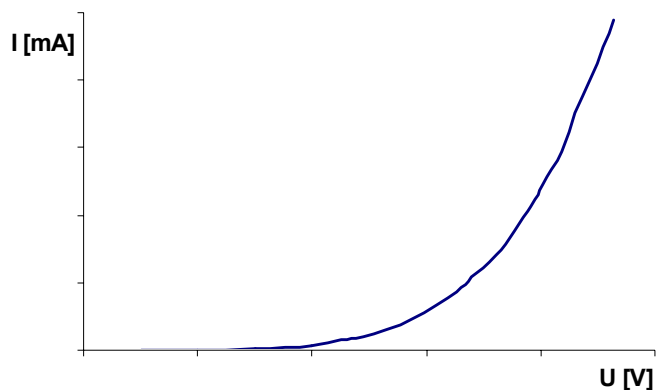
Schéma zapojení:



Obr. 38. Zapojení pro měření vstupní charakteristiky optronu

Postup měření:

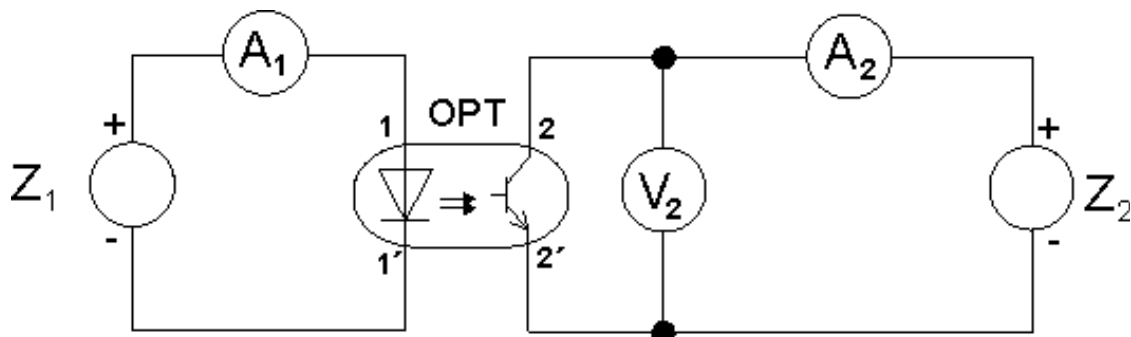
- Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení.
- Na zdroji Z_1 budeme měnit napětí od 0 do 1,5V. Kolem 0,8V dochází k velkým změnám proudů proto zde provedeme větší počet měření.
- Z naměřeného napětí U_1 a proudu I_1 se vytvoří graf (vstupní charakteristika).



Obr. 39. Vstupní charakteristika

Ad2)

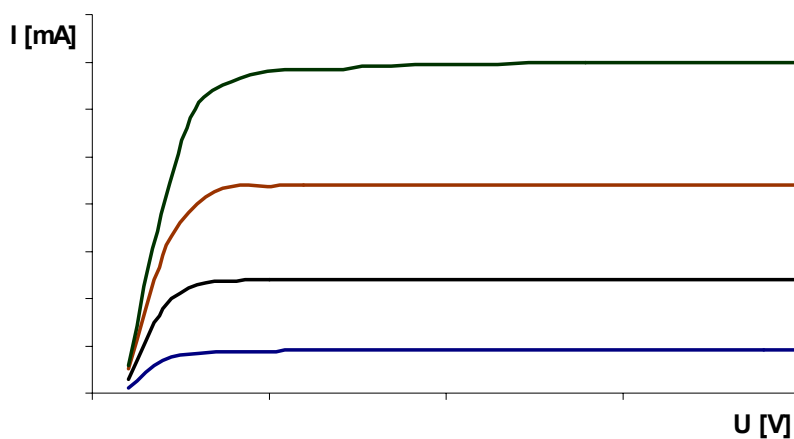
Schéma zapojení:



Obr. 40. Zapojení pro měření výstupní charakteristiky optronu

Postup měření:

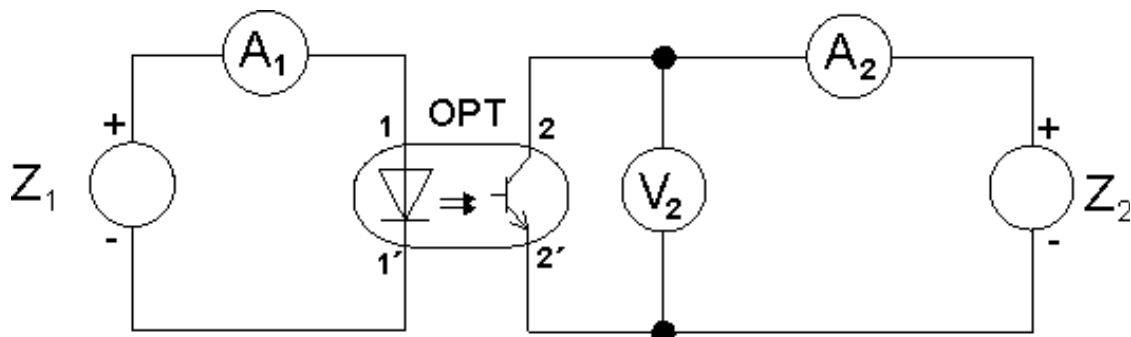
- Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení.
- Na stejnosměrném zdroji Z_1 měníme napětí tak abychom naměřili na ampérmetru A_1 proud 5mA.
- Na zdroji Z_2 budeme měnit napětí U_{CE} od 0 do 2V.
- Měření provedeme pro proud $I_1 = 5\text{mA}$, 10mA, 15mA a 20mA.
- Naměřené hodnoty napětí U_{CE} a proudu I_2 zapisujeme do tabulky, ze které se vytvoří graf (výstupní charakteristika).



Obr. 41. Výstupní charakteristika

Ad3)

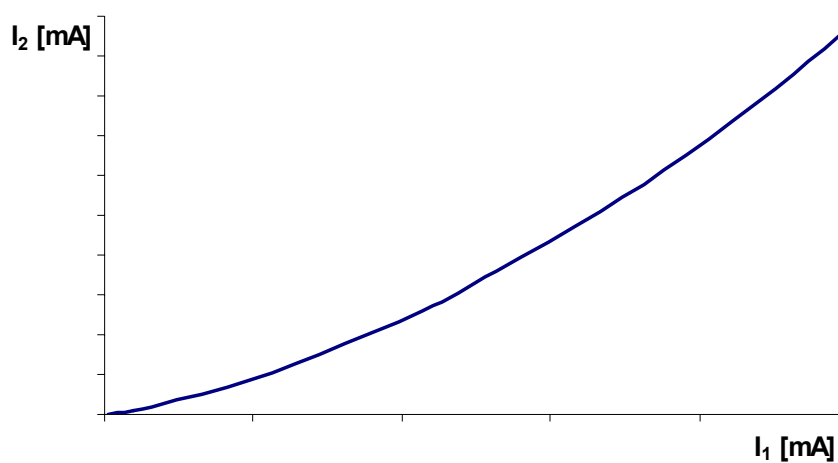
Schéma zapojení:



Obr. 42. Zapojení pro měření převodové charakteristiky optronu

Postup měření:

- Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení.
- Na stejnosměrném zdroji Z_2 nastavíme takové napětí, abychom na voltmetru V_2 naměřili napětí $U_{CE} = 1V$.
- Na zdroji Z_1 budeme měnit napětí takovým způsobem, aby ampérmetr A_1 ukazoval proud od 0 do 25mA. Kroky po kterých měníme proud volíme vhodně.
- Měření provedeme pro napětí $U_{CE} = 1V, 2V$.
- Naměřené hodnoty proudu I_1 a proudu I_2 zapisujeme do tabulky, ze které se vytvoří graf (převodová charakteristika).



Obr. 43. Převodová charakteristika

1.5 Operační zesilovače I.

1.5.1 Úkol:

1. Změřte napět'ové zesílení operačního zesilovače v neinvertujícím zapojení
2. Změřte napět'ové zesílení operačního zesilovače v invertujícím zapojení
3. Ověřte vlastnosti invertujícího součtového zesilovače
4. Ověřte vlastnosti invertujícího rozdílového zesilovače

1.5.2 Teorie:

Operační zesilovač má složité vnitřní zapojení a byl původně vyvinut pro analogové počítače, kde měl zpracovávat základní matematické operace. V současné době je jeho využití všestranné a je použitelný ke zpracování stejnosměrných i střídavých napětí.

Operační zesilovač je integrovaný obvod s funkcí zesilovače, který se některými svými parametry blíží ideálnímu operačnímu zesilovači [6].

Ideální operační zesilovač by měl mít tyto vlastnosti:

- Nekonečně velké (proudové a napět'ové) zesílení
- Nekonečně velký vstupní odpor
- Nulový výstupní odpor
- Frekvenční nezávislost
- Zesílení souhlasného napětí je nulové
- Parametry ideálního op. zesilovače se nemění v závislosti na okolí

U jednoho typu OZ nelze nikdy dosáhnout všech požadovaných špičkových parametrů současně. Proto se podle požadavků vyrábí OZ např.: výkonové, nízkošumové, širokopásmové, s velkým vstupním odporem apod.

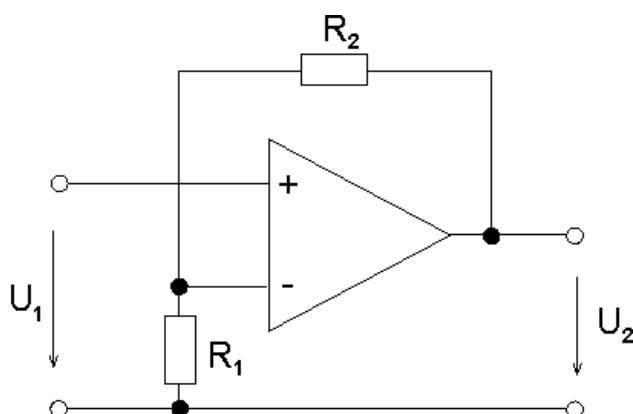
Vnitřní strukturou je OZ tvořen třemi stupni:

- Vstupní zesilovač – zapojený jako diferenciální (rozdílový) zesilovač
- Zesilující stupeň – zajišťující velké napět'ové zesílení
- Koncový stupeň – zajišťuje výkonové zesílení a oddělení OZ od zátěže

Mezi základní zapojení patří:

- o Neinvertující zapojení – vstupní napětí se přivádí na neinvertující vstup (svorka +) a do invertujícího vstupu je přivedena zpětná záporná vazba. Neinvertující zapojení nezpůsobuje změnu fáze výstupního napětí (nemění znaménko) vůči vstupnímu napětí [8]. Zesílení tohoto typu zapojení je dáno vztahem:

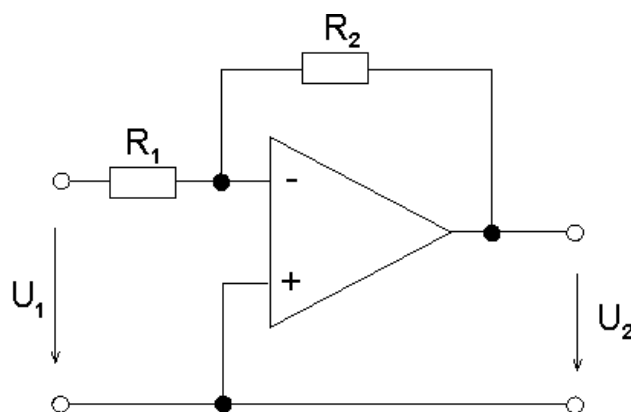
$$A = \frac{U_2}{U_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (1)$$



Obr. 44. Neinvertující zesilovač

- o Invertující zapojení – vstupní napětí se přivádí na invertující vstup (svorka -) a z výstupu je na tento vstup přivedena zpětná vazba. Invertující zapojení způsobuje změnu fáze výstupního napětí (mění znaménko) vůči vstupnímu napětí o 180°. Zesílení tohoto typu zapojení je dáno vztahem:

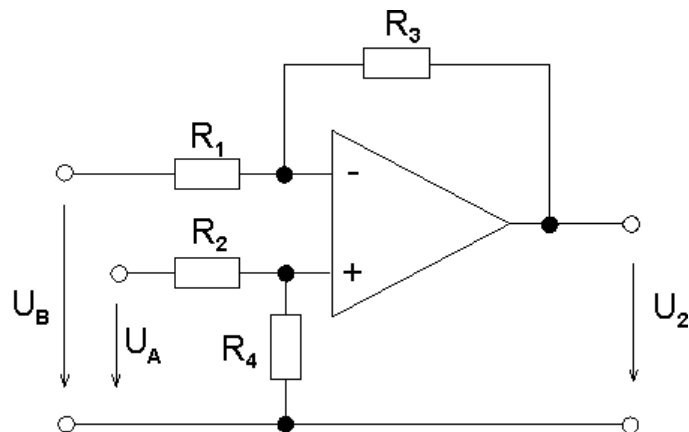
$$A = \frac{U_2}{U_1} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (2)$$



Obr. 45. Invertující zesilovač

- o Rozdílový (diferenční) zesilovač – na vstupy se přivádí dvě vstupní napětí přes vstupní odpory. Na výstupu operačního zesilovače se vyhodnocuje difference (rozdíl) úrovně obou vstupních napětí [6]. Jestliže platí rovnice: $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$ je výstupní napětí dáno vztahem:

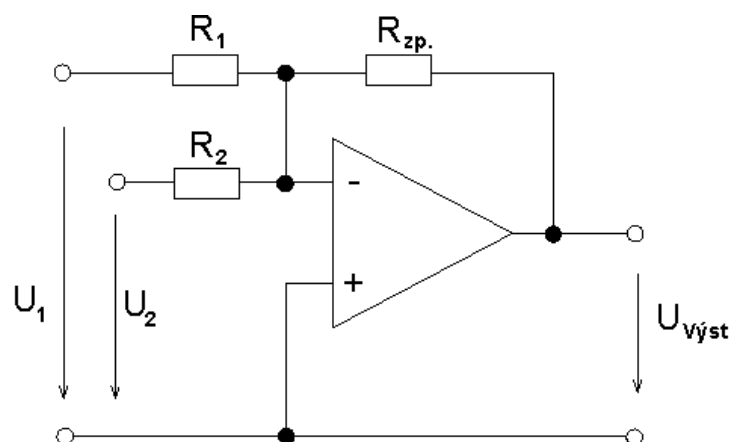
$$U_{výst.} = \frac{R_3}{R_1} (U_A - U_B) \quad (3)$$



Obr. 46. Rozdílový zesilovač

- o Součtový (sumační) zesilovač - na invertující vstup připojíme přes sčítací odpory několik vstupních napětí. Neinvertující vstup může být také spojen se zemí přes kompenzační rezistor. Výstupní napětí je dáno vztahem:

$$U_{výst.} = -R_{zp.} \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U_N}{R_N} \right) \quad (4)$$



Obr. 47. Součtový zesilovač

1.5.3 Zadání:

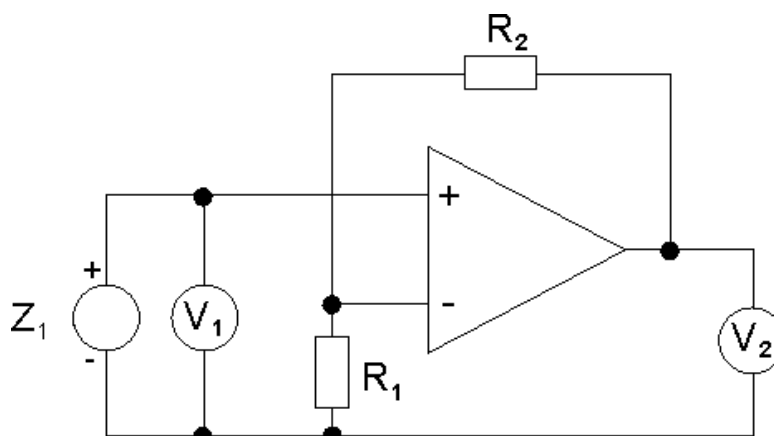
Poznamenejte si katalogové hodnoty součástek z příloženého listu.

Např. OP27 vstupní proud $< 10\text{nA}$, výstupní proud $\leq 20\text{mA}$, rychlost přeběhu $2,8\text{V}/\mu\text{s}$

Popis použitých přístrojů a součástek:

Z_1	stejnosměrný zdroj
V_1, V_2	voltmetr
OZ	operační zesilovač
R_1, R_2	rezistor $\text{k}\Omega$ dekáda RC

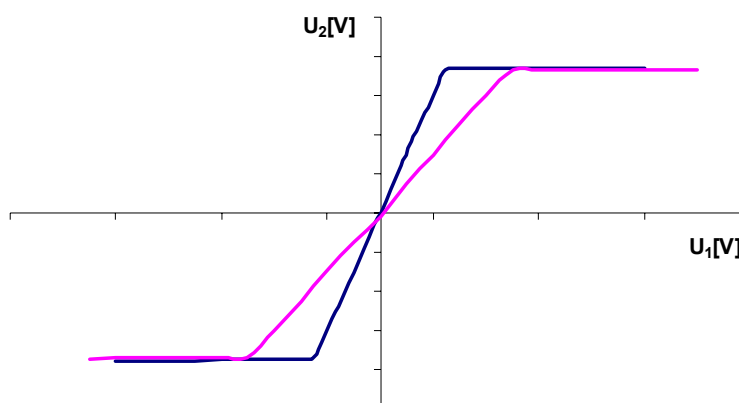
Ad1)

Schéma zapojení:

Obr. 48. Zapojení pro měření zesílení neinvertujícího operačního zesilovače

Postup měření:

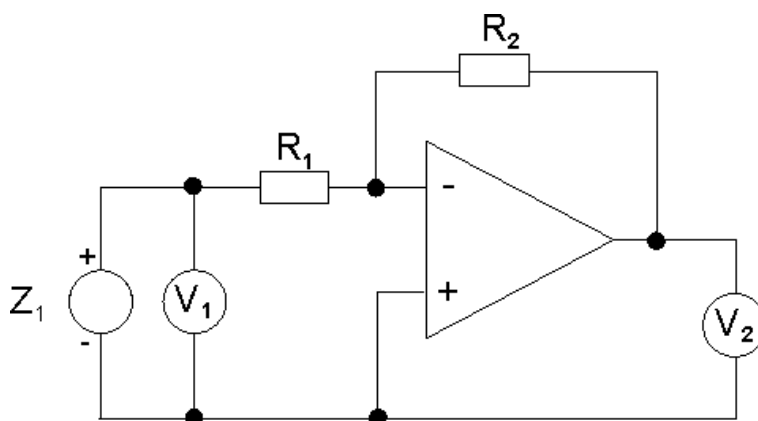
- Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení.
- Zvolíme vhodně poměr rezistorů R_1 a R_2 tak, aby celkové zesílení $A = 3$.
- Na zdroji Z_1 budeme měnit napětí U_1 od 0 do 3V.
- Měření provedeme pro zesílení $A = 3, 6$.
- Naměřené hodnoty napětí voltmetru V_1 a napětí na voltmetru V_2 zapisujeme do tabulky, ze které se vytvoří graf (charakteristika neinvertujícího zesilovače).



Obr. 49. Charakteristiky neinvertujícího zesilovače pro dvě různé zesílení

Ad2)

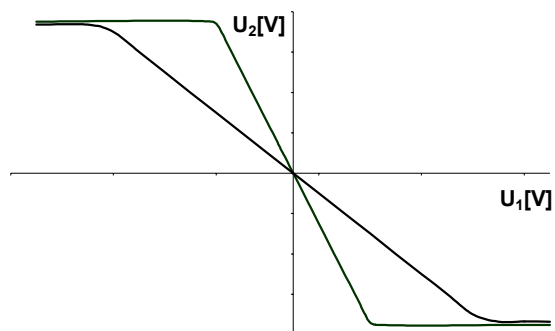
Schéma zapojení:



Obr. 50. Zapojení pro měření zesílení invertujícího operačního zesilovače

Postup měření:

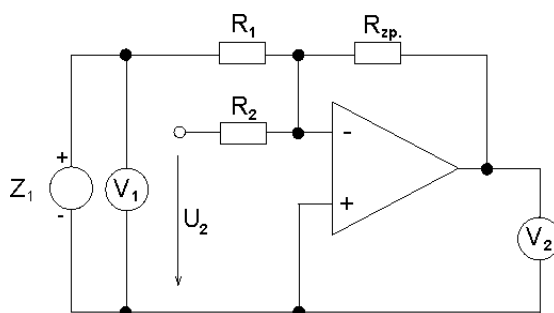
- Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení.
- Zvolíme vhodně poměr rezistorů R_1 a R_2 tak, aby celkové zesílení bylo $A = -2$.
- Na zdroji Z_1 budeme měnit napětí U_1 od 0 do 4,5V.
- Měření provedeme pro zesílení $A = -2, -5$.
- Naměřené hodnoty napětí voltmetru V_1 a napětí na voltmetru V_2 zapisujeme do tabulky, ze které se vytvoří graf (charakteristika invertujícího zesilovače).



Obr. 51. Charakteristiky invertujícího zesilovače pro dvě různá zesílení

Ad3)

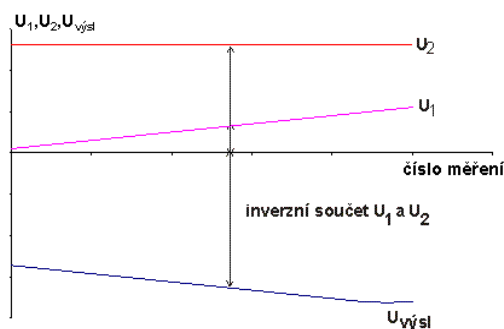
Schéma zapojení:



Obr. 52. Zapojení pro měření vlastností invertujícího součtového zesilovače

Postup měření:

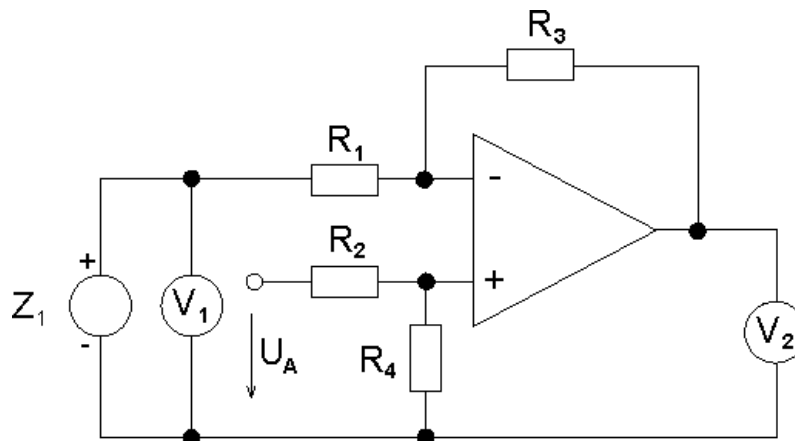
- Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení.
- Odpory R_1 , R_2 , R_{zp} zvolíme stejné velikosti např. $1\text{ k}\Omega$. Napětí U_2 přivedeme přímo z napájení desky RC (cca. $5,25\text{ V}$ – ověříme voltmetrem)
- Na zdroji Z_1 budeme měnit napětí U_1 od 0 do $2,5\text{ V}$.
- Napětí na voltmetru V_1 a napětí na voltmetru V_2 zapisujeme do tabulky, ze které se vytvoří graf (charakteristika součtového zesilovače).



Obr. 53. Charakteristika součtového zesilovače

Ad4)

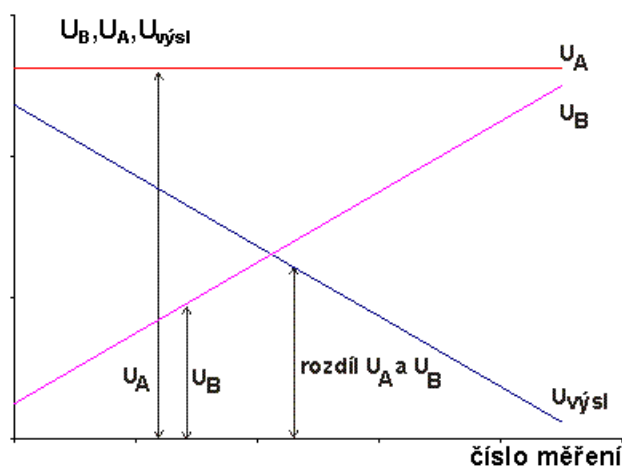
Schéma zapojení:



Obr. 54. Zapojení pro měření vlastností invertujícího rozdílového zesilovače

Postup měření:

- Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení.
- Odpory R_1 , R_2 , R_3 , R_4 zvolíme stejné velikosti např. $1\text{k}\Omega$. Napětí U_A přivedeme přímo z napájení desky RC (cca. $5,25\text{V}$)
- Na zdroji Z_1 budeme měnit napětí U_B od 0 do 8V .
- Napětí na voltmetru V_1 a napětí na voltmetru V_2 zapisujeme do tabulky, ze které se vytvoří graf (charakteristika rozdílového zesilovače).



Obr. 55. Charakteristika rozdílového zesilovače

1.6 Operační zesilovače II.

1.6.1 Úkol:

1. Ověřte funkci operačního zesilovače ve funkci integrátoru
2. Ověřte funkci operačního zesilovače ve funkci derivátoru
3. Ověřte funkci operačního zesilovače ve funkci napěťového komparátoru

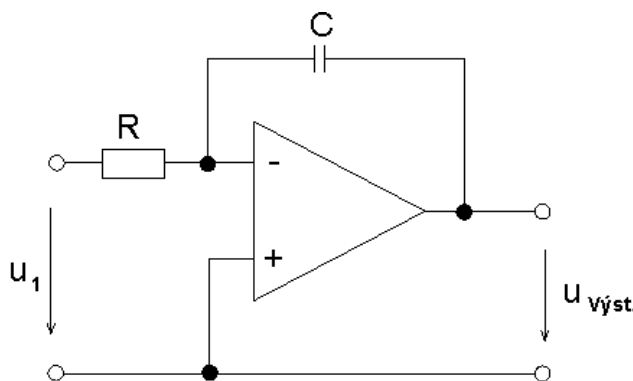
1.6.2 Teorie:

OZ jsou napájené ze dvou zdrojů zapojených do série s vyvedenou „nulou“ spojenou s kistrou. Je to napájení symetrickým napětím. Existují však i zapojení pro nesymetrické napájení. Pokud je při symetrickém napájení na vstupu nulové napětí, je nulové napětí také na výstupu. Při nesymetrickém napájení je při nulovém vstupním napětí na výstupu poloviční napětí zdroje. Vlastnosti operačního zesilovače jsou dány zapojením a vlastnostmi prvků v jeho okolí.

Mezi základní zapojení patří:

- o Integrační zesilovač – u tohoto zapojení je v obvodu zpětné vazby namísto rezistoru zapojen kondenzátor (integrační kondenzátor). Přivedeme-li na vstup obdélníkový průběh získáme na výstupu napětí U_2 trojúhelníkového průběhu (integrace obdélníku). Zapojení se využívá spolu s dalšími obvody jako generátor kmitočtu trojúhelníkového průběhu [6]. Výstupní napětí je dáno vztahem:

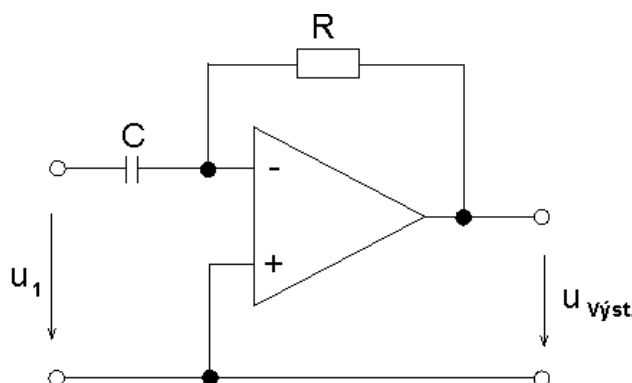
$$U_{výst.} = -\frac{1}{RC} \int u_1(t) dt \quad (5)$$



Obr. 56. Integrační zesilovač

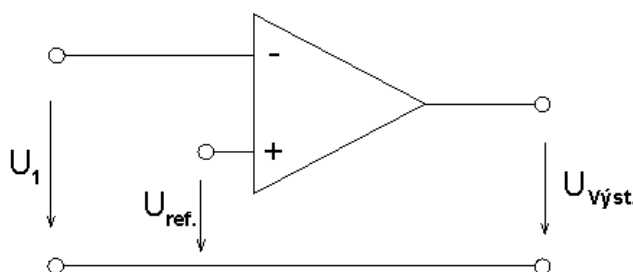
- o Derivační zesilovač – zapojení je inverzní k zapojení integračního zesilovače, tj. kondenzátor a rezistor si vymění pozice. Signál na výstupu je úměrný derivaci vstupního signálu. Výstupní napětí je dáno vztahem:

$$U_{výst.} = -RC \frac{du(t)}{dt} \quad (6)$$



Obr. 57. Derivační zesilovač

- o Komparátor – porovnává dvě vstupní napětí mezi sebou. Je-li napětí na invertujícím vstupu větší než na vstupu neinvertujícím, pak má výstupní napětí maximální zápornou hodnotu (tj. maximální záporné napětí, které je OZ schopen vytvořit, tzv. záporné saturační napětí) a při opačné situaci na vstupu má maximální kladnou hodnotu (tj. maximální kladné napětí, které je OZ schopen vytvořit, tzv. kladné saturační napětí) [6]. Často je na neinvertujícím vstupu připojeno referenční napětí a pak je na výstupu kladné nebo záporné napětí podle vstupního napětí na invertujícím vstupu. Poněvadž na výstupu OZ získáme pouze dvě úrovně napětí jsou komparátory využívány při konstrukci analogově digitálních převodníků.



Obr. 58. Komparátor

1.6.3 Zadání:

Poznamenejte si katalogové hodnoty součástek z příloženého listu.

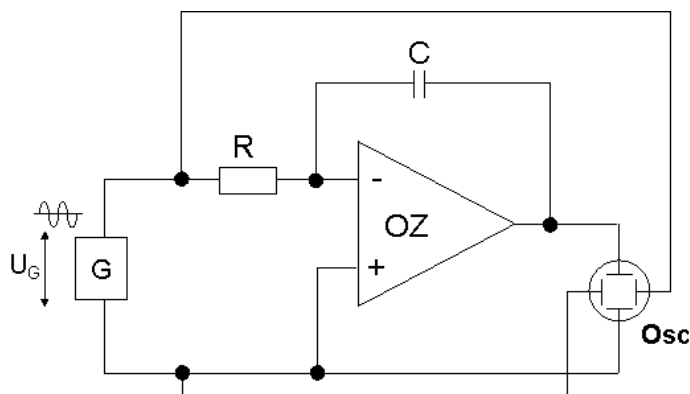
Např. OP27 vstupní proud $< 10\text{nA}$, výstupní proud $\leq 20\text{mA}$, rychlost přeběhu $2,8\text{V}/\mu\text{s}$

Popis použitých přístrojů a součástek:

Z_1	střídavý zdroj
Osc	osciloskop popř. interface počítače
OZ	operační zesilovač
C	kondenzátor nF dekáda RC
R	rezistor Ω dekáda RC

Ad1)

Schéma zapojení:

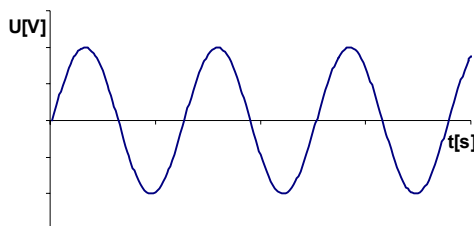


Obr. 59. Zapojení pro měření operačního zesilovače ve funkci integrátoru

Postup měření:

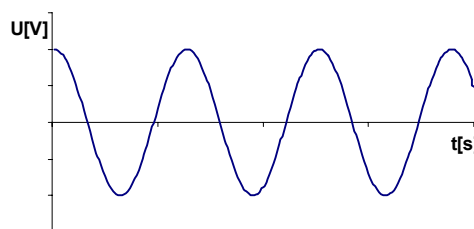
- Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení.
- Připojíme měřicí sondy z rozhraní počítače (Analog and digital data unit) soustavy RC 2000 (kanál A - vstup, kanál B - výstup). Je nutné provést synchronizaci generátoru harmonického signálu s měřicí soustavou. Synchronizaci provedeme propojením svorky Sync na generátoru se svorkou Ext Trig na měřicí soustavě.
- Na zdroji střídavého napětí nastavíme sinusový průběh.
- Spustíme PC a v něm program RC 2000. Po spuštění vybereme z nabídky položku Oscilloscope. V sekci display vybereme YT charakteristiku a v dolním levém rohu spustíme cyklus měření tlačítkem Cycle.

- e) Zkontrolujeme průběh napětí na vstupu (kanál A)



Obr. 60. Průběh napětí na vstupu

- f) Zkontrolujeme průběh napětí na výstupu (kanál B)

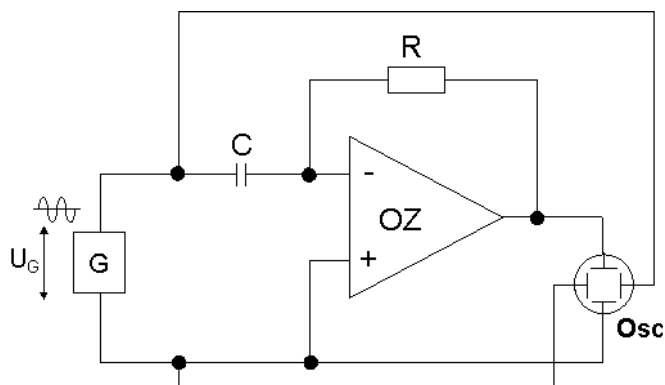


Obr. 61. Průběh napětí na výstupu

- g) Pokud průběh napětí souhlasí poznamenejme si hodnotu frekvence a amplitudy na generátoru a projekt uložíme. Uložení provedeme tak, že ukončíme cyklus (Cycle) a v pravém horním rohu v sekci File zvolíme Save. V aktivním adresáři vytvoříme adresář s názvem skupiny, podadresář se jmény měřících a soubor uložíme pod názvem intsin (popř. intobd). Pro kontrolu zkopírujeme obrázek pomocí tlačítka Print Screen a vložíme do Wordu.
- h) Měření provedeme také pro obdélníkový průběh (postup od bodu c).

Ad2)

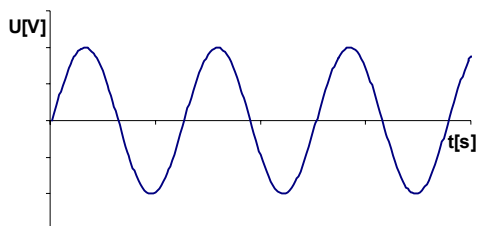
Schéma zapojení:



Obr. 62. Zapojení pro měření operačního zesilovače ve funkci derivátoru

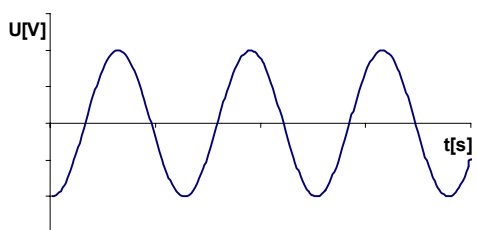
Postup měření:

- Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení.
- Připojíme měřicí sondy stejným způsobem jako v předešlé úloze.
- Na zdroji střídavého napětí nastavíme sinusový průběh.
- V programu RC 2000 necháme předešlé nastavení a zapneme měřicí cyklus.
- Zkontrolujeme průběh napětí na vstupu (kanál A)



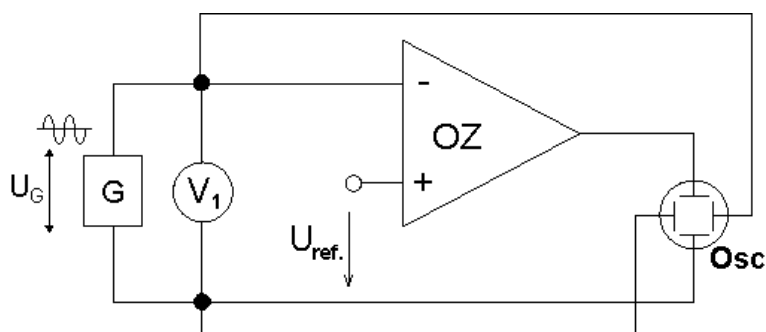
Obr. 63. Průběh napětí na vstupu

- Zkontrolujeme průběh napětí na výstupu (kanál B)



Obr. 64. Průběh napětí na výstupu

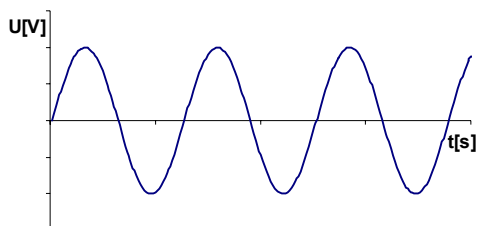
- Pokud průběh napětí souhlasí uložíme projekt pod názvem dersin (popř. derobd).
- Měření provedeme také pro obdélníkový průběh (postup od bodu c).

Ad3)**Schéma zapojení:**

Obr. 65. Zapojení pro měření operačního zesilovače ve funkci komparátoru

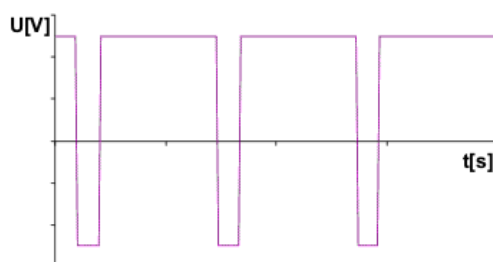
Postup měření:

- a) Zapojíme elektrický obvod podle schématu zapojení.
- b) Připojíme měřicí sondy stejným způsobem jako v předešlé úloze.
- c) Na zdroji střídavého napětí nastavíme sinusový průběh.
- d) V programu RC 2000 necháme předešlé nastavení a zapneme měřicí cyklus.
- e) Zkontrolujeme průběh napětí na vstupu (kanál A)



Obr. 66. Průběh napětí na vstupu

- f) Zkontrolujeme průběh napětí na výstupu (kanál B)



Obr. 67. Průběh napětí na výstupu

Pozn. Napětí na výstupu bude obdélníkového průběhu. (Přesáhne-li napětí na vstupu napětí U_{ref} dojde k překlopení komparátoru.)

- g) Pokud průběh napětí souhlasí uložíme projekt pod názvem komp.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

2 VYPRACOVANÉ VZOROVÉ PROTOKOLY

2.1 Úloha č.1 – Usměrňovací dioda

UTB ve Zlíně – Fakulta Technologická	
Vypracoval: Robert Tihlář	Ročník/Skupina: III/10
Předmět: Mikroelektronika	Datum měření: 10.5.2005
Úloha č.: 1	Hodnocení:
Název úlohy: Usměrňovací dioda	

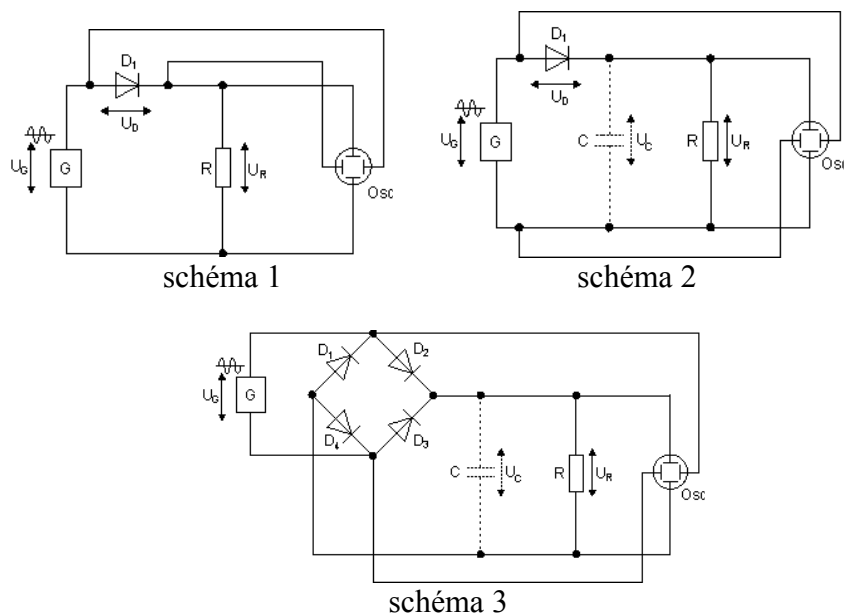
2.1.1 Zadání:

1. Změřte VA charakteristiku usměrňovací diody
 - a) pomocí osciloskopu
 - b) pomocí soustavy RC 2000
2. Ověřte vlastnosti jednocestného usměrňovače
 - a) bez filtračního kondenzátoru
 - b) s filtračním kondenzátorem o malé kapacitě
 - c) s filtračním kondenzátorem o velké kapacitě
3. Ověřte vlastnosti dvoucestného usměrňovače
 - a) bez filtračního kondenzátoru
 - b) s filtračním kondenzátorem o malé kapacitě
 - c) s filtračním kondenzátorem o velké kapacitě

2.1.2 Seznam použitých přístrojů a součástek:

G	generátor harmonického signálu
Osc	analogový osciloskop popř. interface počítače
D	usměrňující dioda
C	filtrační kondenzátor 1 μ F, 5 μ F
R	zatěžovací odpor 1k Ω

2.1.3 Schémata zapojení:



2.1.4 Vypracování:

1 a) Na osciloskopu jsem si ověřil jak vypadá VA charakteristika diody.

1 b) Pomocí měřicí soustavy RC jsem změřil VA charakteristiku diody. Z naměřených dat jsem sestrojil graf č.1 VA charakteristika diody.

Pozn. Data v Excelu se musí přetransformovat tak že se od X-ových souřadnic odečte číslo 128 a celý výsledek se podělí 20 (tj. $\frac{x-128}{20}$). Stejná úprava se musí provést i s Y souřadnicemi. **Tato poznámka platí pro celé měření.**

2 a) Chování jednocestného usměrňovače bez filtračního kondenzátoru je znázorněno v následujícím grafu č.2

2 b) Chování jednocestného usměrňovače s filtračním kondenzátorem o malé kapacitě je znázorněno v grafu č.3.

2 c) Chování jednocestného usměrňovače s filtračním kondenzátorem o velké kapacitě je znázorněno v grafu č. 4

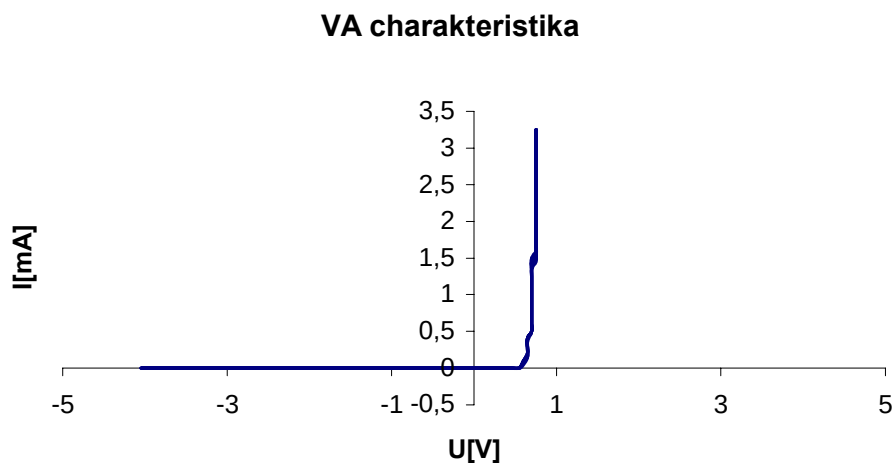
3 a) Chování dvoucestného usměrňovače bez filtračního kondenzátoru je znázorněno v grafu č. 5

3 b) Chování dvoucestného usměrňovače s filtračním kondenzátorem o malé kapacitě je znázorněno v grafu č. 6

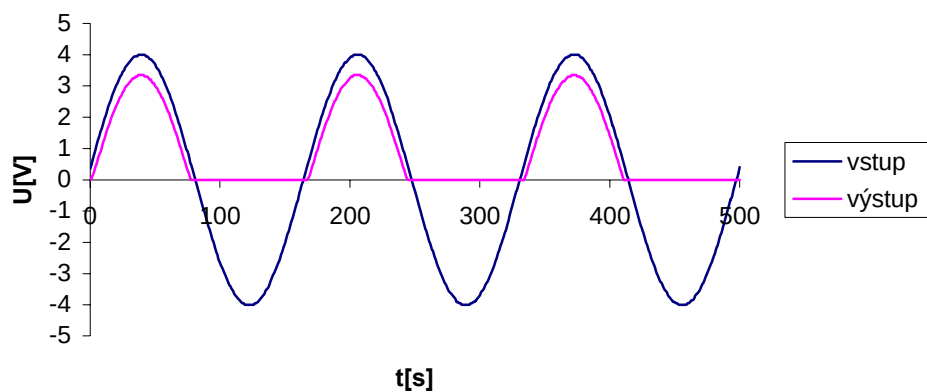
2 a) Chování jednocestného usměrňovače s filtračním kondenzátorem o velké kapacitě je znázorněno v grafu č. 7

2.1.5 Grafy:

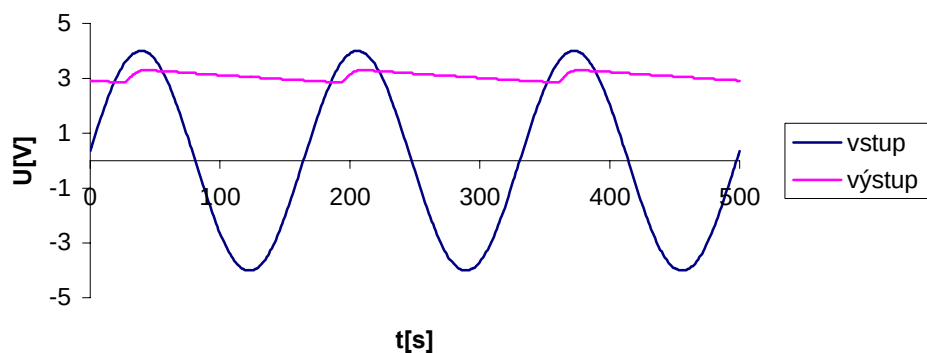
Graf č. 1: VA charakteristika diody



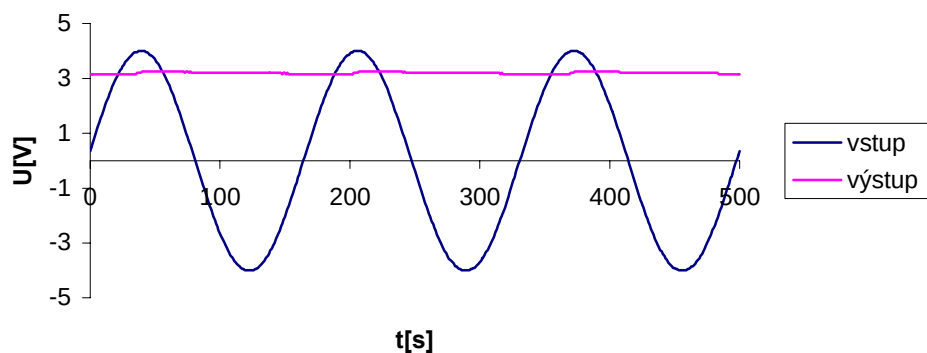
Graf č. 2: Charakteristika jednocestného usměrňovače bez filtračního kondenzátoru

Charakteristika jednocestného usměrňovače

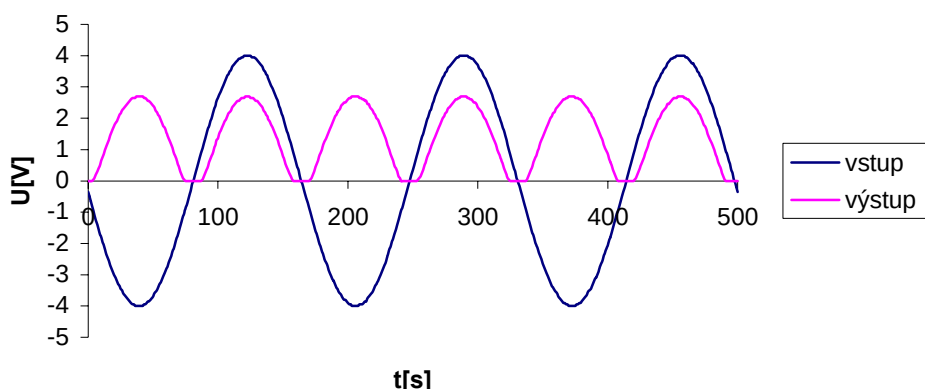
Graf č. 3: Charakteristika jednocestného usměrňovače s kondenzátorem o malé kapacitě

**Charakteristika jednocestného usměrňovače s
kondenzátorem o malé kapacitě**

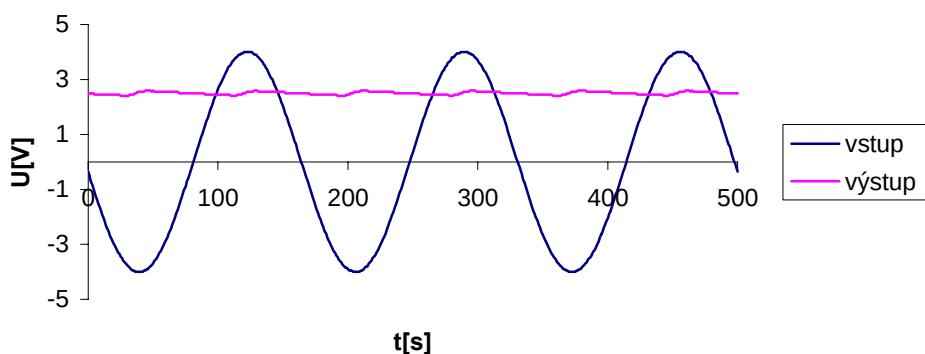
Graf č. 4: Charakteristika jednocestného usměrňovače s kondenzátorem o velké kapacitě

**Charakteristika jednocestného usměrňovače s
kondenzátorem o velké kapacitě**

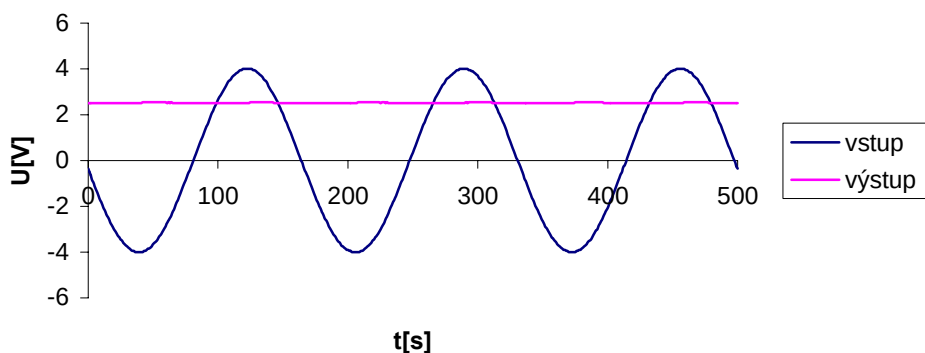
Graf č. 5: Charakteristika dvoucestného usměrňovače bez filtračního kondenzátoru

Charakteristika dvoucestného usměrňovače

Graf č. 6: Charakteristika dvoucestného usměrňovače s kondenzátorem o malé kapacitě

**Charakteristika dvoucestného usměrňovače s
kondenzátorem o malé kapacitě**

Graf č. 7: Charakteristika dvoucestného usměrňovače s kondenzátorem o velké kapacitě

**Charakteristika dvoucestného usměrňovače s
kondenzátorem o velké kapacitě****2.1.6 Zhodnocení výsledků měření:**

V tomto měření jsem si ověřil chování diody v různých usměrňujících zapojeních. V zapojení jednocestného usměrňovače došlo k usměrnění jedné půlvlny. V zapojení dvoucestného usměrňovače došlo k usměrnění obou půlvln tudíž výstupní průběh byl za použití filtračního kondenzátoru téměř lineární.

2.2 Úloha č.2 – Stabilizátor

UTB ve Zlíně – Fakulta Technologická	
Vypracoval: Robert Tihlář	Ročník/Skupina: III/10
Předmět: Mikroelektronika	Datum měření: 12.5.2005
Úloha č.: 2	Hodnocení:
Název úlohy: Stabilizátory	

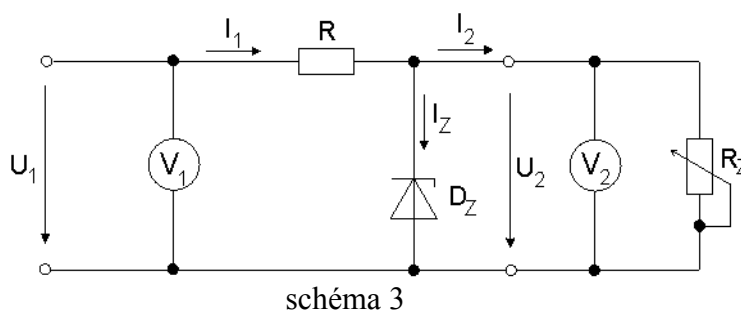
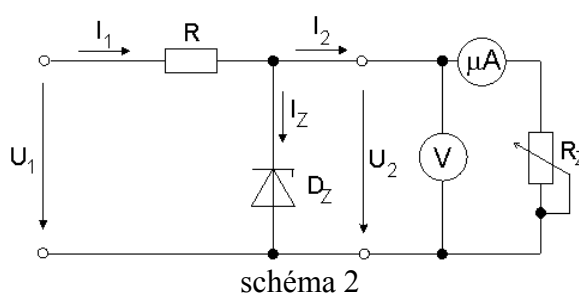
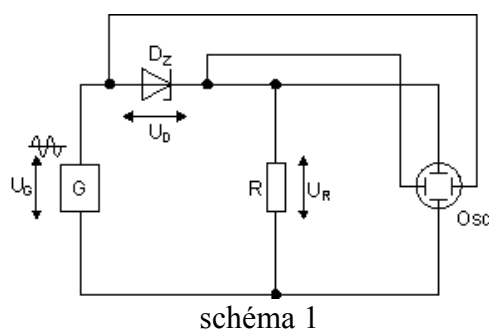
2.2.1 Zadání:

1. Změřte VA charakteristiku Zenerovy diody
2. Změřte zatěžovací charakteristiku stabilizátoru se Zenerovou diodou
3. Změřte převodní charakteristiku stabilizátoru se Zenerovou diodou

2.2.2 Seznam použitých přístrojů a součástek:

G	generátor harmonického signálu
Z_{dr}	stejnoseměrný zdroj
Osc	analogový osciloskop
A_1, A_2	ampérmetr
V_1, V_2	voltmetr
D_Z	Zenerova dioda
R	rezistor 220 Ω
R_Z	zatěžovací odpor 5k Ω

2.2.3 Schémata zapojení:



2.2.4 Vypracování:

1) Na osciloskopu jsem si ověřil jak vypadá VA charakteristika diody a poté jsem ji překreslil.

2) V tomto bodu jsem změřil zatěžovací charakteristiku stabilizátoru se zenerovou diodou.

Naměřené hodnoty:

I_1/mA	U_1/V	$I_2/\mu\text{A}$	U_2/V	$R_z/\text{k}\Omega$
12,93	8,98	0,0064	6,41	999
12,88	8,98	0,0072	6,41	899
12,89	8,98	0,008	6,42	799
12,89	8,98	0,0092	6,42	699
12,88	8,98	0,0107	6,42	599
12,88	8,98	0,0128	6,42	499
12,88	8,98	0,016	6,42	399
12,89	8,98	0,0214	6,42	299
12,89	8,98	0,0322	6,42	199
12,89	8,98	0,0644	6,42	99
12,87	8,98	0,0716	6,42	89
12,88	8,98	0,0808	6,42	79
12,88	8,98	0,0924	6,42	69
12,89	8,98	0,1078	6,42	59
12,89	8,98	0,1297	6,42	49
12,89	8,98	0,1626	6,42	39
12,89	8,98	0,2176	6,42	29
12,89	8,98	0,3294	6,41	19
12,9	8,98	0,676	6,41	9
12,9	8,98	0,756	6,41	8
12,91	8,98	0,856	6,41	7
12,91	8,98	0,986	6,41	6
12,92	8,98	1,166	6,41	5
12,93	8,98	1,424	6,41	4
12,96	8,98	1,83	6,4	3
12,99	8,98	2,558	6,39	2

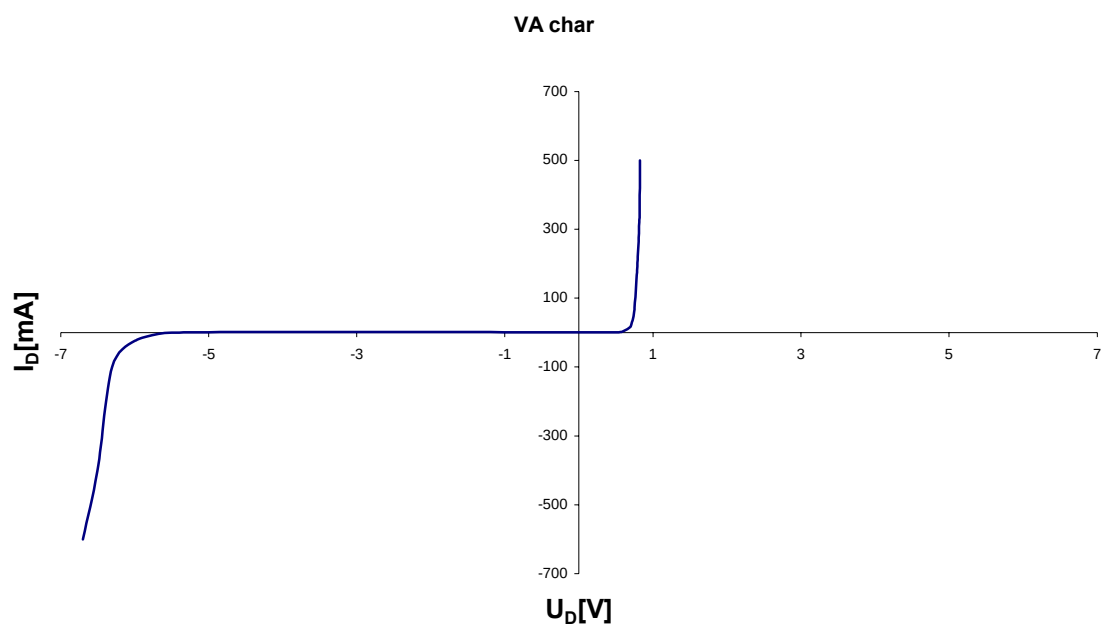
3) V tomto bodu jsem změřil převodní charakteristiku stabilizátoru se zenerovou diodou.

Naměřené hodnoty:

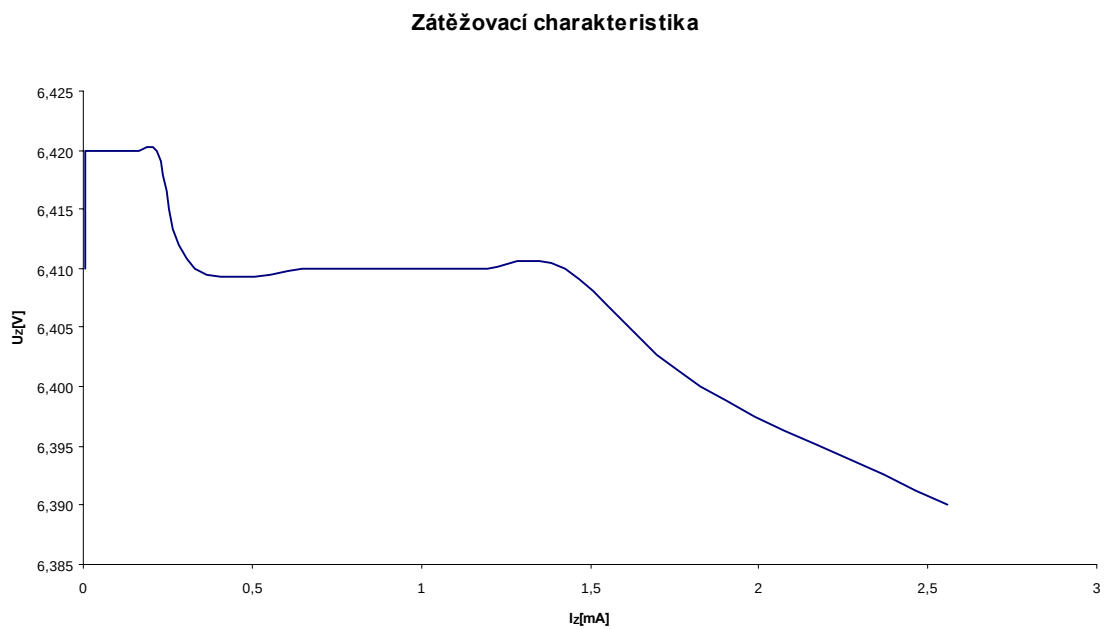
U_1/V	I_1/mA	$I_2/\mu\text{A}$	U_2/V	U_1/V	I_1/mA	$I_2/\mu\text{A}$	U_2/V
0,2	0,04	35	0,192	4	0,7	700	3,847
0,5	0,09	87,4	0,48	4,5	0,79	788	4,33
0,7	0,12	122,4	0,673	5	0,88	876	4,81
1	0,18	174,8	0,962	5,5	0,97	962	5,29
1,2	0,21	209,8	1,154	6	1,06	1050	5,77
1,5	0,27	262,4	1,443	6,5	1,26	1132	6,22
1,7	0,3	297,4	1,635	7	3,29	1142	6,27
2	0,34	349,8	1,924	7,5	5,39	1146	6,3
2,5	0,43	438	2,405	8	7,52	1152	6,33
3	0,52	526	2,886	8,49	9,66	1156	6,36
3,49	0,61	612	3,366	9	11,78	1162	6,38

2.2.5 Grafy:

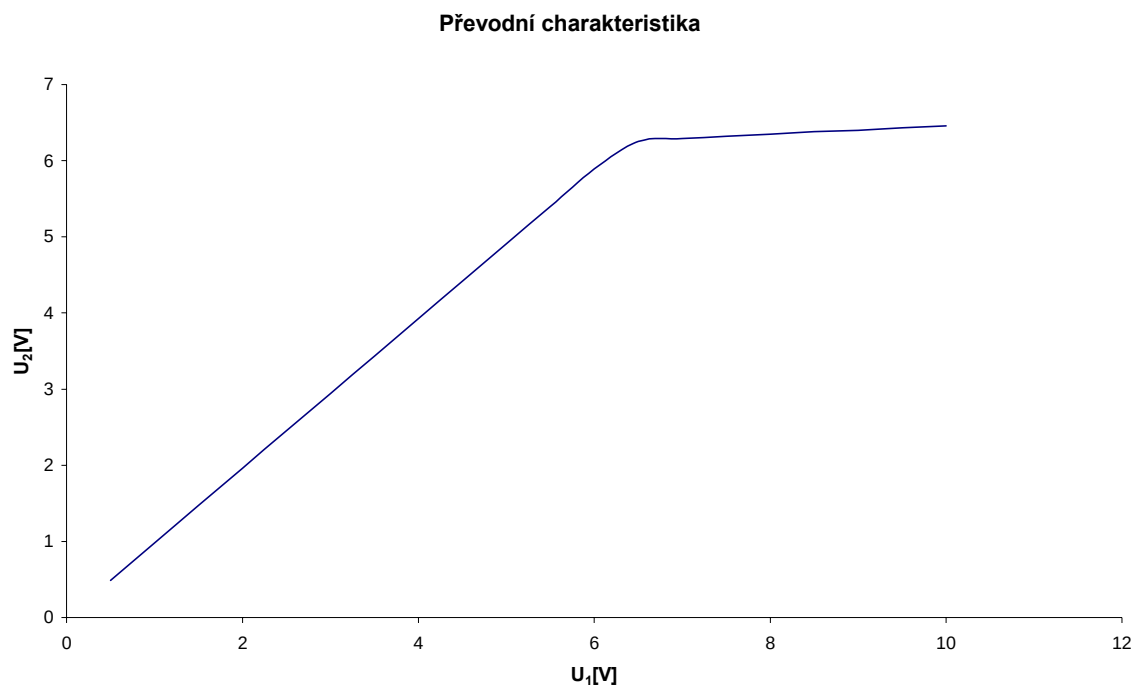
Graf č.1: VA charakteristika zenerovy diody



Graf č.2: Zatěžovací charakteristika stabilizátoru



Graf č.3: Převodní charakteristika stabilizátoru



2.2.6 Zhodnocení výsledků měření:

V tomto měření jsem si ověřil chování zenerovy diody v zapojení stabilizátoru. U zatěžovací křivky je vidět jak se liší reálný průběh od ideálního. Ideální tvar poslední části průběhu by byl hladká sestupná křivka.

2.3 Úloha č.3 – Bipolární tranzistor

UTB ve Zlíně – Fakulta Technologická	
Vypracoval: Robert Tihlář	Ročník/Skupina: III/10
Předmět: Mikroelektronika	Datum měření: 14.5.2005
Úloha č.: 3	Hodnocení:
Název úlohy: Bipolární tranzistor	

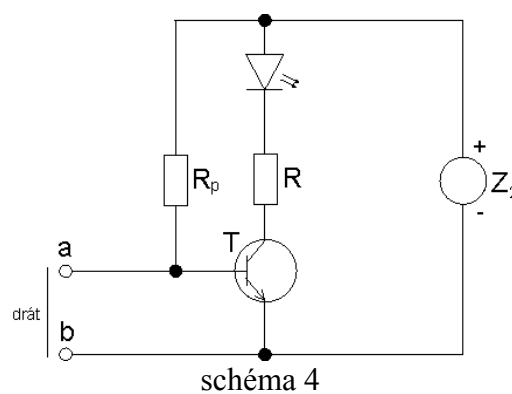
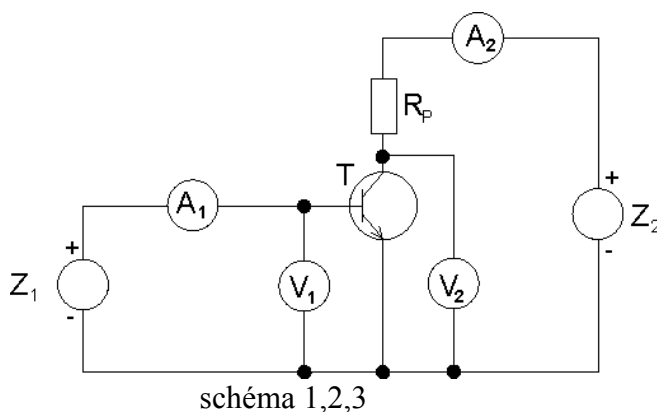
2.3.1 Zadání:

1. Změřte vstupní charakteristiku bipolárního tranzistoru
2. Změřte převodovou charakteristiku bipolárního tranzistoru
3. Změřte výstupní charakteristiku bipolárního tranzistoru
4. Zapojte bipolární tranzistor ve funkci spínače

2.3.2 Seznam použitých přístrojů a součástek:

Z_1	stejnoseměrný zdroj
Z_2	napájení ze základní desky RC (cca 5,2V)
A_1, A_2	ampérmetr
V_1, V_2	voltmetr
T	bipolární tranzistor
R	rezistor 120Ω
R_p	proměnný rezistor
LED	svítivá dioda LED

2.3.3 Schémata zapojení:



2.3.4 Vypracování:

1) V tomto bodu jsem změřil vstupní charakteristiku bipolárního tranzistoru. Z naměřených dat v tabulce jsem sestrojil graf č.1.

Naměřené hodnoty:

Pro $U_{CE}=1V$ a $R=534\Omega$				Pro $U_{CE}=2V$ a $R=204\Omega$			
$I_b/\mu A$	U_{be}/mV	I_c/mA	U_{ce}/V	$I_b/\mu A$	U_{be}/mV	I_c/mA	U_{ce}/V
0	0	0	5,34	0	0	0,03	5,34
0	300	0,03	5,34	0	300	0,02	5,34
0	500	0,03	5,34	0	500	0,02	5,34
0,6	600	0,13	5,28	0,6	600	0,14	5,32
3,4	649	0,83	4,9	3,6	649	0,87	5,17
15,2	695	3,75	3,3133	5	658	1,24	5,09
19,4	701	4,68	2,835	7	667	1,74	4,99
23,8	709	5,66	2,315	9,8	676	2,36	4,86
28,2	716	6,65	1,876	12,8	684	3,18	4,69
32,8	724	7,56	1,301	16,8	692	4,15	4,49
40	730	7,87	1,123	26	708	6,38	4,03
71,4	745	7,96	1,07	37	722	8,98	3,497
94,2	753	7,99	1,058	49,2	736	11,6	2,968
153,4	774	8,04	1,04	61,2	750	13,98	2,477
214,8	793	8,07	1,03	76,2	762	15,46	2,171
341,8	829	8,07	1	129,2	786	15,97	2,056
470	865	8,07	1,013	189,4	806	16,07	2,037
600	899	8,06	1,009	316,4	842	16,18	2,02
732	932	8,07	1,006	444	877	16,19	2,012
864	965	8,08	1,003	576	911	16,25	2,007
998	998	8,11	1,002	708	944	16,26	2,003
				842	977	16,28	2,001
				976	1009	16,29	1,999

2) V tomto bodu jsem změřil převodovou charakteristiku bipolárního tranzistoru. Naměřená data jsou uvedena v předchozím bodě. Z naměřených dat jsem sestrojil graf č.2.

3) V tomto bodu jsem změřil výstupní charakteristiku bipolárního tranzistoru a výsledný průběh z naměřených dat jsem uvedl v grafu č.3.

Naměřené hodnoty:

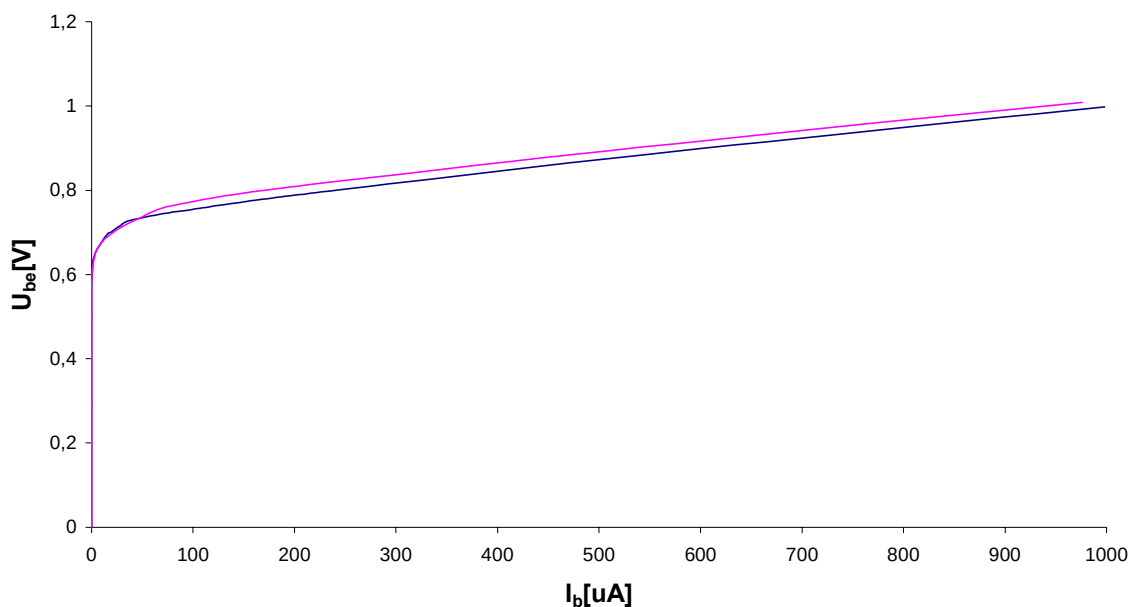
R	20uA		40uA	
	Ic/mA	Uce/V	Ic/mA	Uce/V
30	5,38	5,17	10,86	5
70	5,36	4,96	10,87	4,57
120	5,29	4,7	10,63	4,05
170	5,19	4,45	10,28	3,58
220	5,08	4,21	9,97	3,13
270	5,06	3,97	9,75	2,712
320	4,99	3,746	9,4	2,321
370	4,89	3,53	9,18	1,945
420	4,86	3,305	8,93	1,569
470	4,77	3,106	8,57	1,313
520	4,69	2,901	8,04	1,161
570	4,64	2,703	7,51	1,063
620	4,57	2,515	7,01	0,987
670	4,53	2,313	6,6	0,924
720	4,5	2,114	6,17	0,869
770	4,4	1,929	5,88	0,821
820	4,38	1,742	5,57	0,778
870	4,36	1,562	5,29	0,74
920	4,28	1,391	5,05	0,706
970	4,27	1,208	4,83	0,675
1020	4,25	1,019	4,62	0,648

4) V tomto bodu jsem změřil chování diody jako spínače.

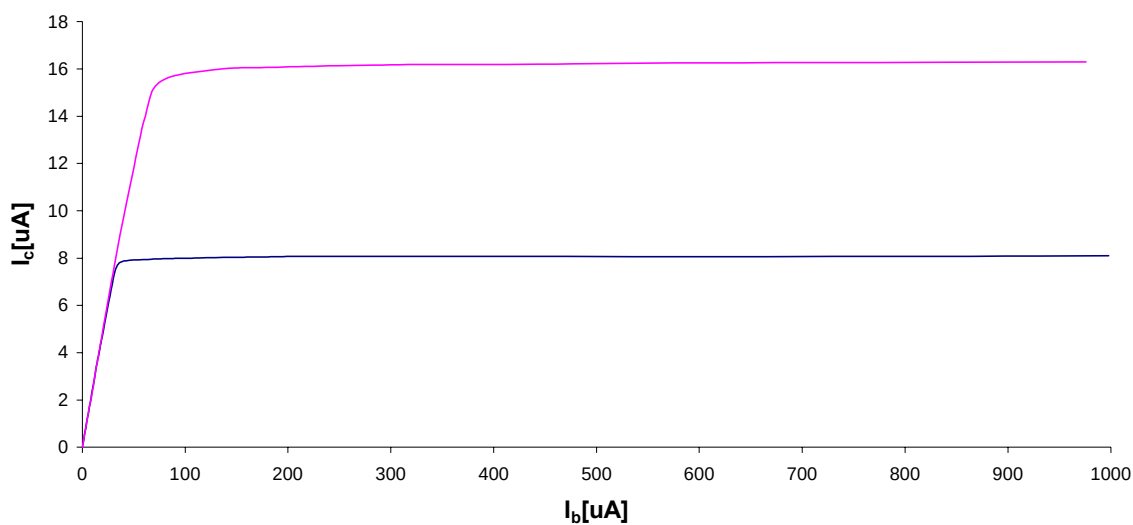
2.3.5 Grafy:

Graf č.1: Vstupní charakteristika bipolárního tranzistoru

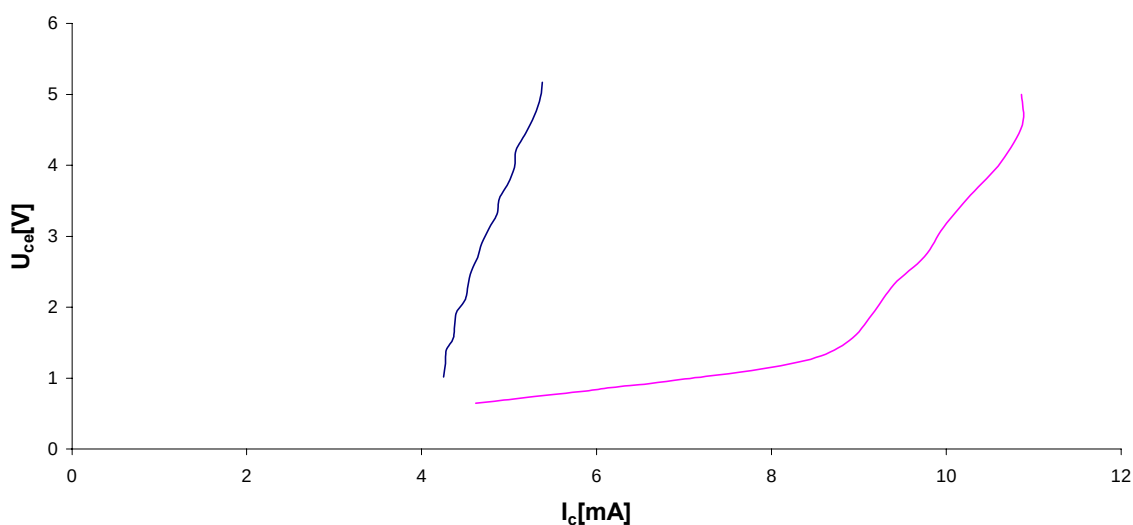
Vstupní charakteristika



Graf č.2: Převodová charakteristika bipolárního tranzistoru

Přechodová charakteristika

Graf č.3: Výstupní charakteristika bipolárního tranzistoru

Výstupní charakteristika**2.3.6 Zhodnocení výsledků měření:**

Tranzistor pracoval podle očekávání a všechny charakteristiky odpovídají skutečnosti. Jako spínač pracoval tranzistor také správně. Při zkratovaném vstupu dioda zhasla jinak svítila.

2.4 Úloha č.4 – Optoelektrické vazbové členy

UTB ve Zlíně – Fakulta Technologická	
Vypracoval: Robert Tihlář	Ročník/Skupina: III/10
Předmět: Mikroelektronika	Datum měření: 16.5.2005
Úloha č.: 4	Hodnocení:
Název úlohy: Optoelektrické vazbové členy	

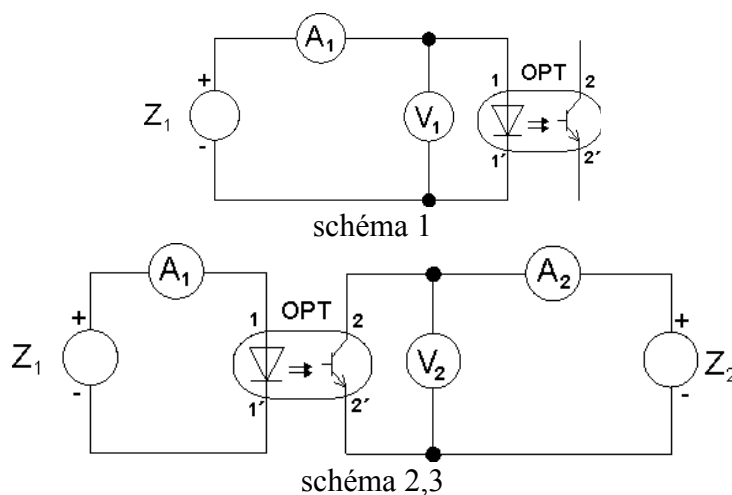
2.4.1 Zadání:

1. Změřte vstupní charakteristiku optoelektronického vazbového členu
2. Změřte výstupní charakteristiku optoelektronického vazbového členu
3. Změřte převodní charakteristiku optoelektronického vazbového členu

2.4.2 Seznam použitých přístrojů a součástek:

Z_1, Z_2 stejnosměrný zdroj
 A_1, A_2 ampérmetr
 V_1, V_2 voltmetr
 OPT optron

2.4.3 Schémata zapojení:



2.4.4 Vypracování:

1) V tomto bodu jsem změřil vstupní charakteristiku optoelektronického vazbového členu. Z naměřených dat jsem sestavil graf č.1.

Naměřené hodnoty:

U[V]	I[mA]	U[V]	I[mA]
0,85	0,02	1,161	7,12
0,9	0,04	1,191	10,6
0,95	0,12	1,202	12,28
1	0,38	1,218	14,7
1,026	0,72	1,23	17,56
1,045	1,02	1,243	19,32
1,088	2,3	1,255	22,46
1,126	4,34	1,264	24,38
1,14	5,42		

2) V tomto bodu jsem změřil výstupní charakteristiku optoelektronického členu. Z naměřených dat jsem sestrojil graf č.2.

Naměřené hodnoty:

U[V]	I[mA]	U[V]	I[mA]	U[V]	I[mA]	U[V]	I[mA]
0,1	0,02	0,1	0,06	0,1	0,1	0,1	0,12
0,199	0,14	0,198	0,36	0,197	0,58	0,195	0,76
0,299	0,16	0,297	0,46	0,295	0,84	0,293	1,24
0,399	0,16	0,397	0,46	0,395	0,86	0,393	1,32
0,5	0,17	0,498	0,48	0,495	0,86	0,493	1,34
0,8	0,18	0,8	0,48	0,8	0,88	0,594	1,34
0,7	0,18	0,7	0,48	0,7	0,88	0,693	1,36
0,8	0,18	0,8	0,48	0,8	0,88	0,797	1,38
1,3	0,18	1,3	0,48	1,3	0,88	1,394	1,4
2	0,18	2	0,48	2	0,88	2	1,4

3) V tomto bodu jsem změřil převodní charakteristiku optoelektronického vazbového členu. Z naměřených dat jsem sestrojil graf č.3.

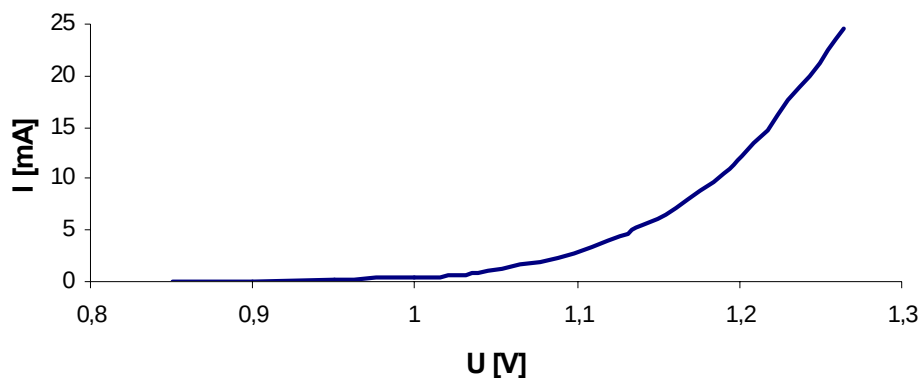
Naměřené hodnoty:

U[V]	I[mA]	U[V]	I[mA]
0,1	0	0,1	0
1	0,02	1	0,02
4,14	0,14	4,14	0,14
7,2	0,3	7,2	0,3
10,7	0,52	10,7	0,54
13,14	0,72	13,14	0,74
16,66	1,02	16,66	1,04
19,52	1,3	19,52	1,34
22,56	1,64	22,56	1,8
24,68	1,9	24,68	1,94

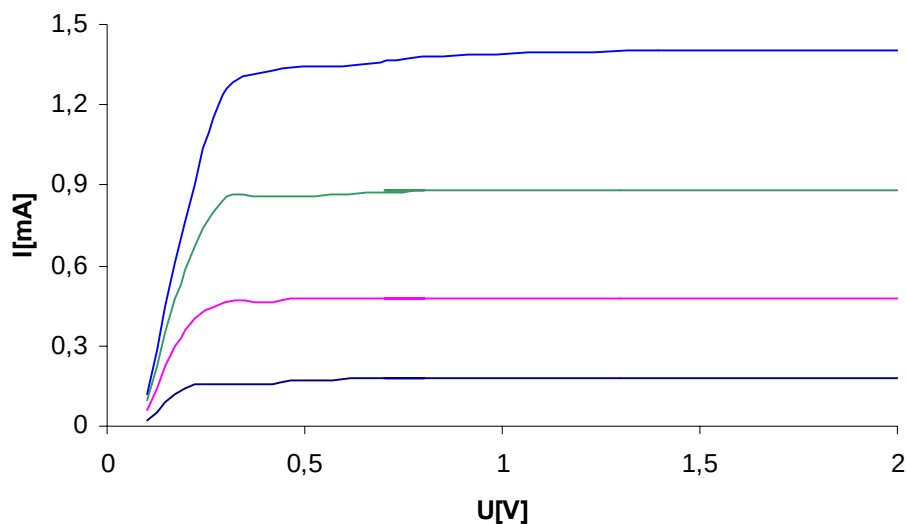
2.4.5 Graf:

Graf č.1: Vstupní charakteristika optoelektronického vazbového členu

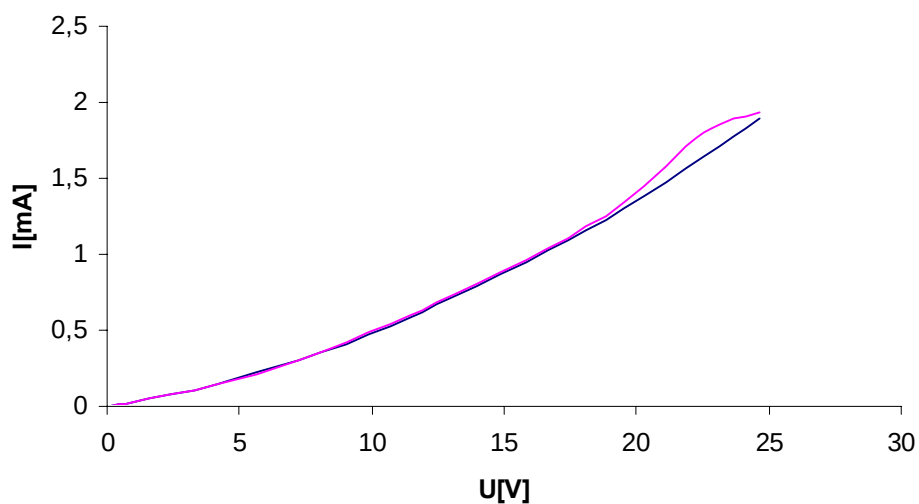
Vstupní charakteristika optoelektronického vazbového členu



Graf č.2: Výstupní charakteristika optoelektronického vazbového členu

**Výstupní charakteristika optoelektronického
vazbového členu**

Graf č.3: Převodní charakteristika optoelektronického vazbového členu

**Převodní charakteristika optoelektronického
vazbového členu****2.4.6 Zhodnocení výsledků měření:**

Měřením jsem si ověřil chování optoelektronického vazbového členu neboli optronu. Měřením jsem zjistil že převodní charakteristika se pro různá napětí U_{CE} téměř nemění.

2.5 Úloha č.5 – Operační zesilovače I.

UTB ve Zlíně – Fakulta Technologická	
Vypracoval: Robert Tihlář	Ročník/Skupina: III/10
Předmět: Mikroelektronika	Datum měření: 18.5.2005
Úloha č.: 5	Hodnocení:
Název úlohy: Operační zesilovače I.	

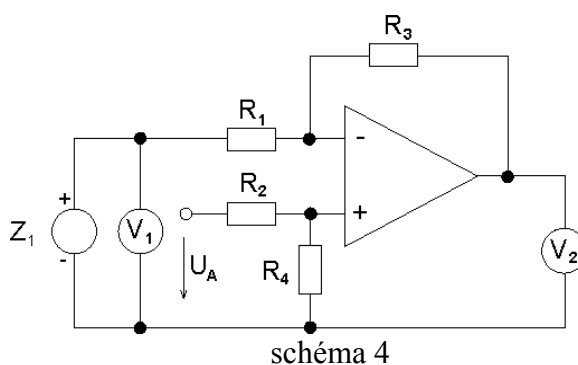
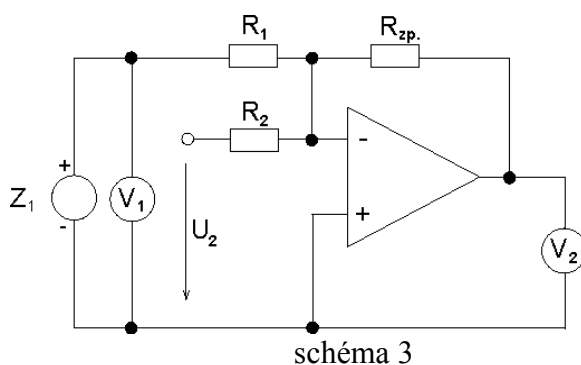
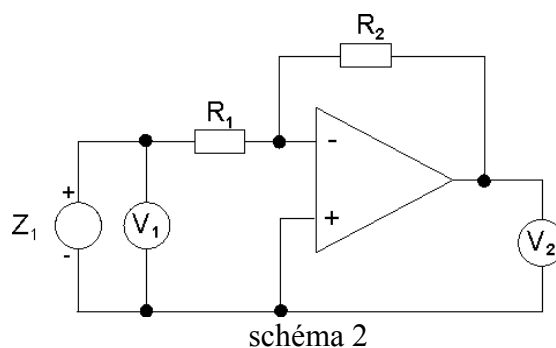
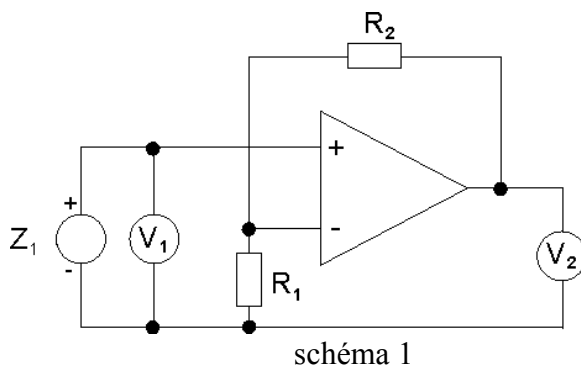
2.5.1 Zadání:

1. Změřte napěťové zesílení operačního zesilovače v neinvertujícím zapojení
2. Změřte napěťové zesílení operačního zesilovače v invertujícím zapojení
3. Ověřte vlastnosti invertujícího součtového zesilovače
4. Ověřte vlastnosti invertujícího rozdílového zesilovače

2.5.2 Seznam použitých přístrojů a součástek:

Z_1	stejnoseměrný zdroj
V_1, V_2	voltmetr
OZ	operační zesilovač
R_1, R_2	rezistor k Ω dekáda RC

2.5.3 Schémata zapojení:



2.5.4 Vypracování:

1) V tomto bodu jsem změřil průběh napětí neinvertujícího operačního zesilovače. Z naměřených hodnot jsem sestrojil graf č.1.

Naměřené hodnoty:

Pro A=3 a $R_1=1k\Omega$ $R_2=2k\Omega$				Pro A=6 a $R_1=2k\Omega$ $R_2=10k\Omega$			
$U_1[V]$	$U_2[V]$	$U_1[V]$	$U_2[V]$	$U_1[V]$	$U_2[V]$	$U_1[V]$	$U_2[V]$
0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	1,502	-0,5	-1,5	0,5	3,005	-0,5	-3,00
1	3,005	-1	-3,004	1	5,98	-1	-5,99
1,5	4,48	-1,5	-4,49	1,5	7,07	-1,5	-7,16
2	5,98	-2	-5,99	2	7,07	-2	-7,16
2,5	6,98	-2,5	-7,07	2,5	7,07	-2,5	-7,16
3	6,98	-3	-7,07	3	7,07	-3	-7,16

2) V tomto bodu jsem změřil průběh napětí invertujícího operačního zesilovače. Z naměřených hodnot jsem sestrojil graf č.2.

Naměřené hodnoty:

Pro A=-2 a $R_1=1k\Omega$ $R_2=2k\Omega$				Pro A=-5 a $R_1=2k\Omega$ $R_2=10k\Omega$			
$U_1[V]$	$U_2[V]$	$U_1[V]$	$U_2[V]$	$U_1[V]$	$U_2[V]$	$U_1[V]$	$U_2[V]$
0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	-1,001	-0,5	1,001	0,5	-2,503	-0,5	2,50
1	-2,002	-1	2,003	1	-4,99	-1	4,98
1,5	-3,004	-1,5	3,004	1,5	7,16	-1,5	7,07
2	-3,99	-2	3,98	2	7,15	-2	7,07
2,5	-4,99	-2,5	4,98	2,5	7,16	-2,5	7,06
3	-5,99	-3	5,98	3	7,16	-3	7,07
3,5	-6,98	-3,5	6,8	3,5	7,15	-3,5	7,07
4	-7,01	-4	6,8	4	7,16	-4	7,07
4,5	-7,01	-4,5	6,79	4,5	7,16	-4,5	7,07

3) V tomto bodu jsem změřil průběh napětí invertujícího součtového zesilovače. Z naměřených hodnot jsem sestrojil graf č.3.

Naměřené hodnoty:

	$R_0=1k\Omega$	$R_1=1k\Omega$	$R_2=1k\Omega$								
$U_1 [V]$	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,5	2	2,2	2,5
$U_0 [V]$	-5,21	-5,41	-5,61	-5,81	-6,01	-6,21	-6,4	-6,48	-6,74	-6,75	-6,74

4) V tomto bodu jsem změřil průběh napětí invertujícího rozdílového zesilovače. Z naměřených hodnot jsem sestrojil graf č.4.

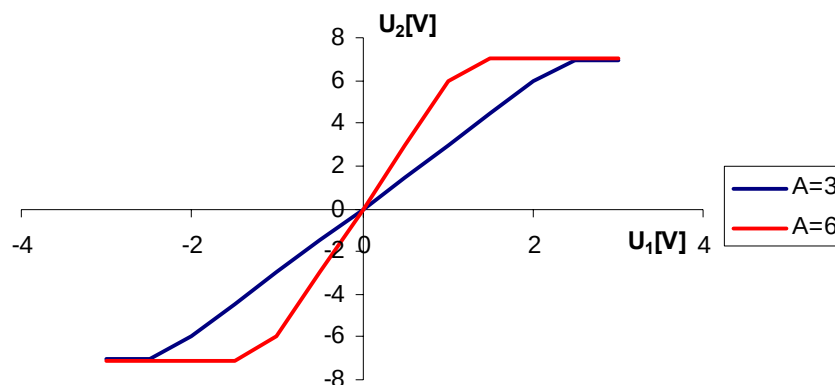
Naměřené hodnoty:

Pro $R_1=1k\Omega$ $R_2=2k\Omega$ $R_0=2k\Omega$			
$U_1[V]$	$U_2[V]$	$U_1[V]$	$U_2[V]$
0	5,010	4.2	0,824
0.3	4,700	4.5	0,523
0.6	4,400	4.8	0,224
0.9	4,100	5.1	-0,076
1.2	3,810	5.4	-0,377
1.5	3,528	5.7	-0,677
1.8	3,228	6	-0,978
2.1	2,928	6.3	-1,278
2.4	2,627	6.6	-1,579
2.7	2,327	6.9	-1,879
3	2,026	7.2	-2,180
3.3	1,726	7.5	-2,480
3.6	1,425	7.8	-2,782
3.9	1,124	8	-2,982

2.5.5 Grafy:

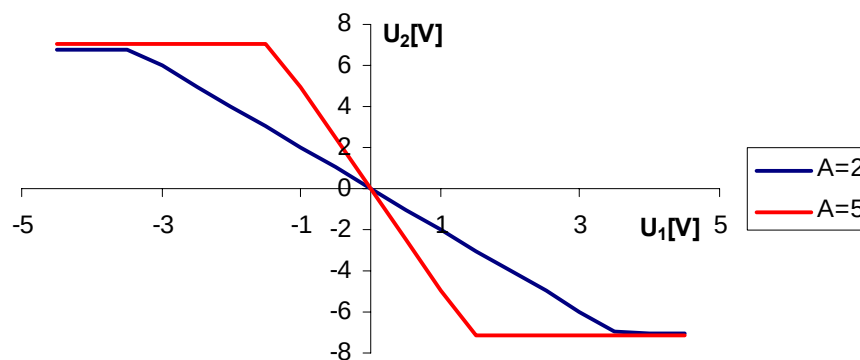
Graf č.1: Charakteristika operačního zesilovače v neinvertujícím zapojení

Charakteristika neinvertujícího zesilovače



Graf č.2: Charakteristika operačního zesilovače v invertujícím zapojení

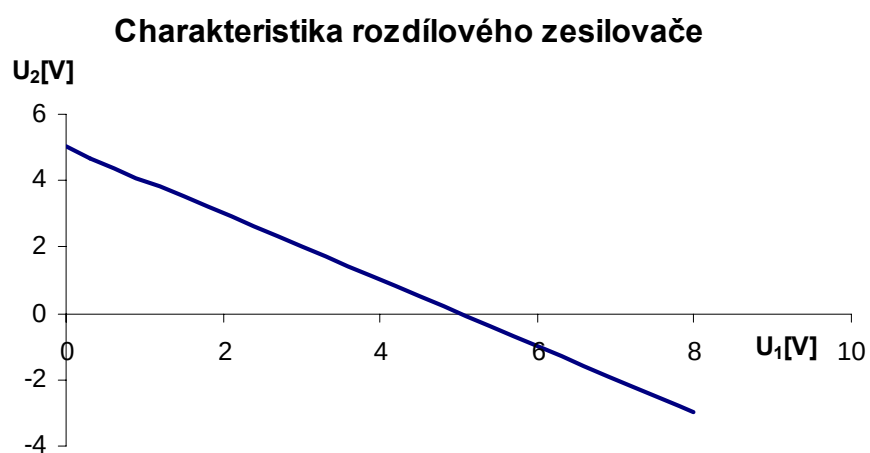
Charakteristika invertujícího zesilovače



Graf č.3: Charakteristika invertujícího součtového zesilovače



Graf č.4: Charakteristika invertujícího rozdílového zesilovače



2.5.6 Zhodnocení výsledků měření:

Měřením jsem si ověřil chování operačního zesilovače v různých zapojeních. Operační zesilovač pracoval podle očekávání a při vyšším vstupním napětí docházelo k saturaci výstupu.

2.6 Úloha č.6 – Operační zesilovače II.

UTB ve Zlíně – Fakulta Technologická	
Vypracoval: Robert Tihlář	Ročník/Skupina: III/10
Předmět: Mikroelektronika	Datum měření: 20.5.2005
Úloha č.: 6	Hodnocení:
Název úlohy: Operační zesilovače II.	

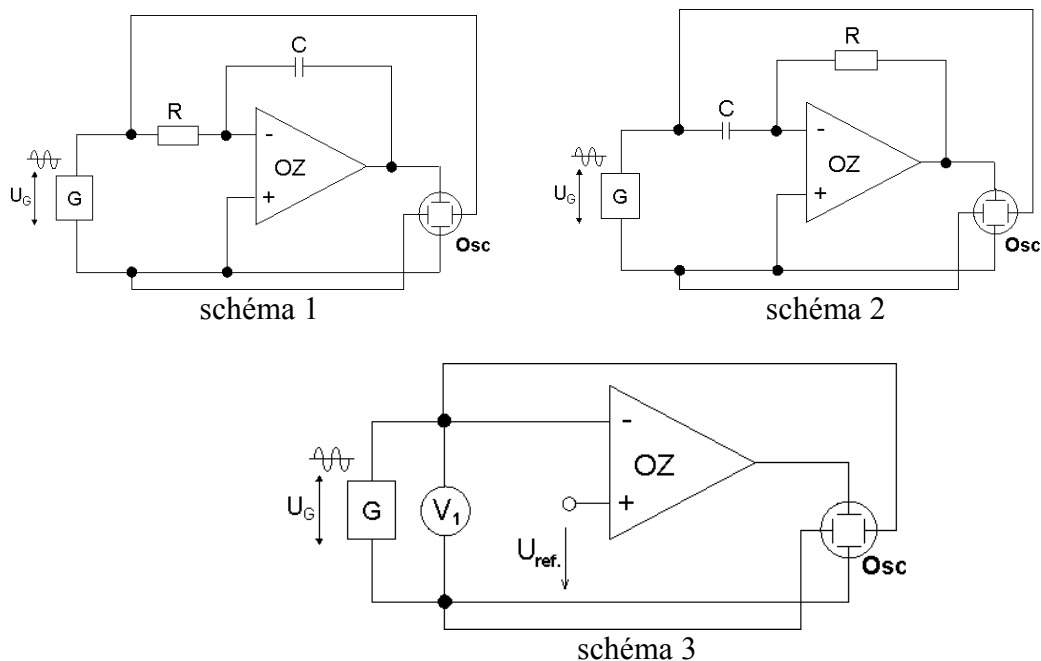
2.6.1 Zadání:

1. Ověřte funkci operačního zesilovače ve funkci integrátoru
2. Ověřte funkci operačního zesilovače ve funkci derivátoru
3. Ověřte funkci operačního zesilovače ve funkci napětřového komparátoru

2.6.2 Seznam použitých přístrojů a součástek:

Z_1	střídavý zdroj
Osc	osciloskop
OZ	operační zesilovač
C	kondenzátor nF dekáda RC
R	rezistor Ω dekáda

2.6.3 Schémata zapojení:



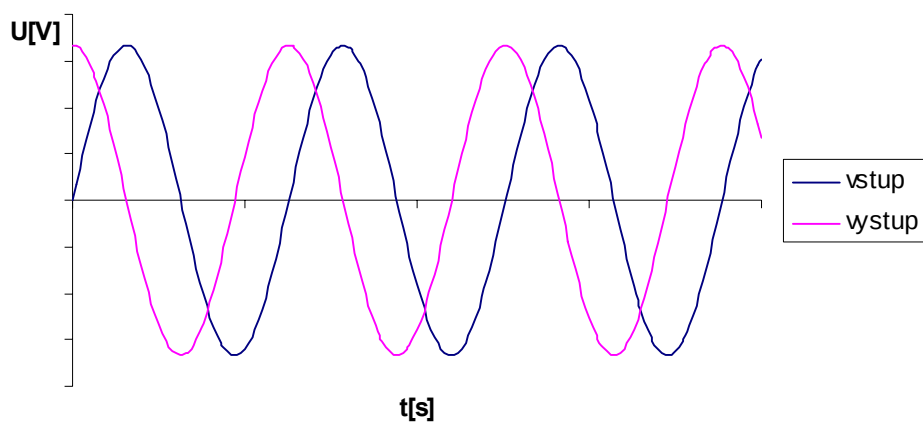
2.6.4 Vypracování:

- 1) V tomto bodu jsem změřil operační zesilovač ve funkci integrátoru. Výsledný průběh na osciloskopu jsem nakreslil viz. graf č.1 a graf č.2
- 2) V tomto bodu jsem změřil operační zesilovač ve funkci derivátoru. Výsledný průběh na osciloskopu jsem nakreslil viz graf č.3 a graf č.4
- 3) V tomto bodu jsem změřil operační zesilovač ve funkci napětřového komparátoru. Výsledný průběh na osciloskopu jsem nakreslil viz graf č.5

2.6.5 Grafy:

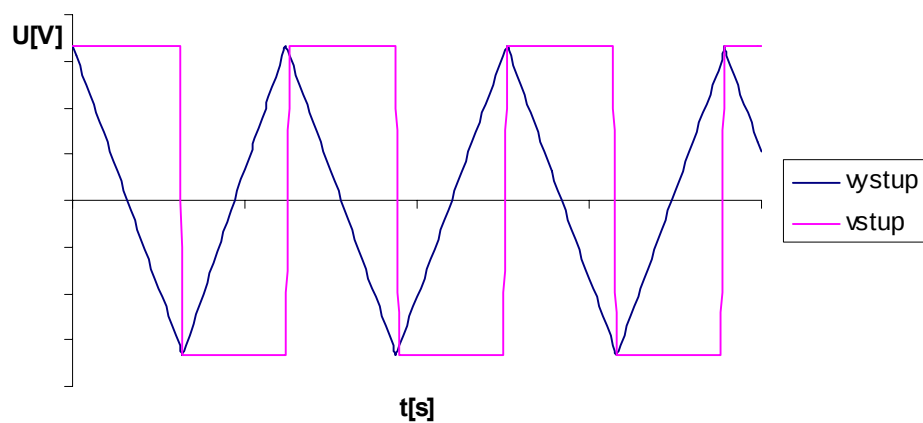
Graf č.1: Průběhy napětí na integrátoru pro sinusový signál na vstupu

Průběh napětí pro sinusový vstup



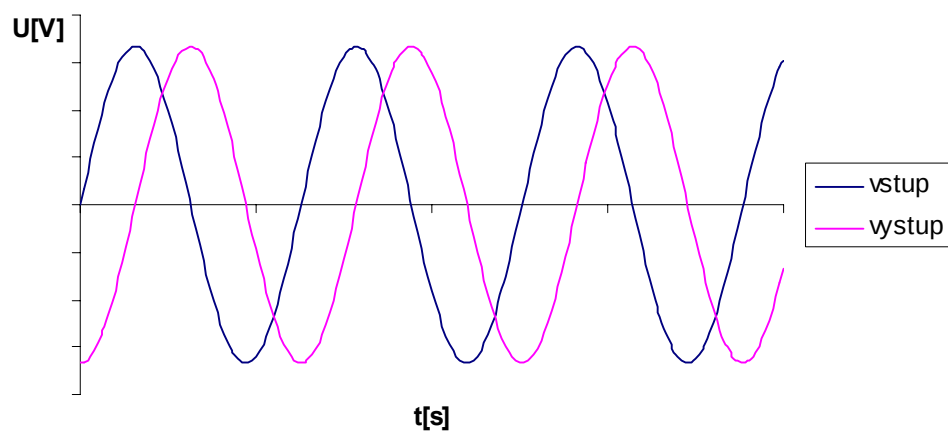
Graf č.2: Průběhy napětí na integrátoru pro obdélníkový signál na vstupu

Průběh napětí pro obdelníkový vstup

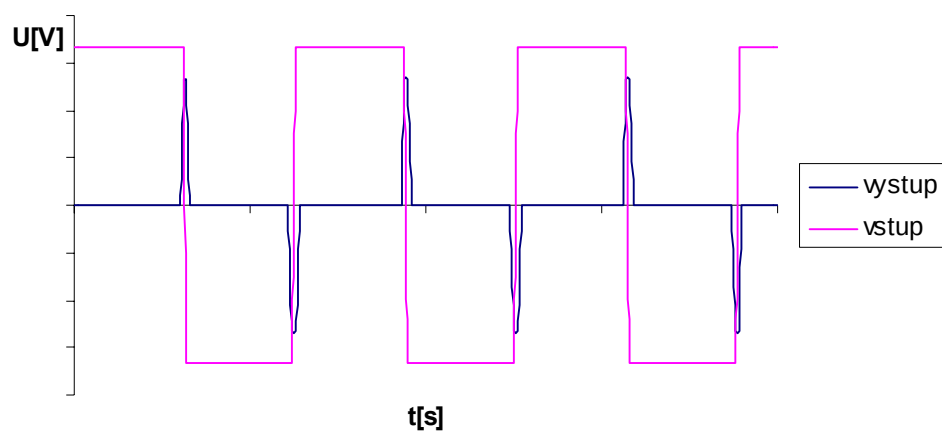


Graf č.3: Průběhy napětí na derivátoru pro sinusový signál na vstupu

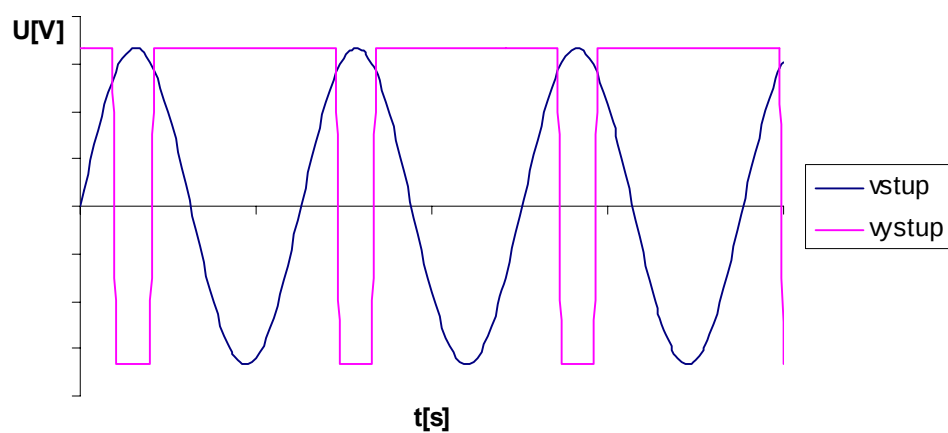
Průběh napětí pro sinusový vstup



Graf č.4: Průběhy napětí na derivátoru pro obdélníkový signál na vstupu

Průběh napětí pro obdelníkový vstup

Graf č.5: Průběh napětí na komparátoru pro sinusový vstupní signál

Průběh napětí pro sinusový vstup**2.6.6 Zhodnocení výsledků měření:**

Měřením jsem si ověřil chování různých zapojení operačního zesilovače ve funkci generátoru průběhu.

ZÁVĚR

V této bakalářské práci byl proveden návrh a příprava laboratorních měření pro předmět Mikroelektronika na Fakultě technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Práce byla pro přehlednost rozdělena na kapitoly obsahující jednotlivá zadání laboratorních úloh s podrobnými návody jednotlivých laboratorních cvičení. V návodech obsažené informace, mají přispět k přiblížení a objasnění každé laboratorní úlohy. Jednotlivé úlohy byly zaměřeny na praktické seznámení s usměrňovací diodou, zenerovou diodou, bipolárním tranzistorem, optočlenem a operačním zesilovačem.

Laboratorní úloha zaměřená na usměrňovací diodu má za cíl obeznámit studenty s principy a chováním usměrňující diody v zapojeních jednocestného a dvoucestného usměrňovače. Laboratorní úloha pojednávající o zenerově diodě obeznámí studenty s principem stabilizátorů napětí. Třetí laboratorní úloha na téma bipolární tranzistory seznámí studenty s chováním tranzistoru jako zesilovače a spínače. Studenti mohou porovnat charakteristiky tranzistoru reálně změřené s učebnicovými. Čtvrtou úlohou je měření chování optoelektronických vazbových prvků. Při tomto měření studenti ověří chování tranzistoru řízeného světlem (optron) a naměří jeho charakteristiky. V posledních dvou úlohách budou seznámeni s principem jednoho z nejdůležitějších prvků elektrických obvodů mikroelektroniky - operačním zesilovačem. Studenti si vyzkouší jak jeho zesilující schopnosti tak i reakce na různé druhy signálů na jeho vstupech - sestrojí např. generátor obdélníkového průběhu.

Cílem této práce bylo pomocí dostupných zdrojů navrhnout a připravit laboratorní úlohy co nejsrozumitelnějším způsobem, tak aby studenti na základě experimentů prováděných v laboratořích dospěli k obohacení svých znalostí a praktických dovedností v oboru Mikroelektronika.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MAŤÁTKO, J. Elektronika. 4. vyd., Praha: Idea servis, 1997. 271 s. ISBN:80-85970-20-1
- [2] VOBECKÝ, J., ZÁHLAVA, V. Elektronika, 2. vyd., Praha: Grada, 2001. 192s. ISBN:80 – 7169 – 884 – 9
- [3] JANÁČOVÁ, D. Návod k laboratorním úlohám z předmětu Řízení technologických procesů. 1. vyd., Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2001. 65 s. ISBN: 80-7318-042-1.
- [4] MALINA, V. Poznáváme elektroniku I. 3. vyd., České Budějovice: KOPP, 1998. 222 s. ISBN:80-7232-039-4
- [5] MALINA, V. Poznáváme elektroniku II. 1. vyd., České Budějovice: KOPP, 1998. 200 s. ISBN:80-85828-87-1
- [6] MALINA, V. Poznáváme elektroniku III. 1. vyd., České Budějovice: KOPP, 1998. 244 s. ISBN:80-85828-87-1
- [7] MALINA, V. Poznáváme elektroniku VI. 1. vyd., České Budějovice: KOPP, 2002. 287 s. ISBN:80-7232-146-3
- [8] PUNČOCHÁŘ, J. Operační zesilovače 1.vyd., Praha: BEN, 2002. 68 s. ISBN:80-7300-047-4
- [9] Přednášky předmětu Mikroelektronika na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně pro obor Automatické řízení a informatika
- [10] LÁNÍČEK, R. Elektronika obvodu, součástky, děje. 1. vyd., Praha: BEN, 2002. 480 s. ISBN:80-86056-25-2
- [11] KESL, J. Elektronika I – analogová technika. 2.vyd., Praha: BEN, 2004. 120 s. ISBN: 80-7300-143-8
- [12] PEČEK, J. Elektronika v kostce. 1. vyd., Praha: BEN, 2002. 112 s. ISBN: 80-86056-80-5

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. VA charakteristika usměrňovací diody	9
Obr. 2. Schémata usměrňovačů	10
Obr. 3. Zapojení elektrického obvodu pro měření VA charakteristiky	11
Obr. 4. Připojení zemnicích svorek	12
Obr. 5. Průběh napětí na diodě	12
Obr. 6. Průběh napětí na zatěžovacím rezistoru	12
Obr. 7. VA charakteristika diody	13
Obr. 8. Prostředí RC 2000	14
Obr. 9. Zapojení elektrického obvodu pro měření jednocestného usměrňovače	14
Obr. 10. Průběh napětí na jednocestném usměrňovači bez filtračního kondenzátoru	15
Obr. 11. Průběh napětí na jednocestném usměrňovači s kondenzátorem o malé kapacitě ..	15
Obr. 12. Průběh napětí na jednocestném usměrňovači s kondenzátorem o velké kapacitě ..	16
Obr. 13. Zapojení elektrického obvodu pro měření dvoucestného usměrňovače	16
Obr. 14. Průběh napětí na dvoucestném usměrňovači bez filtračního kondenzátoru	17
Obr. 15. Průběh napětí na dvoucestném usměrňovači s kondenzátorem o malé kapacitě ..	17
Obr. 16. Průběh napětí na dvoucestném usměrňovači s kondenzátorem o velké kapacitě ..	17
Obr. 17. Stabilizátor se Zenerovou diodou	19
Obr. 18. VA charakteristika Zenerovy diody	19
Obr. 19. Zapojení integrovaného stabilizátoru	20
Obr. 20. Zapojení elektrického obvodu pro měření VA charakteristiky zenerovy diody ...	21
Obr. 21. Připojení zemnicích svorek	21
Obr. 22. Průběh napětí na zenerově diodě	22
Obr. 23. Průběh napětí na zatěžovacím rezistoru	22
Obr. 24. VA charakteristika zenerovy diody	22
Obr. 25. Zapojení elektrického obvodu pro měření zatěžovací charakteristiky	23
Obr. 26. Zatěžovací charakteristika	23
Obr. 27. Zapojení elektrického obvodu pro měření zatěžovací charakteristiky	24
Obr. 28. Převodní charakteristika	24
Obr. 29. Struktura tranzistorů	25
Obr. 30. Základní zapojení bipolárních tranzistorů	26
Obr. 31. Bipolární NPN tranzistor v zapojení SE s nastaveným pracovním bodem	27
Obr. 32. Zapojení pro měření charakteristik bipolárního tranzistoru	28
Obr. 33. Vstupní charakteristika	29
Obr. 34. Převodová charakteristika	29
Obr. 35. Výstupní charakteristika	30
Obr. 36. Zapojení pro bipolární tranzistor ve funkci spínače	30
Obr. 37. Princip optronu	32
Obr. 38. Zapojení pro měření vstupní charakteristiky optronu	33
Obr. 39. Vstupní charakteristika	33
Obr. 40. Zapojení pro měření výstupní charakteristiky optronu	34
Obr. 41. Výstupní charakteristika	34
Obr. 42. Zapojení pro měření převodové charakteristiky optronu	35
Obr. 43. Převodová charakteristika	35
Obr. 44. Neinvertující zesilovač	37
Obr. 45. Invertující zesilovač	37
Obr. 46. Rozdílový zesilovač	38
Obr. 47. Součtový zesilovač	38
Obr. 48. Zapojení pro měření zesílení neinvertujícího operačního zesilovače	39

Obr. 49. Charakteristiky neinvertujícího zesilovače pro dvě různé zesílení	40
Obr. 50. Zapojení pro měření zesílení invertujícího operačního zesilovače	40
Obr. 51. Charakteristiky invertujícího zesilovače pro dvě různé zesílení	41
Obr. 52. Zapojení pro měření vlastností invertujícího součtového zesilovače	41
Obr. 53. Charakteristika součtového zesilovače	41
Obr. 54. Zapojení pro měření vlastností invertujícího rozdílového zesilovače	42
Obr. 55. Charakteristika rozdílového zesilovače	42
Obr. 56. Integrační zesilovač	43
Obr. 57. Derivační zesilovač	44
Obr. 58. Komparátor	44
Obr. 59. Zapojení pro měření operačního zesilovače ve funkci integrátoru	45
Obr. 60. Průběh napětí na vstupu	46
Obr. 61. Průběh napětí na výstupu	46
Obr. 62. Zapojení pro měření operačního zesilovače ve funkci derivátoru	46
Obr. 63. Průběh napětí na vstupu	47
Obr. 64. Průběh napětí na výstupu	47
Obr. 65. Zapojení pro měření operačního zesilovače ve funkci komparátoru	47
Obr. 66. Průběh napětí na vstupu	48
Obr. 67. Průběh napětí na výstupu	48

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Charakteristické chování bipolárních tranzistorů v různých zapojeních	26
--	----