

Univerzita Hradec Králové

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyziky

**Základní měření pasivních a aktivních
elektronických součástek**

Bakalářská práce

Autor: Martin Dostálek
Studijní program: (33) B1701 Fyzika
Studijní obor: Fyzikálně – technická měření a výpočetní technika
Vedoucí práce: Ing. Karol Radocha, Ph.D.

Univerzita Hradec Králové

Přírodovědecká fakulta

Zadání bakalářské práce

Autor:	Martin Dostálek
Studijní program:	(33) B1701 Fyzika
Studijní obor:	Fyzikálně – technická měření a výpočetní technika
Název práce:	Základní měření pasivních a aktivních elektronických součástek
Název práce AJ:	Basic measurements of passive and active electronic components
Cíl a metody práce:	Návrh, měření a návody na 10. úloh pro stavebnici μ LAB. Součástí bakalářské práce je kompletní zpracování 10. úloh fyzikálního praktika, který bude obsahovat navržení úlohy, teoretický úvod, proměření úlohy a zpracování výsledků měření a návrh postupu měření pro studenty.
Garantující pracoviště:	Katedra fyziky, Přírodovědecká fakulta
Vedoucí práce:	Ing. Karol Radocha, Ph.D.
Oponent:	doc. RNDr. Jiří Hubeňák, Ph.D.
Datum zadání práce:	27. 2. 2015
Datum odevzdání práce:	17. 5. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem v seznamu použité literatury uvedl všechny prameny, z kterých jsem vycházel.

V Hradci Králové dne 17. května 2016

Anotace

DOSTÁLEK, M. *Základní měření pasivních a aktivních elektronických součástek.*

Hradec Králové, 2016. Bakalářská práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Hradec Králové. Vedoucí práce Karol Radocha, - 142 s.

Úkolem a cílem bakalářské práce je vytvoření pracovních úloh a jejich řešení. Pracovní úlohy jsou vytvořeny pro potřebu fyzikálního praktika a školní elektronickou stavebnici μ LAB. V pracovních úlohách jsou použity pasivní a aktivní elektronické součástky.

Klíčová slova: Školní elektronická stavebnice μ LAB, pracovní úlohy, fyzikální praktika, pasivní a aktivní elektronické součástky

Annotation

DOSTÁLEK, M. *Basic measurements of passive and active electronic components.*

Hradec Králové, 2016. Bachelor thesis at Faculty of Science University of Hradec Králové. Thesis supervisor Karol Radocha, - 142 p.

The aim of the bachelor thesis is creating a set of problem-solving tasks and their solutions. These tasks are created and aimed at the use in physical practice lessons using the application - school electronics-building kit μ LAB. The problem-solving tasks include both passive and active electronic components.

Keywords: School electronics-building kit μ LAB, problem-solving tasks, physical practice lessons, passive and active electronic components

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Karolu Radochovi, Ph.D. za podnětné a cenné rady, které mi při zpracování bakalářské práce poskytl.

Obsah:

0	ÚVOD	4
1	ÚLOHA PRO PRACOVIŠTĚ 1	5
1.1	Měření zatěžovací charakteristiky napět'ového zdroje 10 V/0,02 A	5
1.2	Měření zatěžovací charakteristiky napět'ového zdroje 10 V/0,02 A s modulem výkonového zesilovače 0,2 A	8
1.3	Měření vnitřního odporu ampérmetru pro rozsah 40 mA, 4 mA a 400 μ A	12
1.4	Měření rezistorů	16
2	PRACOVNÍ ÚLOHA PRO PRACOVIŠTĚ 2	21
2.1	Vnitřní odpor voltmetru a jeho vliv na měření v elektrickém obvodu	21
2.2	Měření na nezatíženém odporovém děliči napětí	24
2.3	Měření přenosu výkonového přizpůsobení na dvojbranu – přizpůsobení spotřebiče	29
3	PRACOVNÍ ÚLOHA PRO PRACOVIŠTĚ 3	34
3.1	Měření na vícestupňovém zatíženém děliči a výpočet pomocí Théveninova teorému	34
3.2	Měření na vícestupňovém zatíženém děliči a výpočet pomocí Nortonova teorému	39
4	PRACOVNÍ ÚLOHA PRO PRACOVIŠTĚ 4	50
4.1	Měření na odporové síti a výpočet metodou smyčkových proudů a superpozice	50
4.2	Měření na zatíženém můstku a výpočet pomocí Théveninova teorému a transfigurace	54
5	PRACOVNÍ ÚLOHA PRO PRACOVIŠTĚ 5	59
5.1	Měření kapacity s využitím reaktance	59
5.2	Měření kapacity kondenzátoru osciloskopem	64
6	PRACOVNÍ ÚLOHA PRO PRACOVIŠTĚ 6	67
6.1	Měření charakteristik křemíkových, germaniových a Schotkyho diod	67
6.2	Měření VA charakteristiky Zenerových diod	73
7	PRACOVNÍ ÚLOHA PRO PRACOVIŠTĚ 7	79
7.1	Měření VA charakteristik LED diod	79
7.2	Měření VA charakteristiky NTC a PTC termistoru	83
8	PRACOVNÍ ÚLOHA PRO PRACOVIŠTĚ 8	88
8.1	Měření rezonanční charakteristiky pro sériový LC obvod	88
8.2	Měření rezonanční charakteristiky pro paralelní LC obvod	93
9	PRACOVNÍ ÚLOHA PRO PRACOVIŠTĚ 9	100
9.1	Měření na RC článku – dolní propust, integrační článek	100
9.2	Měření na CR článku – horní propust, derivační článek	109

10	PRACOVNÍ ÚLOHA PRO PRACOVÍŠTĚ 10	118
10.1	Měření proudového zesílení pro tranzistor NPN	118
10.2	Měření vstupní charakteristiky pro tranzistor NPN	123
11	PRACOVNÍ ÚLOHA PRO PRACOVÍŠTĚ 11	127
11.1	Měření výstupní charakteristiky pro tranzistor NPN	127
11.2	Měření převodní charakteristiky pro tranzistor NPN	131
12	ZÁVĚR	137
13	SEZNAM POUŽITÝCH ZNAKŮ A SYMBOLŮ	139
14	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	142
15	PŘÍLOHA	1
1	ŘEŠENÍ PRACOVNÍ ÚLOHY PRO PRACOVÍŠTĚ 1	1
1.1	Měření zatěžovací charakteristiky napěťového zdroje 10 V/0,02 A	1
1.2	Měření zatěžovací charakteristiky napěťového zdroje 10 V/0,02 A s modulem výkonového zesilovače 0,2 A	7
1.3	Měření vnitřního odporu ampérmetru pro rozsahy 40 mA, 4 mA a 400 μ A	12
1.4	Měření rezistorů	17
2	ŘEŠENÍ PRACOVNÍ ÚLOHY PRO PRACOVÍŠTĚ 2	23
2.1	Vnitřní odpor voltmetru a jeho vliv na měření v elektrickém obvodu	23
2.2	Měření na nezátíženém odporovém děliči napětí	26
2.3	Měření přenosu výkonového přizpůsobení na dvojbranu – přizpůsobení spotřebiče	32
3	ŘEŠENÍ PRACOVNÍ ÚLOHY PRO PRACOVÍŠTĚ 3	42
3.1	Měření na vícestupňovém zatíženém děliči a výpočet pomocí Théveninova teorému	42
3.2	Měření na vícestupňovém zatíženém děliči a výpočet pomocí Nortonova teorému	47
4	ŘEŠENÍ PRACOVNÍ ÚLOHY PRO PRACOVÍŠTĚ 4	56
4.1	Měření na odporové síti a výpočet metodou smyčkových proudů a superpozice	56
4.2	Měření na zatíženém můstku a výpočet pomocí Théveninova teorému a transfigurace	62
5	ŘEŠENÍ PRACOVNÍ ÚLOHY PRO PRACOVÍŠTĚ 5	69
5.1	Měření kapacity s využitím reaktance	69
5.2	Měření kapacity kondenzátoru osciloskopem	80
6	ŘEŠENÍ PRACOVNÍ ÚLOHY PRO PRACOVÍŠTĚ 6	84
6.1	Měření charakteristik křemíkových, germaniových a Schotkyho diod	84
6.2	Měření VA charakteristiky Zenerových diod	91
7	ŘEŠENÍ PRACOVNÍ ÚLOHY PRO PRACOVÍŠTĚ 7	99
7.1	Měření VA charakteristik LED diod	99
7.2	Měření VA charakteristiky NTC a PTC termistoru	107

8	ŘEŠENÍ PRACOVNÍ ÚLOHY PRO PRACOVÍŠTĚ 8	112
8.1	Měření rezonanční charakteristiky pro sériový LC obvod	112
8.2	Měření rezonanční charakteristiky pro paralelní LC obvod	117
9	ŘEŠENÍ PRACOVNÍ ÚLOHY PRO PRACOVÍŠTĚ 9	124
9.1	Měření na RC článku – dolní propust, integrační článek.....	124
9.2	Měření na CR článku – horní propust, derivační článek	133
10	ŘEŠENÍ PRACOVNÍ ÚLOHY PRO PRACOVÍŠTĚ 10	142
10.1	Měření proudového zesílení pro tranzistor NPN	142
10.2	Měření vstupní charakteristiky pro tranzistor NPN.....	146
11	ŘEŠENÍ PRACOVNÍ ÚLOHY PRO PRACOVÍŠTĚ 11	151
11.1	Měření výstupní charakteristiky pro tranzistor NPN.....	151
11.2	Měření převodní charakteristiky pro tranzistor NPN	156
12	SEZNAM TABULEK	161
13	SEZNAM OBRÁZKŮ	163

0 ÚVOD

Téma bakalářské práce jsem si zvolil, protože s elektro stavebnicemi mám již zkušenosti od základní školy. V této době jsem začal navštěvovat radioamatérský kroužek. V radioklubu kromě učení a zvládnání radioamatérského provozu, jsme potřebovali znát i technické vědomosti z oblastí provozu. Technické vědomosti jsme získávali a osvojovali pod dohledem vedoucího operátora na stavebnici „Souprava radioelektronika I“. Tato stavebnice byla hojně využívána k technickému vzdělávání pro zkoušky z technických znalostí popř. ve vzdělávání na školách. Později pro velký zájem mi otec koupil stavebnici „Электронные кубики“, která byla vyrobena v tehdejší Sovětském svazu. V této době byl trh elektrotechnických stavebnic velmi omezen, ale přesto mně tyto stavebnice přinesly cenné zkušenosti.

Při vybírání tématu pro bakalářskou práci mě zaujalo téma „Základní měření pasivních a aktivních elektronických součástek“. Cílem této práce bylo navrhnout, změřit a vytvořit zadání na 10. úloh pro stavebnici μ LAB. Součástí bakalářské práce je kompletní zpracování 10. úloh fyzikálního praktika, který bude obsahovat navržení úlohy, teoretický úvod, proměření úlohy a zpracování výsledků měření a návrh postupu měření pro studenty.

V této době jsem měl již malé zkušenosti s elektronickou stavebnicí μ LAB, na které jsem měl změřených několik úloh v rámci fyzikálního praktika. Elektronická stavebnice mě zaujala pro svoje přívětivé uživatelské rozhraní. Po vybrání tématu pro bakalářskou práci jsem navštívil výrobce elektronické stavebnice RC Didactic system, kde mi poskytli další cenné a doplňující informace ohledně elektronické stavebnice.

Pro fyzikální praktika a elektronickou stavebnici jsem celkem navrhl a změřil 25 dílčích úloh. Tyto úlohy byly po dohodě s vedoucím práce rozděleny do 11. úloh tzv. pracovišť. Každá úloha obsahuje řešení, které je součástí přílohy této bakalářské práce.

1 ÚLOHA PRO PRACOVÍŠTĚ 1

1.1 MĚŘENÍ ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKY NAPĚŤOVÉHO ZDROJE 10 V/0,02 A

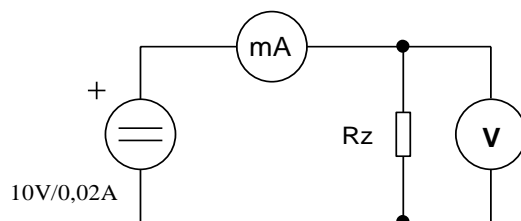
1.1.1 ÚKOL

Změřte voltampérovou zatěžovací charakteristiku programovatelného DC zdroje. Naměřené hodnoty U a I zapište do tabulky. Z naměřených hodnot vypočítejte výkon P a zjistěte maximální dodávaný proud I měřeného zdroje při jeho nominální hodnotě napětí U . Dále sestrojte grafy $U = F(I)$, $U = F(R_Z)$, $P = F(I)$ a $P = F(R_Z)$.

1.1.2 TEORETICKÝ ROZBOR

Programovatelný DC zdroj má výstup chráněn proti přetížení elektronickou pojistkou. Zdroj je navržen a zkonstruován jako ideální zdroj napětí. U ideálního zdroje napětí uvažujeme, že jeho vnitřní odpor R_i je roven nule. Velikost napětí se nemění s odebíraným proudem do zátěže. Naopak u ideálního zdroje proudu uvažujeme vnitřní odpor R_i nekonečně velký. Ideální zdroj proudu dodává stále stejně velký proud do zátěže. V našem případě se zdroj nebude přesně chovat jako při měření např. na baterii (monočlátku), kde s rostoucím zatěžovacím proudem I bude přímo klesat svorkové napětí U . Při dosažení napětí hodnoty 0 V, lze naměřit zkratový proud I_{ZK} . Dále musíme uvažovat, že v měřeném obvodu máme stále připojen ampérmetr. Ampérmetr má svůj vnitřní odpor R_A , který je potřeba připočítat k hodnotě zatěžovacího odporu R_Z . Skutečný zdroj můžeme nahradit náhradním ideálním zdrojem napětí a proudu, kde je uvažován vnitřní odpor zdroje R_i . U napěťového zdroje uvažujeme zapojený odpor R_i v sérii a u proudového zdroje uvažujeme odpor zapojený paralelně [1] a [2].

1.1.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 1.1-1 Zapojení pro měření zatěžovací charakteristiky zdroje 10 V/0,02 A

1.1.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul prvků, programovatelný DC zdroj, voltmetr DC & AC RMS, měřicí přístroj Metex M3890D, odporová dekáda 1, propojky a propojovací kablíky.

1.1.5 POSTUP MĚŘENÍ

- Zapojte obvod podle obrázku 1.1-1.
- Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- První měření proveďte při odpojené odporové dekádě – zátěži R_Z .
- Do obvodu zapojte odporovou dekádu a změňte hodnoty dle tabulky 1.1-1.
- Naměřené hodnoty U a I zapište do připravené tabulky 1.1-1 a dopočítejte ztrátový výkon P na rezistoru R_Z .
- Z naměřených a vypočítaných hodnot vynesete grafy $U = F(I)$, $U = F(R_Z)$, $P = F(I)$ a $P = F(R_Z)$.

1.1.6 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 1.1-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty zdroje 10 V/0,02 A

R_z [Ω]	U [V]	I [mA]	P [mW]
900			
800			
700			
600			
500			
400			
350			
300			
250			
200			
150			
100			
50			
40			
30			
20			

1.1.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Nakreslete a popište náhradní zdroj napětí a zdroj proudu.
- Uveďte vztah pro výpočet vnitřního odporu R_i zdroje.
- Nakreslete VA zatěžovací charakteristiky tzv. ideálního, tvrdého a měkkého zdroje.

1.2 MĚŘENÍ ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKY NAPĚŤOVÉHO ZDROJE 10 V/0,02 A S MODULEM VÝKONOVÉHO ZESILOVAČE 0,2 A

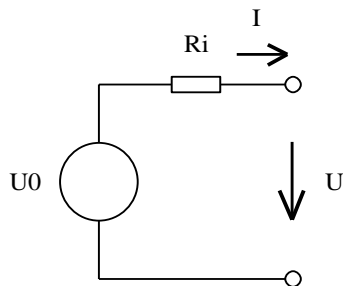
1.2.1 ÚKOL

Změřte voltampérovou zatěžovací charakteristiku programovatelného DC zdroje se zapojeným modulem výkonového zesilovače. Naměřené hodnoty U a I zapište do tabulky. Z naměřených hodnot vypočítejte výkon P a zjistěte maximální dodávaný proud I měřeného modulu výkonového zesilovače při jeho nominálním napětí U . Na závěr měření sestrojte grafy $U = F(I)$, $U = F(R_Z)$, $P = F(I)$ a $P = F(R_Z)$.

1.2.2 TEORETICKÝ ROZBOR

Za zdroj považujeme zařízení, které na svých svorkách trvale udržuje svorkové napětí U a je schopné dále do uzavřeného elektrického obvodu dodávat elektrický proud I , neboli do obvodu dodávat výkon P . Při měření na zdroji záleží na jeho vnitřním odporu R_i . Zdroje rozlišujeme na zdroje napětí a proudu. Ideální zdroj napětí má $R_i = 0 \Omega$ a ideální zdroj proudu má $R_i = \infty$. Měkký zdroj se vyznačuje tím, že s rostoucím odběrem proudu napětí rychle klesá. Tvrdý zdroj má malý vnitřní odpor R_i a napětí klesá pomalu (např. akumulátor.) V našem případě se zdroj nebude přesně chovat jako při měření např. na baterii, kde s rostoucím zatěžovacím proudem I bude úměrně klesat svorkové napětí U . Až svorkové napětí dosáhne hodnoty 0 V , můžeme teoreticky naměřit zkratový proud I_{ZK} .

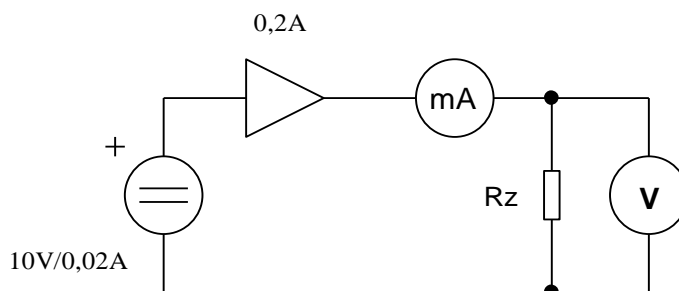
Pro ideální zdroj napětí platí, že jeho vnitřní odpor $R_i = 0 \Omega$. Na svorkách tohoto zdroje je neustále stejná hodnota U_0 . Při nulovém zatížení se tato hodnota nemění a tudíž $U_0 = U$. V případě připojené zátěže R_Z na výstupní svorky zdroje se svorkové napětí U sníží o úbytek napětí na vnitřním odporu zdroje R_i obrázek 1.2-1 [2].



Obrázek 1.2-1 Ideální zdroj napětí U_0 s vnitřním odporem R_i

Dále musíme uvažovat, že v měřeném obvodu máme stále připojen ampérmetr. Ampérmetr má svůj vnitřní odpor R_A , který je potřeba připočítat k hodnotě zatěžovacího odporu R_Z . Pro naše měření budeme používat programovatelný DC zdroj, který má výstup chráněn proti přetížení elektronickou pojistkou. Dále na jeho výstupu je zapojen modul výkonového zesilovače. Tento modul může dodat větší proud pro některé potřeby dalších měření. Modul výkonového zesilovače je chráněn, proti teplotnímu a proudovému přetížení. Pokud překročíme tuto mez, tak výstup modulu bude odpojen. Tento bod budeme považovat za zkratový proud I_{ZK} a bude indikován LED na výkonovém modulu.

1.2.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 1.2-2 Zapojení pro měření zatěžovací charakteristiky zdroje 10 V/0,02 A a výkonového zesilovače

1.2.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul prvků, programovatelný DC zdroj, modul výkonového zesilovače, voltmetr DC & AC RMS, měřicí přístroj Metex M3890D, odporová dekáda 1, propojky a propojovací kablíky.

1.2.5 POSTUP MĚŘENÍ

- a. Zapojte obvod podle obrázku 1.2-2.
- b. Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- c. Na zdroji nastavte hodnotu napětí 10 V.
- d. První měření proveďte při odpojené odporové dekádě – zátěži R_Z .
- e. Do obvodu zapojte odporovou dekádu a změňte hodnoty dle tabulky 1.2-1.
- f. Naměřené hodnoty U a I zapište do připravené tabulky 1.2-1 a dopočítejte ztrátový výkon P na rezistoru R_Z .
- g. Z naměřených a vypočítaných hodnot vynesete grafy $U = F(I)$, $U = F(R_Z)$, $P = F(I)$ a $P = F(R_Z)$.

1.2.6 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 1.2-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty zdroje 10 V/0,02 A a výkonového zesilovače

R_z [Ω]	U [V]	I [mA]	P [W]
900			
800			
700			
600			
500			
400			
350			
300			
250			
200			
150			
100			
50			
40			
30			
20			

1.2.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Spojování zdrojů. Jak dosáhnete většího napětí nebo většího proudu?
- Sériové spojování zdrojů. Jak zdroje zapojíte?
- Paralelní spojování zdrojů. Jak zdroje zapojíte?

1.3 MĚŘENÍ VNITŘNÍHO ODPORU AMPÉRMETRU PRO ROZSAH 40 mA, 4 mA A 400 μ A

1.3.1 ÚKOL

Změřte vnitřní odpor ampérmetru R_A měřicího přístroje Metex M3890D. Měření proveďte pro rozsahy 40 mA, 4 mA a 400 μ A. Naměřené hodnoty U a I postupně запиšte do tabulek 1.3-1, 1.3-2 a 1.3-3. Z naměřených hodnot vypočítejte vnitřní odpor miliampérmetru R_A .

1.3.2 TEORETICKÝ ROZBOR

Pro některá další měření a výpočty budeme potřebovat znát vnitřní odpor našeho ampérmetru, který budeme používat v dalších úlohách. Pro měření proudu I budeme používat měřicí přístroj Metex M3890D. Měření provedeme podle obrázku 1.3-1. Rezistor R_0 zapojený ve schématu, nám slouží jako ochranný rezistor proti poškození měřicího přístroje. Vnitřní odpor R_A dopočítáme podle Ohmova zákona a vztahu (1) [1]:

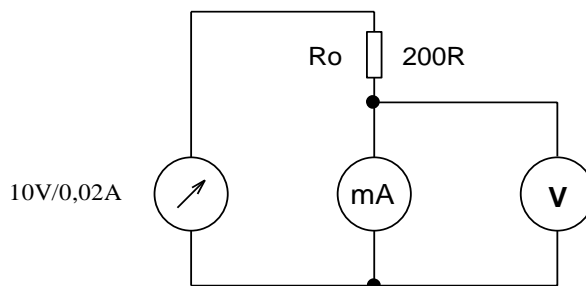
$$R_A = \frac{U_A}{I_A} \quad [\Omega; V, A] \quad (1)$$

R_A vnitřní odpor miliampérmetru

U_A úbytek napětí na miliampérmetru

I_A proud miliampérmetru

1.3.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 1.3-1 Zapojení pro měření vnitřního odporu ampérmetru

1.3.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul prvků, proměnný DC zdroj 0 – 10V, voltmetr DC & AC RMS, měřicí přístroj Metex M3890D, rezistor $R_O = 200 \Omega$, propojky a propojovací kablíky.

1.3.5 POSTUP MĚŘENÍ

- Zapojte obvod podle obrázku 1.3-1.
- Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- Na laboratorním zdroji nastavte velikost proudu I_A do hodnoty rozsahu max. 40 mA, 4 mA a 400 μ A.
- Pro každý rozsah proveďte 10 měření.
- Na připojeném voltmetru změřte úbytek napětí U_A na miliampérmetru.
- Naměřené hodnoty U_A a I_A zapisujte postupně do tabulek 1.3-1, 1.3-2 a 1.3-3.
- Vnitřní odpor R_A vypočítejte podle vztahu v zadání.
- Měření proveďte pro uvedené rozsahy miliampérmetru.
- Vypočítané výsledky ze všech měření zapište do tabulky 1.3-4.

Tabulka 1.3-3 Pro naměřené a vypočítané hodnoty pro rozsah 400 μA

U_A [mV]	I_A [mA]	R_A [Ω]
průměr		

Tabulka 1.3-4 Tabulka pro celkové naměřené a vypočítané hodnoty

rozsah ampérmetru	R_A [Ω]
40 mA	
4 mA	
400 μA	

1.3.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- K čemu slouží ampérmetr?
- Jak změříte proud, pokud nemůžete do obvodu připojit ampérmetr?
- Jak zvětšíte měřicí rozsah ampérmetru? Uveďte vzorec.

1.4 MĚŘENÍ REZISTORŮ

1.4.1 ÚKOL

Pomocí přímé a nepřímé metody změřte odpor zadaných rezistorů. U nepřímé metody berte v úvahu vliv měřicích přístrojů na měření rezistoru R . Na závěr měření porovnejte metody mezi sebou.

1.4.2 TEORETICKÝ ROZBOR

Měření rezistorů rozdělujeme na několik metod (přímá, nepřímá, substituční a můstková). V této úloze se budeme zabývat přímou a nepřímou metodou.

- Při přímé metodě připojíme měřený rezistor přímo na svorky měřicího přístroje (ohmmetr). Po nastavení správného rozsahu odečteme na jeho stupnici nebo displeji naměřenou hodnotu rezistoru.
- Při nepřímé metodě využijeme část voltampérové charakteristiky rezistoru a budeme měřit napětí a proud. Podle Ohmova a Kirchhoffova zákona vypočítáme výslednou hodnotu měřeného rezistoru. Jako zdroj využijeme programovatelný DC zdroj a modul výkonového zesilovače. Před začátkem měření musíme nejdříve vypočítat povolenou výkonovou ztrátu rezistoru, respektive maximální povolený proud tekoucí rezistorem I_{Rmax} . Výpočet provedeme podle následujícího vztahu:

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad [W; V, \Omega] \quad (1)$$

$$P = RI^2 \Rightarrow I = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad [A; W, \Omega] \quad (2)$$

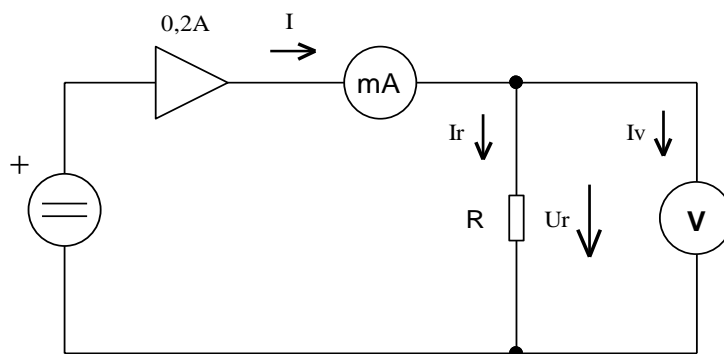
$$I_{Rmax} = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad [A; W, \Omega] \quad (3)$$

$$U/2 = R \frac{I_{Rmax}}{2} \quad [V; \Omega, A] \quad (4)$$

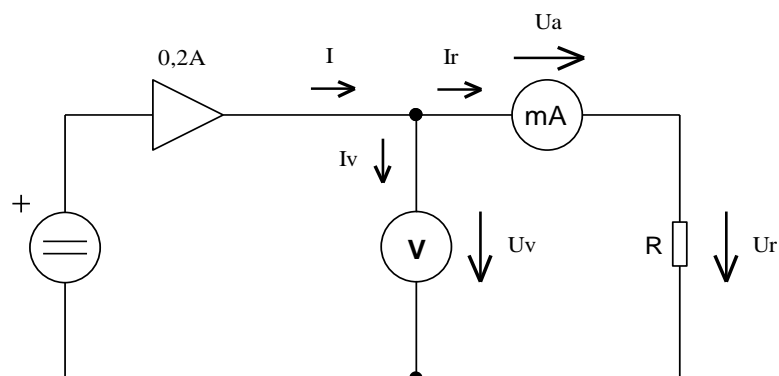
Měřený rezistor se nesmí při měření zahřívat, jinak by bylo měření zkreslené, mohla by se projevit tepelná závislost odporu a mohlo by dojít k jeho zničení. Výkonovou ztrátu na rezistoru je důležité kontrolovat hlavně při měření malých hodnot rezistorů, kdy rezistorem protéká větší proud. U větších hodnot rezistorů je tekoucí proud rezistorem malý, tudíž nám nehrozí zahřátí rezistoru popř. jeho zničení. U velkých hodnot lze v praxi výkonovou ztrátu zanedbat. Pro naše měření uděláme výpočet pro každou hodnotu měřeného rezistoru. Z vypočítaného maximálního proudu I_{Rmax} , určíme jeho polovinu. Z poloviční hodnoty proudu I_{Rmax} , vypočítáme bezpečné napětí pro měření rezistoru vztah (1, 2, 3 a 4). Zaokrouhlené napětí nastavíme na zdroji a provedeme měření rezistoru. V případě vypočítané vyšší hodnoty napětí, můžeme použít až maximální napětí našeho zdroje 10 V [3].

Pro nepřímou metodu využíváme dvě zapojení. První zapojení je na obrázku 1.4-1, které je vhodné pro měření malých hodnot rezistorů. Čím bude menší hodnota rezistoru, tím bude metoda přesnější. Při tomto zapojení měříme přímo úbytek napětí na rezistoru, ovšem celkový proud I se nám rozdělí do rezistoru I_r a voltmetru I_v . Druhé zapojení na obrázku 1.4-2 je vhodné pro měření velkých hodnot rezistorů. Zde měříme ampérmetrem skutečný proud I , který protéká pouze měřeným rezistorem R , ale měřené napětí na voltmetru U_V je součtem úbytku napětí na ampérmetru U_A a měřeném rezistoru U_r . Čím bude hodnota měřeného rezistoru větší, tím bude metoda přesnější [4].

1.4.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 1.4-1 Zapojení pro měření malých hodnot rezistorů



Obrázek 1.4-2 Zapojení pro měření velkých hodnot rezistorů

1.4.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul prvků, programovatelný DC zdroj, modul výkonového zesilovače, měřicí přístroj Metex M3890D, sada rezistorů, propojky a propojovací kablíky.

1.4.5 POSTUP MĚŘENÍ

- a. Podle tabulky 1.4-1 nebo 1.4-3 zvolte měřený rezistor.
- b. Vypočítejte povolenou výkonovou ztrátu na rezistoru a maximální dovolený proud I_{Rmax} rezistorem R .
- c. Zvolte poloviční proud I_{Rmax} a vypočítejte bezpečné napětí $U/2$ pro měření rezistoru, které pro větší hodnoty rezistorů snižte podle použitého zdroje napětí.
- d. Zapojte obvod podle obrázku 1.4-1.
- e. Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- f. Změřené a vypočítané hodnoty zapište do tabulek 1.4-1 a 1.4-2. Z naměřených hodnot napětí U a proudu I vypočítejte výslednou hodnotu R .
- g. U nepřímé metody měření mezi sebou porovnejte a vypočítejte odchylku ΔR a relativní odchylku měření δ_R .
- h. Stejný postup opakujte pro obrázek 1.4-2. a hodnoty zapisujte do tabulek 1.4-3 a 1.4-4.
- i. Na závěr měřené rezistory změřte na RLC můstku a hodnoty doplňte do tabulek 1.4-2 a 1.4-4.

1.4.6 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 1.4-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty pro malé hodnoty rezistorů

R [k Ω]	I_{Rmax} [mA]	$U/2$ [V]	I_r [mA]	U_r [V]
0,01				
0,1				
0,5				
1				
5				
10				
100				
500				

Tabulka 1.4-2 Pro naměřené a vypočítané hodnoty pro malé hodnoty rezistorů

R [k Ω]	R [Ω]	R_V [Ω]	ΔR [Ω]	δ_R [%]	RLC [Ω]
0,01					
0,1					
0,5					
1					
5					
10					
100					
500					

Tabulka 1.4-3 Pro naměřené a vypočítané hodnoty pro velké hodnoty rezistorů

R [k Ω]	I_{Rmax} [mA]	$U/2$ [V]	I_r [mA]	U_v [V]
0,01				
0,1				
0,5				
1				
5				
10				
100				
500				

Tabulka 1.4-4 Pro naměřené a vypočítané hodnoty pro velké hodnoty rezistorů

R [k Ω]	R [Ω]	R_V [Ω]	ΔR [Ω]	δ_R [%]	RLC [Ω]
0,01					
0,1					
0,5					
1					
5					
10					
100					
500					

1.4.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Jaké znáte metody měření pasivních součástek?
- Nakreslete schéma pro nepřímou metodu měření malých a velkých hodnot rezistorů?
- Jaké znáte druhy rezistorů a v jakých řadách jsou vyráběny?

2 PRACOVNÍ ÚLOHA PRO PRACOVNÍŠTĚ 2

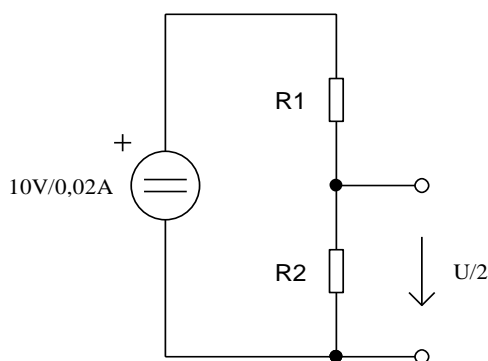
2.1 VNITŘNÍ ODPOR VOLTMETRU A JEHO VLIV NA MĚŘENÍ V ELEKTRICKÉM OBVODU

2.1.1 ÚKOL

Pomocí děliče napětí zjistěte vliv měření s digitálním multimetrem M-3890D USB a voltmetrem DC & AC RMS z výukového systému rc2000 - μ LAB. Ověřte vstupní odpor obou dvou voltmetrů a porovnejte z technické specifikace měřicího přístroje. Na závěr měření, porovnejte měřicí přístroje.

2.1.2 TEORETICKÝ ROZBOR

Při měření v elektrickém obvodu je potřeba si uvědomit, jak může naše měření ovlivnit chování měřeného obvodu a jak správnou veličinu jsme ve skutečnosti naměřili. V našem příkladu si to ukážeme na původně nezatíženém děliči při různých hodnotách rezistorů obrázek 2.1-1.

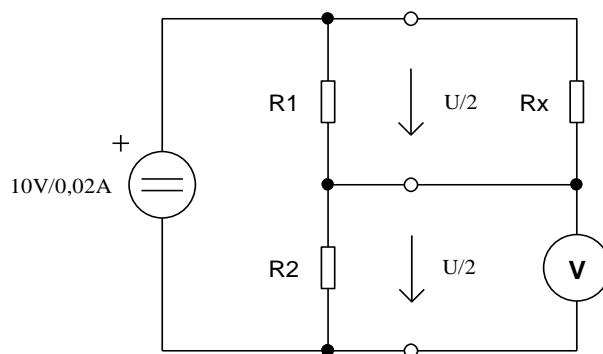


Obrázek 2.1-1 Zapojení děliče napětí

Na děliči budeme měnit postupně dvojice rezistorů. Pro lepší přehlednost budeme vždy používat pro rezistory R_1 a R_2 stejné nominální hodnoty. Když použijeme stejné hodnoty, tak na nezatíženém děliči bychom měli naměřit poloviční napětí U . Pokud

budeme hodnoty rezistorů zvyšovat, tak měření bude čím dál více ovlivněno zapojeným měřicím přístrojem. V našem případě použijeme hodnoty $1\text{ k}\Omega$, $100\text{ k}\Omega$, a $1\text{ M}\Omega$. Při hodnotách rezistorů $R_{1,2} = 1\text{ M}\Omega$, je hodnota napětí U již značně odlišná. Chyba je způsobena již hodnotou vstupního odporu voltmetru $R_V = 10\text{ M}\Omega$. V případě, že do druhé větve děliče připojíme rezistor o hodnotě $R_X = 10\text{ M}\Omega$, bude napětí vyrovnáno na poloviční hodnotu napájecího napětí. Tímto způsobem ověříme vnitřní odpor voltmetru. Další možností zjištění vnitřního odporu voltmetru je možné z technické specifikace měřidla [5] a [6].

2.1.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 2.1-2 Zapojení děliče napětí pro určení vnitřního odporu voltmetru

2.1.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul prvků, programovatelný DC zdroj, voltmetr DC & AC RMS, měřicí přístroj Metex M3890D, rezistory R_1 , $R_2 = 1\text{ k}\Omega$, $100\text{ k}\Omega$, $1\text{ M}\Omega$ a $R_X = 10\text{ M}\Omega$, propojky a propojovací kablíky.

2.1.5 POSTUP MĚŘENÍ

- a. Zapojte obvod podle obrázku 2.1-2.
- b. Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- c. Na programovatelném zdroji nastavte velikost napětí $U = 10,000\text{ V}$.
- d. Na připojeném voltmetru změřte napětí U_{R2} .

- e. Postupně změňte hodnoty rezistorů dle tabulky 2.1-1 a hodnoty запиšte.
- f. Měření udělejte pro oba dva voltmetry (voltmetr DC & AC RMS, Metex M3890D).
- g. Pro kontrolu polovičního napětí U , při každém měření připojte do obvodu rezistor $R_X = 10 \text{ M}\Omega$.
- h. V závěru měření multimetry porovnejte a určete, který má lepší parametry jako voltmetr.

2.1.6 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 2.1-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty na voltmetrech

	DC & AC RMS	Metex M3890D
$R_{1,2} [\text{k}\Omega]$	$U_{R2} [\text{V}]$	$U_{R2} [\text{V}]$
1		
100		
1000		

2.1.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Jakým způsobem zapojíte voltmetr do obvodu?
- b. Jaký má vnitřní odpor ideální voltmetr? Dále popište běžný voltmetr.
- c. Jak změříte vstupní odpor voltmetru? Nakreslete schéma a popište ho.

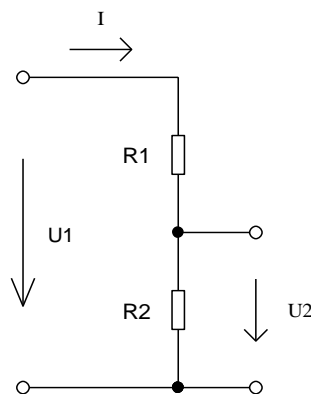
2.2 MĚŘENÍ NA NEZATÍŽENÉM ODPOROVÉM DĚLIČI NAPĚTÍ

2.2.1 ÚKOL

Navrhňte dva odporové děliče napětí, které budou mít na výstupu rezistoru R_2 napětí U_2 menší oproti vstupnímu napětí U_1 o 13 dB a 20 dB, pro napětí $U_1 = 10$ V. Do protokolu uveďte celý výpočet. Na závěr porovnejte výpočet a praktické měření odporového děliče napětí.

2.2.2 TEORETICKÝ ROZBOR

Odporové děliče napětí patří mezi základní zapojení v elektrotechnice. V praxi je využíváme pro pevné nebo proměnné rozdělení napětí neboli k získávání výstupního napětí menšího než je vstupní. Při zařazení více rezistorů získáme více rozdělených výstupních napětí. Dříve se toto zapojení například využívalo v rozhlasových přijímačích. Rozdělení napětí lze vyjádřit poměrem nebo veličinou decibel (dB). V praxi poměr odporového děliče vyjadřujeme pomocí decibelů se znaménkem mínus. Mínus nám určuje, že se jedná o útlum, tedy výstupní napětí U_2 bude menší než jeho vstupní napětí U_1 . Dále pro výpočty potřebujeme znát Ohmův zákon a Kirchhoffovy zákony. Děliče napětí dělíme podle použitých součástek na pevné, proměnné, odporové nebo kapacitní. Jejich využití najdeme v nastavení rozsahů měřidel, pracovních bodů tranzistorů, mikrofonů atd. Základní zapojení nezatíženého odporového děliče se dvěma rezistory je na obrázku 2.2-1. Při návrhu odporového děliče napětí musíme brát zřetel na jeho výkonové zatížení a podle toho dimenzovat vhodné součástky [5] a [6].



Obrázek 2.2-1 Základní zapojení nezatíženého odporového děliče

Příklad návrhu odporového děliče napětí:

Navrhněte odporový dělič napětí, který bude mít výstupní napětí U_2 menší o 7 dB oproti vstupnímu napětí U_1 .

$$U_1 = 10 \text{ V}$$

$$U_2 = \text{xx V}$$

Nejdříve vypočítáme poměr pro napětí U_1 a U_2 :

$$A_U = 10 \log \frac{U_1}{U_2} \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

$$7 = 10 \log \frac{U_1}{U_2} \quad (2)$$

$$0,7 = \log \frac{U_1}{U_2} \quad (3)$$

$$10^{0,7} = 5,019 \approx 5 \quad (4)$$

Poměr mezi výstupním a vstupním napětím je 5. Z výpočtu nám vyplývá, že napětí na výstupu děliče má být $U_2 = 2 \text{ V}$.

Pokud známe obě napětí, můžeme poměr napětí vyjádřit vztahem:

$$p = \frac{U_1}{U_2} \quad [; \text{V}, \text{V}] \quad (5)$$

Zvolíme si celkový proud napěťového děliče: $I = 1 \text{ mA}$.

Podle vstupního napětí a celkového proudu vypočítáme celkový odpor děliče napětí:

$$R = \frac{U_1}{I} = \frac{10}{0,001} = 10000 \Omega \quad (6)$$

Ze vztahu poměrů vypočítáme velikost rezistoru R_2 pro výstupní napětí U_2 :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R}{R_2} \Rightarrow R_2 = R \frac{U_2}{U_1} \quad [\Omega; \Omega, V, V] \quad (7)$$

$$R_2 = R \frac{U_2}{U_1} = 10000 \frac{2}{10} = 2000 \Omega \quad (8)$$

Dopočítáme R_1 :

$$R_1 = R - R_2 \quad [\Omega] \quad (10)$$

Nakonec nás bude zajímat zatížení děliče, tedy maximální proud děličem při námi navržených součástkách. Ve výukovém systému rc2000 - μ LAB používáme rezistory s výkonovou ztrátou $P = 0,25$ W. Celkový odpor děliče napětí je $R = 10$ k Ω . Z následujícího vztahu vypočítáme celkový proud děličem napětí, který nesmíme překročit. Jinak by hrozilo zničení použitých součástek [3].

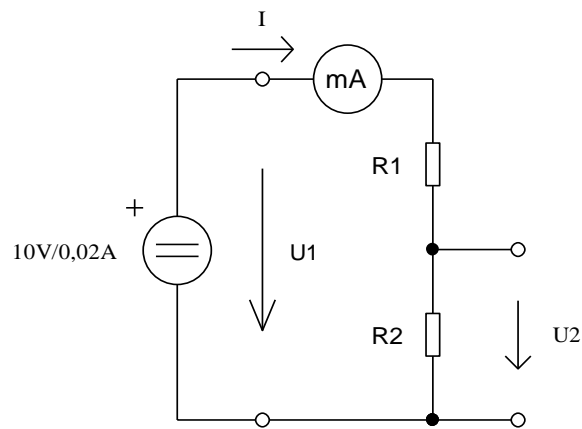
$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad [W; V, \Omega] \quad (11)$$

$$P = RI^2 \Rightarrow I = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad [A; W, \Omega] \quad (12)$$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{0,25}{10000}} = 5 \text{ mA} \quad (13)$$

Z výpočtu nám vychází, že děličem napětí nesmí téci více než 5 mA. Tuto podmínku splňujeme.

2.2.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 2.2-2 Zapojení pro měření na odporovém děliči napětí

2.2.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul prvků, programovatelný DC zdroj, voltmetr DC & AC RMS, měřicí přístroj Metex M3890D, rezistory R_1 a R_2 dle výpočtu, propojky a propojovací kablíky.

2.2.5 POSTUP MĚŘENÍ

- Nejdříve proved'te výpočty dle vztahů (1 – 13).
- Zapojte obvod podle obrázku 2.2-2.
- Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- Na zdroji nastavte napětí $U_1 = 10 \text{ V}$ a změřte napětí na výstupu odporového děliče U_2 a celkový proud I , který teče obvodem.
- Vypočítané a naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky 2.2-1.
- Do protokolu uveďte potřebné výpočty.

2.2.6 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 2.2-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty nezátíženého odporového děliče napětí

A_U [dB]	U_I [V]	<i>poměr</i>	<i>vypočítané hodnoty</i>		<i>naměřené hodnoty</i>	
			U_2 [V]	I [mA]	U_2 [V]	I [mA]
13	10					
20	10					

2.2.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Jaký platí vztah pro poměr napětí u děliče napětí vyjádřený v decibelech?
- Jak rozdělujeme děliče napětí?
- Kde se v praxi nejvíce používají děliče napětí?

2.3 MĚŘENÍ PŘENOSU VÝKONOVÉHO PŘIZPŮBENÍ NA DVOJBRANU – PŘIZPŮBENÍ SPOTŘEBIČE

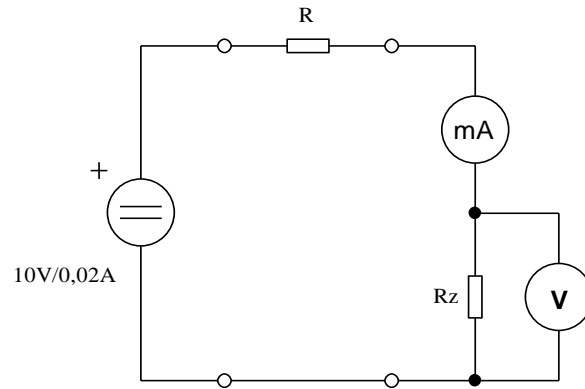
2.3.1 ÚKOL

Změřte a vypočítejte v závislosti na velikosti R_Z přenášený výkon P_{RZ} dodávaný zdrojem do reálné zátěže R_Z . Naměřené hodnoty U a I zapište do tabulky. Z naměřených a vypočítaných hodnot sestrojte dva grafy. První graf bude ukazovat přizpůsobení spotřebiče. Graf bude obsahovat $P_{RZ} = F(R_Z)$, $U_{RZ} = F(R_Z)$ a $I_{RZ} = F(R_Z)$. Druhý graf bude obsahovat složku $P_{RZ} = F(R_Z)$ v logaritmo - lineárním měřítku. Určete, kdy je přenášený maximální výkon ze zdroje do spotřebiče.

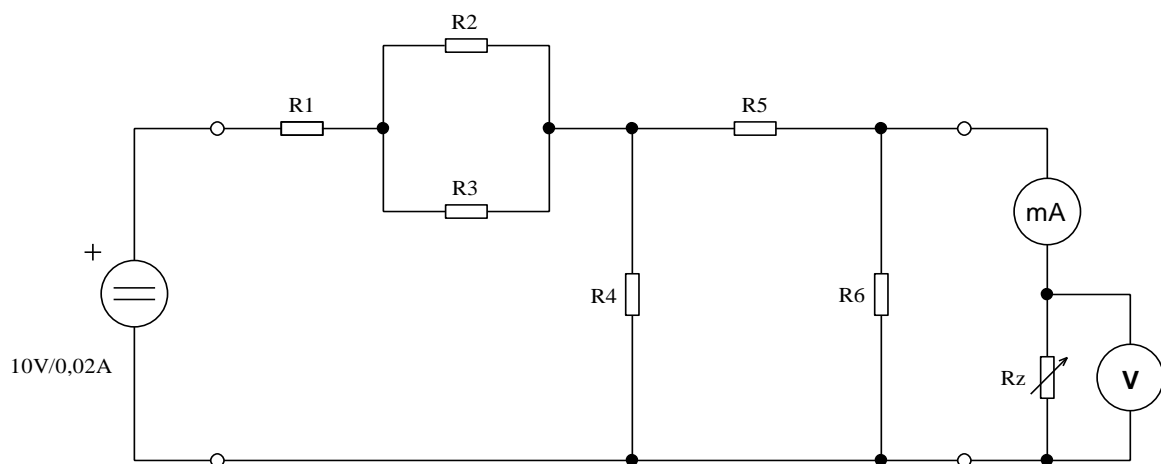
2.3.2 TEORETICKÝ ROZBOR

Pro zjednodušení měření budeme mít pouze zapojeny rezistory a výkonový přenos bude pro stejnosměrnou složku. V zapojení budeme mít zapojený stálý rezistor R , který bude představovat impedanci zdroje neboli jeho vnitřní odpor. Na výstupu budeme postupně měnit zatěžovací rezistor R_Z , který představuje impedanci spotřebiče. Zvětšujeme-li impedanci spotřebiče R_Z , zvětšuje se napětí na spotřebiči. Současně však klesá proud protékající spotřebičem. My budeme hledat takovou optimální hodnotu impedance spotřebiče, při které výkon dodávaný daným zdrojem do spotřebiče dosahuje maxima. Toto výkonové přizpůsobení nastane, jestliže se impedance spotřebiče bude rovnat impedanci zdroje, jeho vnitřnímu odporu. Pokud uvažujeme výkonové přizpůsobení, tak platí, že zdroj napětí dodá největší výkon P_{RZ} , pokud je na spotřebiči poloviční napětí U než na zdroji a spotřebičem protéká poloviční proud I , vůči proudu při $R_Z = 0 \Omega$ [1] a [2].

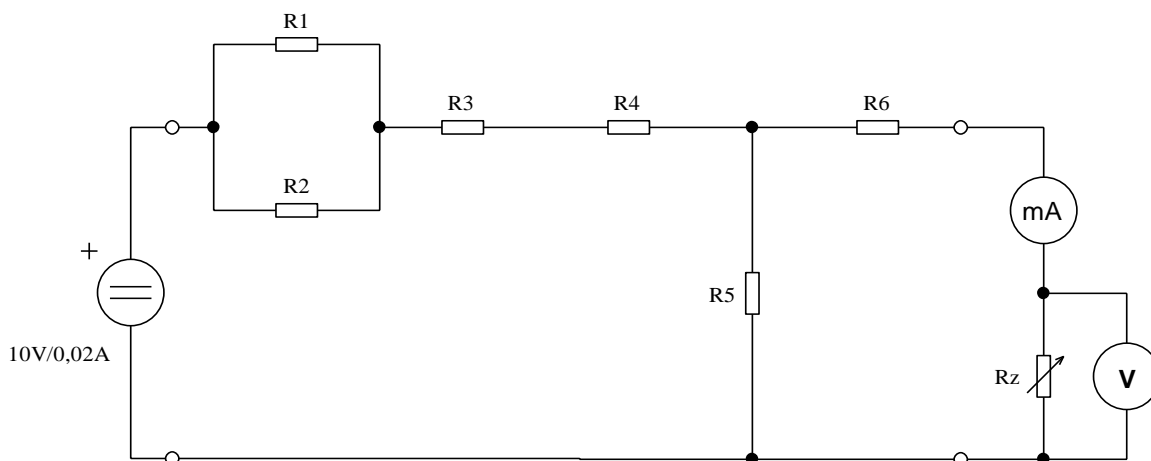
2.3.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 2.3-1 Zapojení pro měření výkonového přizpůsobení přenosu pro $R = 10 \text{ k}\Omega$



Obrázek 2.3-2 Zapojení pro měření výkonového přizpůsobení přenosu jako Π článku



Obrázek 2.3-3 Zapojení pro měření výkonového přizpůsobení přenosu jako T článku

Legenda:

Pro R článek:

$$R = 10 \text{ k}\Omega$$

Pro Pi článek:

$$R_1 = 5 \text{ k}\Omega, R_2 = 10 \text{ k}\Omega, R_3 = 20 \text{ k}\Omega, R_4 = 5 \text{ k}\Omega, R_5 = 20 \text{ k}\Omega, R_6 = 50 \text{ k}\Omega$$

Pro T článek:

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega, R_2 = 2 \text{ k}\Omega, R_3 = 1 \text{ k}\Omega, R_4 = 10 \text{ k}\Omega, R_5 = 5 \text{ k}\Omega, R_6 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$U = 10 \text{ V}$$

2.3.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul prvků, programovatelný DC zdroj, voltmetr DC & AC RMS, měřicí přístroj Metex M3890D, rezistor $R = 10 \text{ k}\Omega$, odporová dekáda 1, propojky a propojovací kablíky.

2.3.5 POSTUP MĚŘENÍ

- Zapojte obvod podle obrázku 2.3-1.
- Zapojení si vždy nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- Na odporové dekádě – zátěži R_Z postupně změňte hodnoty dle tabulky 2.3-1.
- Naměřené hodnoty U_{RZ} a I_{RZ} zapište do připravené tabulky a dopočítejte ztrátový výkon P_{RZ} .

- e. Z naměřených a vypočítaných hodnot vynesete grafy $U = F(I)$, $U = F(R_Z)$, $P = F(I)$ a $P = F(R_Z)$.
- f. Stejný postup opakujte pro obrázek 2.3-2 a obrázek 2.3-3.
- g. U těchto zapojení nejdříve vypočítejte celkový odpor zapojení. Postup uveďte do protokolu.

2.3.6 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Pro $R = 10 \text{ k}\Omega$:

Tabulka 2.3-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty pro $R = 10 \text{ k}\Omega$

R_Z [k Ω]	1	2	5	10	15	20	50	100
U_{RZ} [V]								
I_{RZ} [mA]								
P_{RZ} [mW]								

Pro T článek:

Tabulka 2.3-2 Pro naměřené a vypočítané hodnoty pro T článek

R_Z [k Ω]	1	2	5	10	15	20	50	100
U_{RZ} [V]								
I_{RZ} [mA]								
P_{RZ} [mW]								

Pro P_i článek:

Tabulka 2.3-3 Pro naměřené a vypočítané hodnoty pro P_i článek

R_Z [k Ω]	1	2	5	10	15	20	50	100
U_{RZ} [V]								
I_{RZ} [mA]								
P_{RZ} [mW]								

2.3.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Jaká přizpůsobení mohou být v obvodu se zdrojem a spotřebičem?
- b. Jaký je princip Théveninova teorému?
- c. Kde se v praxi uplatňuje různé přizpůsobení na dvojbranu?

3 PRACOVNÍ ÚLOHA PRO PRACOVNÍŠTĚ 3

3.1 MĚŘENÍ NA VÍCESTUPŇOVÉM ZATÍŽENÉM DĚLIČI A VÝPOČET POMOCÍ THÉVENINOVA TEORÉMU

3.1.1 ÚKOL

Pro obvod na obrázku 3.1-5, ověřte výpočtem a měřením platnost Théveninova teorému. Obvod zjednodušte a vypočítejte vnitřní odpor R_i , výstupní napětí a úbytek napětí na U_{RZ} . Výpočty proveďte pro rezistor R_Z , který bude připojen mezi body: A – B, B – C a A – C. Vypočítané a změřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a v závěru mezi sebou porovnejte.

3.1.2 TEORETICKÝ ROZBOR

Léon Charles Thévenin (1857 - 1926) v roce 1883 zveřejnil postup pro zjednodušení analýzy elektrických obvodů. Máme obvod např. na obrázku 3.1-5, ve kterém je zdroj napětí, spojovací síť tvořená pasivními součástkami (rezistory) a spotřebič rezistor R_Z . Potřebujeme vypočítat úbytek napětí na spotřebiči U_{RZ} popř. proud procházející spotřebičem I_Z . Obvod zjednodušíme podle obrázku 3.1-4 na jeden ideální zdroj napětí U_0 se zapojeným v sérii vnitřním odporem R_i . Na výstupních svorkách bude připojen spotřebič R_Z . Tento postup je pojmenován jako Théveninův teorém. Ve zjednodušeném výkladu zní: Jakýkoliv obvod, který obsahuje libovolný počet lineárních součástek, se dvěma výstupními svorkami a zatížený zátěží rezistorem R_Z , můžeme nahradit ideálním zdrojem napětí U_0 zapojeným v sérii s rezistorem představující vnitřní odpor R_i [4].

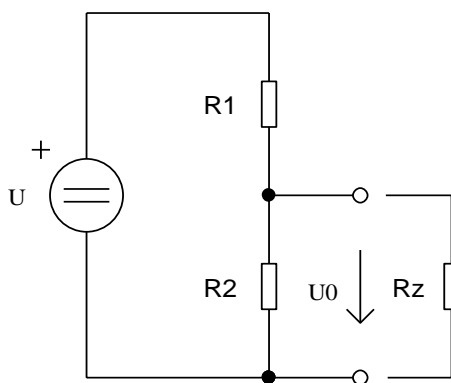
Vztahy pro výpočet Théveninova teorému můžeme použít:

- a. Pokud známe proud zátěže I_Z (spotřebiče, zkoumané zátěže).
- b. Pokud známe hodnotu zatěžovacího rezistoru R_Z (spotřebiče, zkoumané zátěže).

Pro výpočet použijeme následující postup:

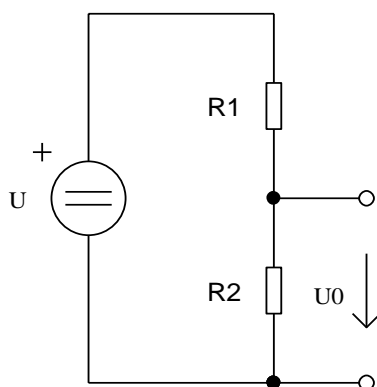
- Odvodíme vzorec pro výpočet výstupního napětí naprázdno na výstupních svorkách U_0 neboli napětí ideálního zdroje.
- Odvodíme vzorec pro výpočet vnitřního odporu zdroje R_i
- Odvodíme vzorec pro výpočet úbytku napětí U_{RZ}

Příklad postupu pro jednoduchý zatížený dělič:



Obrázek 3.1-1 Zapojení zatíženého děliče napětí

- Odvození vzorce pro výpočet výstupního napětí naprázdno na výstupních svorkách U_0 .

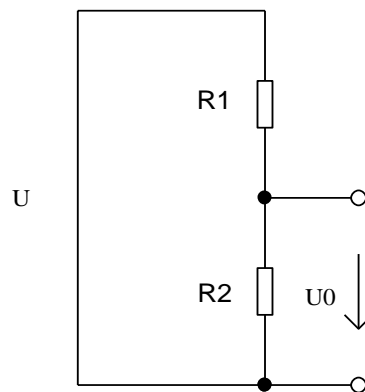


Obrázek 3.1-2 Zapojení pro výpočet napětí U_0

Z obvodu odstraníme prvek, který chceme analyzovat. V našem případě R_Z . Vypočítáme výstupní napětí naprázdno na výstupních svorkách U_0 .

$$\frac{U_0}{U} = \frac{R_2}{R_1+R_2} \Rightarrow U_0 = U \frac{R_2}{R_1+R_2} \quad [\text{V}; \text{V}, \Omega, \Omega, \Omega] \quad (1)$$

- b. Odvození vzorce pro výpočet vnitřního odporu zdroje R_i

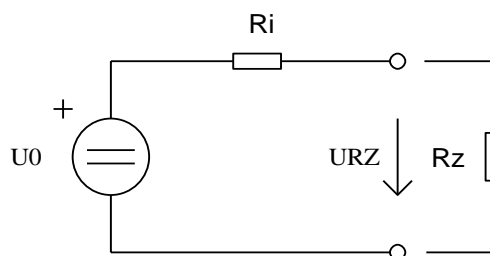


Obrázek 3.1-3 Zapojení pro výpočet vnitřního odporu R_i

Původní zdroj napětí nahradíme ideálním zdrojem napětí. Pro ideální zdroj napětí platí, že jeho vnitřní impedance je rovna 0Ω . Dále z tohoto zapojení vypočítáme vnitřní odpor zdroje R_i .

$$R_i = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad [\Omega] \quad (2)$$

- c. Odvození vzorce pro výpočet úbytku napětí U_{RZ}

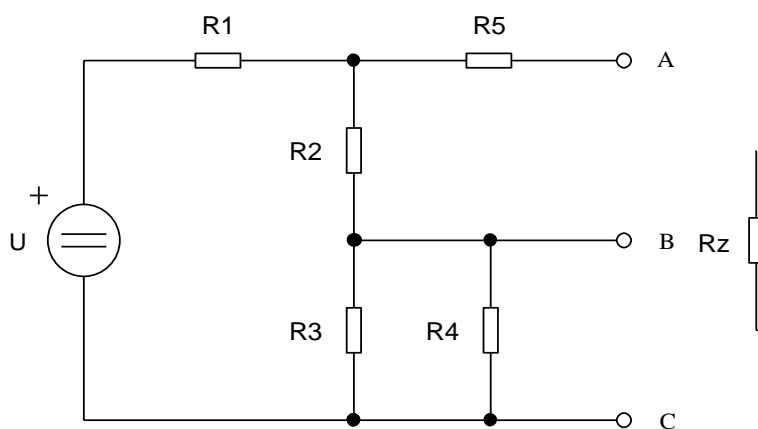


Obrázek 3.1-4 Náhradní schéma Théveninova teorému

Z vypočítaných výsledků výstupního napětí náhradního zdroje U_0 a vnitřního odporu R_i , vytvoříme náhradní schéma pro Théveninův teorém, obrázek 3.1-4 a dopočítáme úbytek napětí na rezistoru U_{RZ} .

$$\frac{U_{RZ}}{U_0} = \frac{R_Z}{R_Z + R_i} \Rightarrow U_{RZ} = U_0 \frac{R_Z}{R_Z + R_i} \quad [V; V, \Omega, \Omega, \Omega] \quad (3)$$

3.1.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 3.1-5 Zapojení víceúrovňového zatíženého děliče napětí

Legenda:

$R_1 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 3 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$

$U = 10 \text{ V}$

3.1.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul prvků, programovatelný DC zdroj, měřicí přístroj Metex M3890D, sada rezistorů, odporová dekáda 2, propojky a propojovací kablíky.

3.1.5 POSTUP MĚŘENÍ

- a. Nejdříve proveďte výpočet dle Théveninova teorému a vypočítejte U_0 , R_i a U_{RZ} .

- b. Výpočty a měření proved'te pro hodnoty rezistorů:
 $R_Z = 1 \text{ k}\Omega, 5 \text{ k}\Omega, 10 \text{ k}\Omega, 20 \text{ k}\Omega, 50 \text{ k}\Omega$ a $100 \text{ k}\Omega$.
- c. Zapojte obvod podle obrázku 3.1-5.
- d. Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- e. Změřte úbytek napětí na rezistoru U_{RZ} pro kombinace A – B, B – C a A – C.
- f. Naměřené a vypočítané hodnoty zapište do tabulky 3.1-1.
- g. Do protokolu uveďte postup výpočtu pro každou variantu A – B, B – C a A – C na zátěžovém rezistoru $R_Z = 10 \text{ k}\Omega$.
- h. V závěru porovnejte výpočty a naměřené hodnoty.

3.1.6 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 3.1-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty víceúrovňového zatíženého děliče

<i>varianta</i>	<i>A - B</i>		<i>B - C</i>		<i>A - C</i>	
R_Z [k Ω]	U_{RZ} [V]	U_{RZV} [V]	U_{RZ} [V]	U_{RZV} [V]	U_{RZ} [V]	U_{RZV} [V]
1						
5						
10						
20						
50						
100						

3.1.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Nakreslete a popište náhradní schéma Théveninova teorému.
- b. K čemu nám slouží Théveninův teorém?
- c. Jaké lineární součástky může obvod obsahovat pro výpočet Théveninova teorému?

3.2 MĚŘENÍ NA VÍCESTUPŇOVÉM ZATÍŽENÉM DĚLIČI A VÝPOČET POMOCÍ NORTONOVA TEORÉMU

3.2.1 ÚKOL

Pro obvod na obrázku 3.2-6, 3.2-7 a 3.2-8, ověřte výpočtem a měřením platnost Nortonova teorému. Obvod zjednodušte a vypočítejte vnitřní odpor R_i , ideální proud obvodu I_0 a úbytek napětí na U_{RZ} . Výpočty proveďte pro rezistor R_Z , který bude připojen mezi body: A – B, B – C a A – C. Do protokolu uveďte postup výpočtu pro variantu 1 (A – B, B – C a A – C) a $R_Z = 10 \text{ k}\Omega$. Vypočítané a naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a v závěru mezi sebou porovnejte.

3.2.2 TEORETICKÝ ROZBOR

V roce 1926 společně zveřejnil americký elektrotechnik Edward Norton Lawry (1898 – 1983) s Hansem Ferdinandem Mayerem (1895 -1980), tzv. Nortonův teorém. Nortonův teorém používáme pro zjednodušení analýzy elektrických obvodů a je v podstatě rozšířen z Théveninova teorému. V Nortonově teorému můžeme, zjednodušit libovolný obvod z pasivních součástek na obvod, který obsahuje jeden zdroj proudu I_0 s jedním paralelně zapojeným rezistorem R_i k libovolným výstupním svorkám obvodu. Pro Nortonův teorém je základem zjistit ideální proud obvodu při zkratovaných výstupních svorkách. Máme např. obvod na obrázku 3.2-1, ve kterém je zdroj napětí, spojovací síť tvořená pasivními součástkami (rezistory) a spotřebič rezistor R_Z . Potřebujeme vypočítat úbytek napětí na spotřebiči U_{RZ} popř. proud procházející spotřebičem I_Z . Obvod zjednodušíme podle obrázku 3.2-5 na jeden ideální zdroj proudu I_0 se zapojeným paralelně vnitřním odporem R_i . Na výstupních svorkách bude připojen spotřebič R_Z . Tento postup je pojmenován jako Nortonův teorém [4].

Nortonův teorém ve zjednodušeném výkladu zní: Jakýkoliv obvod, který obsahuje libovolný počet lineárních součástek, se dvěma výstupními svorkami a zatížený zátěží rezistorem R_Z , můžeme nahradit ideálním zdrojem proudu I_0 a zapojeným paralelně rezistorem představující vnitřní odpor R_i .

Vztahy pro výpočet Nortonova teorému můžeme použít:

- a. Pokud známe proud zátěže I_Z (spotřebiče, zkoumané zátěže).

$$U_Z = (I_0 - I_Z)R_i \quad [V; A, A, \Omega] \quad (1)$$

- b. Pokud známe hodnotu zatěžovacího rezistoru R_Z (spotřebiče, zkoumané zátěže).

$$U_Z = \frac{R_i R_Z}{R_i + R_Z} I_0 \quad [V; \Omega, \Omega, \Omega, \Omega, A] \quad (2)$$

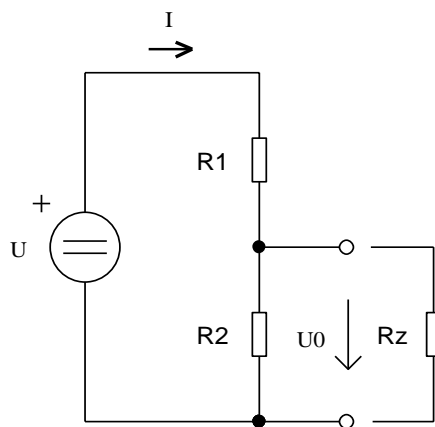
Pro výpočet použijeme následující postup:

- Odvodíme vzorec pro výpočet celkového proudu I v obvodu se zkratovanými výstupními svorkami.
- Odvození vzorce pro výpočet vnitřního odporu zdroje R_i .
- Vypočítáme proud I_0 ideálního proudového zdroje (proud procházející zkratovanými výstupními svorkami).
- Vypočítáme úbytek napětí na zátěži U_{RZ} .

Pozn. Postupů pro konečný výpočet proudu I_0 ideálního zdroje proudu, může být provedeno více způsoby.

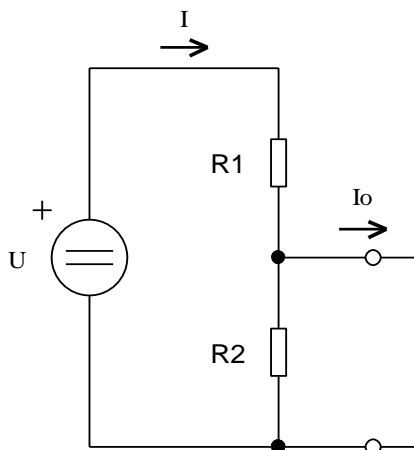
Příklad postupu pro jednoduchý zatížený dělič:

Schéma zapojení zatíženého děliče.



Obrázek 3.2-1 Zapojení zatíženého děliče napětí

- a. Odvození vzorce pro výpočet celkového proudu I v obvodu se zkratovanými výstupními svorkami



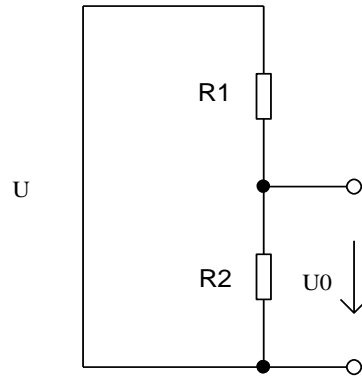
Obrázek 3.2-2 Zapojení pro výpočet celkového proudu I v obvodu

Z obvodu odstraníme prvek, který chceme analyzovat. V našem případě R_z . Vypočítáme celkový proud I v obvodu se zkratovanými výstupními svorkami z obrázku 3.2-2.

$$I = \frac{U}{R_1} \Rightarrow I_0 = \frac{U}{R_1} \quad [\text{A}; \text{V}, \Omega] \quad (3)$$

V našem případě se $I = I_0$.

- b. Odvození vzorce pro výpočet vnitřního odporu zdroje R_i

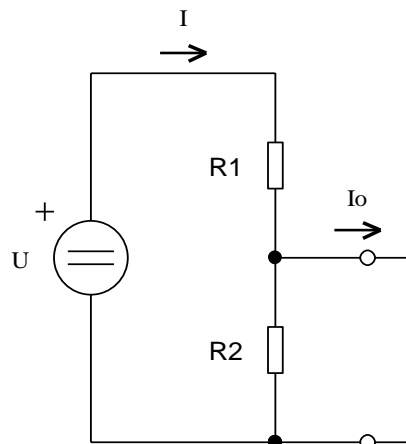


Obrázek 3.2-3 Zapojení pro výpočet vnitřního odporu R_i

Vnitřní odpor vypočítáme k výstupním svorkám děliče U_0 z obrázku 3.2-3.

$$R_i = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad [\Omega] \quad (4)$$

- c. Výpočet proudu I_0 ideálního proudového zdroje proudu.

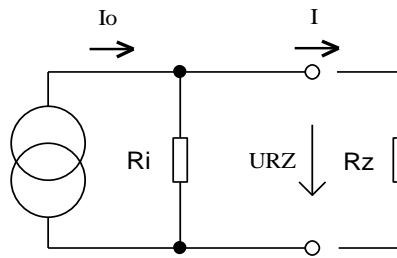


Obrázek 3.2-4 Zapojení pro výpočet proudu I_0 ideálního proudového zdroje

Výpočet ideálního proudu I_0 provedeme podle obrázku 3.2-4.

$$I_0 = \frac{U}{R_1} \quad [\text{A}; \text{V}, \Omega] \quad (5)$$

d. Odvození vzorce pro výpočet úbytku napětí U_{RZ} .



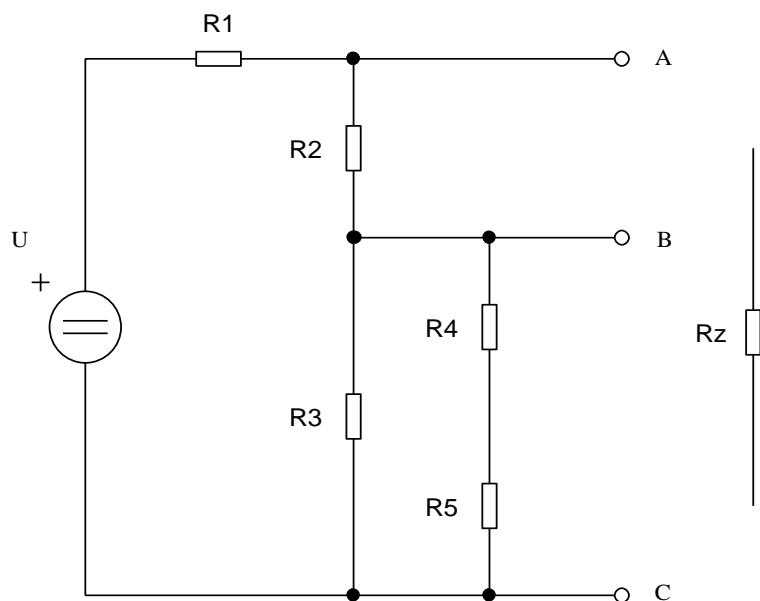
Obrázek 3.2-5 Náhradní schéma Nortonova teorému

Původní zdroj napětí nahradíme ideálním zdrojem proudu. Pro ideální zdroj proudu platí, že jeho vnitřní impedance je rovna $\infty \Omega$.

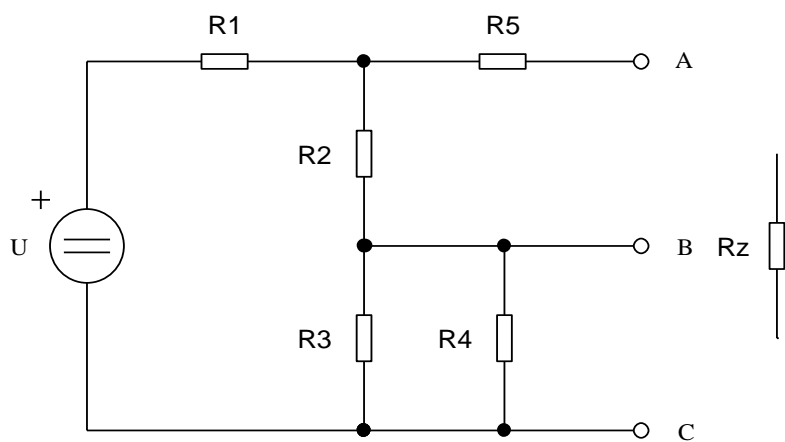
Z vypočítaných výsledků pro proud I_0 ideálního zdroje proudu a vnitřního odporu R_i , vytvoříme náhradní schéma pro Nortonův teorém, obrázek 3.2-5 a dopočítáme úbytek napětí na rezistoru U_{RZ} .

$$U_{RZ} = \frac{R_i R_Z}{R_i + R_Z} I_0 \quad [\text{V}; \Omega, \Omega, \Omega, \Omega, \text{A}] \quad (6)$$

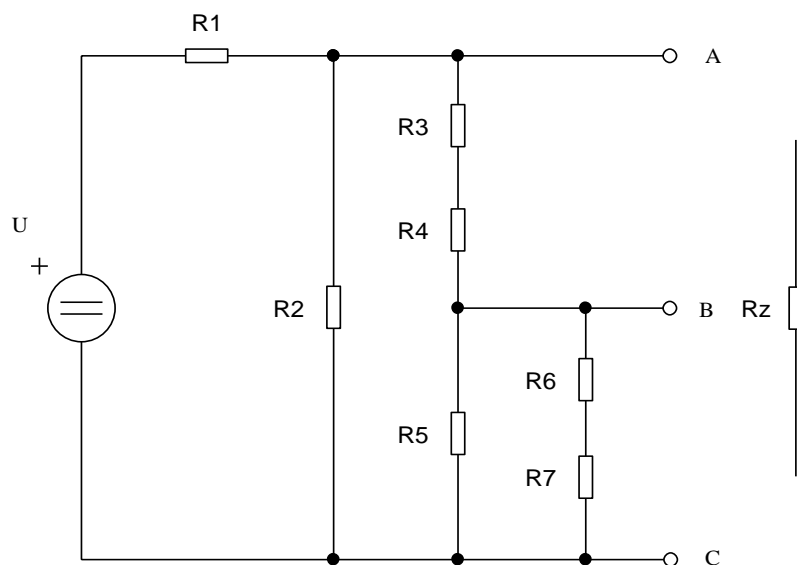
3.2.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 3.2-6 Zapojení víceúrovňového zatíženého děliče napětí - varianta 1



Obrázek 3.2-7 Zapojení víceúrovňového zatíženého děliče napětí - varianta 2



Obrázek 3.2-8 Zapojení víceúrovňového zatíženého děliče napětí - varianta 3

Legenda:

Varianta 1: $R_1 = 20 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 5 \text{ k}\Omega$ a $R_5 = 5 \text{ k}\Omega$

Varianta 2: $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 3 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 10 \text{ k}\Omega$ a $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$

Varianta 3: $R_1 = 20 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 3 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_6 = 5 \text{ k}\Omega$,
 $R_7 = 5 \text{ k}\Omega$

3.2.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul prvků, programovatelný DC zdroj, měřicí přístroj Metex M3890D, sada rezistorů, odporová dekáda 2, propojky a propojovací kablíky.

3.2.5 POSTUP MĚŘENÍ

- a. Nejdříve proved'te výpočet dle Nortonova teorému a vypočítejte proud naprázdno I_0 , vnitřní odpor R_i a výpočtové napětí na zátěži U_{RZV} . Hodnoty zaznamenejte do připravených tabulek 3.2-1 až 3.2-9.
- b. Výpočty a měření proved'te pro hodnoty rezistorů:
 $R_Z = 1 \text{ k}\Omega$, $5 \text{ k}\Omega$, $10 \text{ k}\Omega$, $20 \text{ k}\Omega$, $50 \text{ k}\Omega$ a $100 \text{ k}\Omega$.

- c. Postupně zapojte obvody podle obrázku 3.2-6, 3.2-7 a 3.2-8 a proveďte měření na každém obvodu zvlášť.
- d. Zapojení si vždy nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- e. Změřte úbytky napětí U_{RZ} na rezistorech pro kombinace A – B, B – C a A – C.
- f. Všechny naměřené a vypočítané hodnoty zaznamenejte do připravených tabulek 3.2-1 až 3.2-9.
- g. Do protokolu uveďte postup výpočtu pro každou variantu A – B, B – C a A – C na zátěžovém rezistoru $R_Z = 10 \text{ k}\Omega$.
- h. V závěru porovnejte vypočítané a naměřené hodnoty.

3.2.6 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Varianta 1:

Tabulka 3.2-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty variantu 1 (A – B)

Varianta 1				
svorky	A - B			
R_Z [k Ω]	U_{RZ} [V]	I_o [mA]	R_i [Ω]	U_{RZV} [V]
1				
5				
10				
20				
50				
100				

Tabulka 3.2-2 Pro naměřené a vypočítané hodnoty variantu 1 (B – C)

Varianta 1				
svorky	B - C			
R_Z [k Ω]	U_{RZ} [V]	I_o [mA]	R_i [Ω]	U_{RZV} [V]
1				
5				
10				
20				
50				
100				

Tabulka 3.2-3 Pro naměřené a vypočítané hodnoty variantu 1 (A – C)

Varianta 1				
svorky	A - C			
R_Z [k Ω]	U_{RZ} [V]	I_0 [mA]	R_i [Ω]	U_{RZV} [V]
1				
5				
10				
20				
50				
100				

Varianta 2:

Tabulka 3.2-4 Pro naměřené a vypočítané hodnoty variantu 2 (A – B)

Varianta 2				
svorky	A - B			
R_Z [k Ω]	U_{RZ} [V]	I_0 [mA]	R_i [Ω]	U_{RZV} [V]
1				
5				
10				
20				
50				
100				

Tabulka 3.2-5 Pro naměřené a vypočítané hodnoty variantu 2 (B – C)

Varianta 2				
svorky	B - C			
R_Z [k Ω]	U_{RZ} [V]	I_0 [mA]	R_i [Ω]	U_{RZV} [V]
1				
5				
10				
20				
50				
100				

Tabulka 3.2-6 Pro naměřené a vypočítané hodnoty variantu 2 (A – C)

Varianta 2				
svorky	A - C			
R_Z [k Ω]	U_{RZ} [V]	I_o [mA]	R_i [Ω]	U_{RZV} [V]
1				
5				
10				
20				
50				
100				

Varianta 3:

Tabulka 3.2-7 Pro naměřené a vypočítané hodnoty variantu 3 (A – B)

Varianta 3				
svorky	A - B			
R_Z [k Ω]	U_{RZ} [V]	I_o [mA]	R_i [Ω]	U_{RZV} [V]
1				
5				
10				
20				
50				
100				

Tabulka 3.2-8 Pro naměřené a vypočítané hodnoty variantu 3 (B – C)

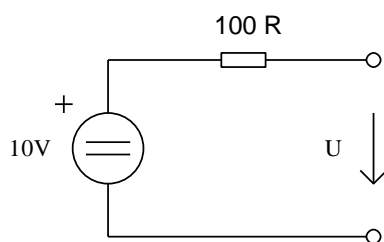
Varianta 3				
svorky	B - C			
R_Z [k Ω]	U_{RZ} [V]	I_o [mA]	R_i [Ω]	U_{RZV} [V]
1				
5				
10				
20				
50				
100				

Tabulka 3.2-9 Pro naměřené a vypočítané hodnoty variantu 3 (A – C)

Varianta 3				
svorky	A - C			
R_Z [k Ω]	U_{RZ} [V]	I_o [mA]	R_i [Ω]	U_{RZV} [V]
1				
5				
10				
20				
50				
100				

3.2.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Nakreslete náhradní schéma Nortonova teorému a popište ho.
- K čemu nám slouží Nortonův teorém?
- Nakreslete ekvivalentní zapojení na obrázku 3.2-9 pro Nortonův teorém.



Obrázek 3.2-9 Náhradní schéma dle Théveninova teorému

4 PRACOVNÍ ÚLOHA PRO PRACOVNÍŠTĚ 4

4.1 MĚŘENÍ NA ODPOROVÉ SÍTI A VÝPOČET METODOU SMYČKOVÝCH PROUDŮ A SUPERPOZICE

4.1.1 ÚKOL

Pomocí metody smyčkových proudů a superpozice, proveďte výpočet úbytku napětí U_{R_3} a proud I_{R_3} tekoucí rezistorem R_3 , mezi body AB. Provedené výpočty ověřte měřením. Uvedené výpočty a měření proveďte pro schéma na obrázku 4.1-1. Vypočítané a naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky 4.1-1 a v závěru mezi sebou porovnejte.

4.1.2 TEORETICKÝ ROZBOR

Uvedené metody patří mezi základní principy řešení lineárních obvodů s více zdroji proudu a napětí. Metody vychází z Kirchhoffových zákonů a zjednodušují nám daný výpočet.

Metoda smyčkových proudů:

Při řešení odporových sítí, kdy potřebujeme vypočítat napětí na určené součástce, využíváme znalostí 2. Kirchhoffova zákona (1), který zní: V uzavřeném obvodu je algebraický součet všech napětí (spotřebičů) jednotlivých větví roven algebraickému součtu napětí zdrojů.

$$\sum_{x=1}^n R_x I_x = \sum_{y=1}^n U_y \quad [\Omega; A, V] \quad (1)$$

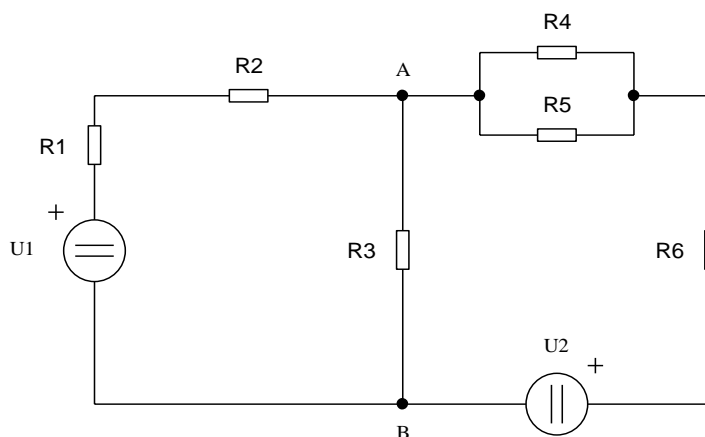
Analyzovaný obvod nejdříve rozdělíme na smyčky. Smyčkou uvažujeme každý uzavřený obvod, ve kterém již není žádná větev. Ve všech smyčkách vyznačíme směr proudu. Směr proudu je nejlépe vyznačit stejným směrem. Pro všechny dané smyčky napíšeme rovnici podle 2. Kirchhoffova zákona. Kontrola správnosti napsaných rovnic je, že proudy pro společný prvek dvou smyček musí být s opačnými znaménky.

Z vytvořených rovnic vypočítáme jednotlivé proudy všech smyček. Z proudů smyček vypočítáme úbytek napětí U_{R_3} na rezistoru R_3 , popř. dle potřeby další úbytky napětí na ostatních rezistorech [4].

Metoda superpozice:

V lineárních obvodech můžeme využít metody superpozice, kde uvažujeme působení každého zdroje samostatně. Analyzovaný obvod zjednodušíme, vždy pro jeden zdroj a vypočítáme úbytek napětí na požadované součástce. Uvedený postup provedeme pro každý zdroj v obvodu. Vyřazené zdroje jsou nahrazeny skutečnými zdroji napětí a proudu. Zdroj napětí nahradíme zkratem a zdroj proudu nahradíme přerušeným spojem. Celkový úbytek napětí je součet všech dílčích úbytků v obvodu na požadované součástce [4].

4.1.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 4.1-1 Zapojení víceúhňového děliče se dvěma zdroji napětí

Legenda:

$R_1 = 20 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 15 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 5 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 5 \text{ k}\Omega$, $R_6 = 5 \text{ k}\Omega$

$U_1 = 10 \text{ V}$, $U_2 = 6 \text{ V}$

4.1.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul prvků, 2x programovatelný DC zdroj, měřicí přístroj Metex M3890D, sada rezistorů, propojky a propojovací kablíků.

4.1.5 POSTUP MĚŘENÍ

- a. Nejdříve proveďte výpočet dle metody smyčkových proudů a principu superpozice. Pomocí uvedených metod vypočítejte úbytek napětí U_{R3} , proud I_{R3} na rezistoru R_3 . Hodnoty zaznamenejte do tabulky 4.1-1.
- b. Postupně zapojte obvod podle obrázku 4.1-1.
- c. Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- d. Změřte úbytek napětí U_{R3} a proud I_{R3} na rezistoru R_3 .
- e. Všechny naměřené a vypočítané hodnoty zaznamenejte do tabulky 4.1-1.
- f. Do protokolu uveďte postup výpočtu pro metodu smyčkových proudů a principu superpozice.
- g. V závěru porovnejte vypočítané a naměřené hodnoty z obou dvou metod.

4.1.6 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 4.1-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty mezi body (A – B)

svorky	A - B	
	U_{R3} [V]	I_{R3} [mA]
smyčkové proudy		
superpozice		
naměřené hodnoty		

4.1.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Jaké prvky můžete použít pro metodu smyčkových proudů a superpozice?
- b. Jakou metodu použijete pro řešení složitějších obvodů, pokud si můžete vybrat mezi Kirchhoffovými zákony a metodou smyčkových proudů? Odpověď zdůvodněte.
- c. Můžete v uvedeném schématu na obrázku 4.1-1, použít místo napětového zdroje zdroj proudový?

4.2 MĚŘENÍ NA ZATÍŽENÉM MŮSTKU A VÝPOČET POMOCÍ THÉVENINOVA TEORÉMU A TRANSFIGURACE

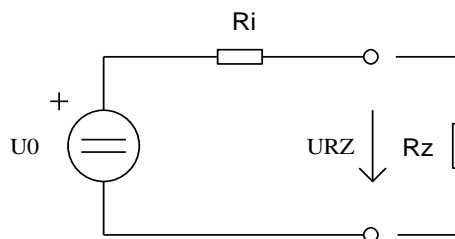
4.2.1 ÚKOL

Pomocí Théveninova teorému a transfigurace trojúhelník - hvězda, proveďte výpočet úbytku napětí U_{RZ} mezi body AB. Do protokolu uveďte postup výpočtu pro Théveninovu metodu a transfiguraci na zátěžovém rezistoru $R_Z = 1 \text{ k}\Omega$. Provedené výpočty ověřte měřením. Uvedené výpočty a měření proveďte pro schéma na obrázku 4.2-4. Vypočítané a naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a v závěru mezi sebou porovnejte.

4.2.2 TEORETICKÝ ROZBOR

Théveninův teorém:

Tuto metodu jsme podrobněji rozebírali v úloze č. 3.1. Potřebujeme vypočítat úbytek napětí na spotřebiči U_{RZ} popř. proud procházející spotřebičem I_Z . Obvod zjednodušíme podle obrázku 4.2-1 na jeden ideální zdroj napětí U_0 se zapojeným v sérii vnitřním odporem R_i . Na výstupních svorkách bude připojen spotřebič R_Z . Pro konečné výpočty nejdříve vypočítáme vnitřní odpor R_i , napětí U_a a U_b [4].

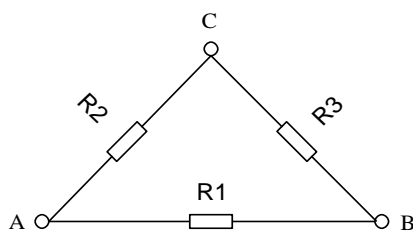


Obrázek 4.2-1 Náhradní schéma Théveninova teorému

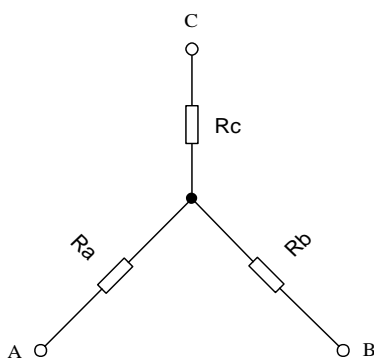
Metoda transfigurace:

V lineárních obvodech můžeme využít metodu transfigurace. Transfigurace se využívá v zapojení, kde máme některé rezistory zapojeny do trojúhelníku a špatně by se nám s nimi počítalo. V našem případě si to ukážeme na zapojení zatíženého můstku obrázek 4.2-4. Pokud tedy potřebujeme vypočítat úbytek napětí na U_{RZ} , použijeme metodu transfigurace. Postupným zjednodušováním např. rezistory R_1 , R_2 , a R_Z zapojené do trojúhelníku nahradíme rezistory R_a , R_b , a R_c . Zapojení do trojúhelníku a do hvězdy musí mít stejné hodnoty mezi body A, B a C. Ekvivalentní zapojení je na obrázku 4.2-2 a 4.2-3 a vztahy mezi uvedenými body jsou podle (1, 2, a 3) [6].

Z vytvořených rovnic vypočítáme jednotlivé proudy v obvodu. Z proudů vypočítáme úbytky napětí.



Obrázek 4.2-2 Zapojení rezistorů do trojúhelníku



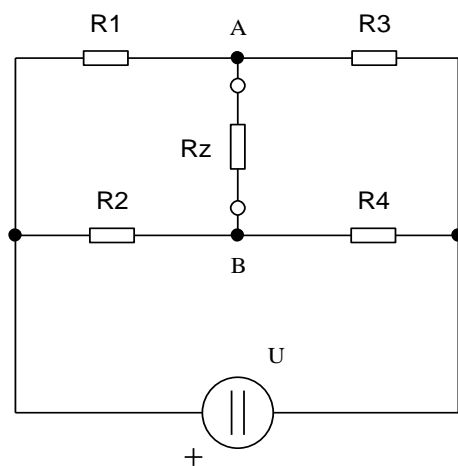
Obrázek 4.2-3 Zapojení rezistorů do hvězdy

$$R_a = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \quad [\Omega] \quad (1)$$

$$R_b = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad [\Omega] \quad (2)$$

$$R_c = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad [\Omega] \quad (3)$$

4.2.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 4.2-4 Zapojení zatíženého můstku

Legenda:

$R_1 = 5 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 50 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 10 \text{ k}\Omega$,

$R_Z = 1 \text{ k}\Omega$, $2 \text{ k}\Omega$, $5 \text{ k}\Omega$, $10 \text{ k}\Omega$, $20 \text{ k}\Omega$, $50 \text{ k}\Omega$ a $100 \text{ k}\Omega$

$U = 10 \text{ V}$

4.2.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul prvků, programovatelný DC zdroj, měřicí přístroj Metex M3890D, sada rezistorů, odporová dekáda 2, propojky a propojovací kablíky.

4.2.5 POSTUP MĚŘENÍ

- a. Nejdříve proved'te výpočet dle Théveninova teorému a transfigurace.
- b. Výpočty a měření proved'te pro hodnoty rezistorů:
 $R_Z = 1 \text{ k}\Omega, 2 \text{ k}\Omega, 5 \text{ k}\Omega, 10 \text{ k}\Omega, 20 \text{ k}\Omega, 50 \text{ k}\Omega$ a $100 \text{ k}\Omega$.
- c. Zapojte obvod podle obrázku 4.2-4.
- d. Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- e. Změřte úbytek napětí na rezistoru U_{RZ} pro všechny hodnoty rezistorů R_Z .
- f. Naměřené a vypočítané hodnoty запиšte do tabulky 4.2-1.
- g. Do protokolu uveďte postup výpočtu pro Théveninovu metodu a transfiguraci na zátěžovém rezistoru $R_Z = 1 \text{ k}\Omega$.
- h. V závěru porovnejte výpočet a naměřené hodnoty.

4.2.6 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

U_{RZ} naměřená hodnota

U_{RZTH} vypočítaná hodnota pro Théveninův teorém

U_{RZTR} vypočítaná hodnota pro transfiguraci

Tabulka 4.2-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty napětí mezi body (A – B)

svorky	A - B		
R_Z [k Ω]	U_{RZ} [V]	U_{RZTH} [V]	U_{RZTR} [V]
1			
2			
5			
10			
20			
50			
100			

4.2.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Nakreslete a popište náhradní schéma Théveninova teorému.
- b. Nakreslete a popište transfiguraci trojúhelník – hvězda.
- c. K čemu nám slouží transfigurace?

5 PRACOVNÍ ÚLOHA PRO PRACOVNÍŠTĚ 5

5.1 MĚŘENÍ KAPACITY S VYUŽITÍM REAKTANCE

5.1.1 ÚKOL

Změřte kapacity uvedených kondenzátorů pomocí Ohmovy metody pro malé a velké kapacity. Měření proveďte pro hodnoty $C = 3,3 \text{ nF}$, 10 nF , 33 nF , 100 nF a $1 \text{ } \mu\text{F}$. Z naměřených hodnot v grafu znázorněte závislost $I = F(f)$ a $X_C = F(f)$ pro hodnoty kondenzátoru $C = 3,3 \text{ nF}$ a 100 nF , dle vypočítané mezní kapacity C_H vztah (3). Uvedené kondenzátory změřte na digitálním můstku a vypočítejte relativní chybu měření. V závěru mezi sebou jednotlivá měření porovnejte.

5.1.2 TEORETICKÝ ROZBOR

Tato metoda je obdobná jako pro měření rezistorů. Je to metoda nepřímá a měříme u ní napětí a proud při zadaných kmitočtech. Pro napájení obvodu použijeme střídavý proud sinusového průběhu z generátoru. Ve střídavém obvodu se kondenzátor chová jako odpor. Tento odpor nazýváme kapacitní reaktance X_C a spočítáme ho podle následujícího vztahu z Ohmova zákona (1) [5]:

$$X_C = \frac{U}{I} \quad [\Omega; \text{V}, \text{A}] \quad (1)$$

Pokud známe reaktanci, můžeme vypočítat celkovou kapacitu kondenzátoru (2):

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} \quad [\text{F}; \text{Hz}, \Omega] \quad (2)$$

Pro naše měření využijeme metodu pro malé a velké kapacity. Z tohoto důvodu vypočítáme hraniční kapacitu kondenzátoru dle vztahu (3):

$$C_H = \frac{1}{2\pi f \sqrt{R_a R_v}} \quad [\text{F}; \text{Hz}, \Omega, \Omega] \quad (3)$$

Vnitřní odpor ampérmetru jsme zjistili v úloze č. 1.3. Vnitřní odpor voltmetru jsme zjistili v úloze č. 2.1 nebo ho můžeme zjistit z dokumentace měřicího přístroje.

Kondenzátor se řadí mezi pasivní součástky a jeho schopností je uchovat si elektrický náboj. Pokud bereme v úvahu ideální kondenzátor zapojený do střídavého obvodu, tak na kondenzátoru předbíhá proud před napětím o 90° . Ve skutečnosti je tento posun vždy menší. Při zapojování kondenzátoru do obvodu musíme brát zřetel na jeho maximální dovolené napětí. Pokud bychom tuto mez překročili, tak hrozí zničení kondenzátoru tzv. průraz dielektrika. Na materiálu dielektrika záleží další parametry, které jsou důležité pro vlastnosti kondenzátoru. Jedná se o svodový proud a ztrátový činitel.

Kondenzátory dělíme:

Podle změny kapacity:

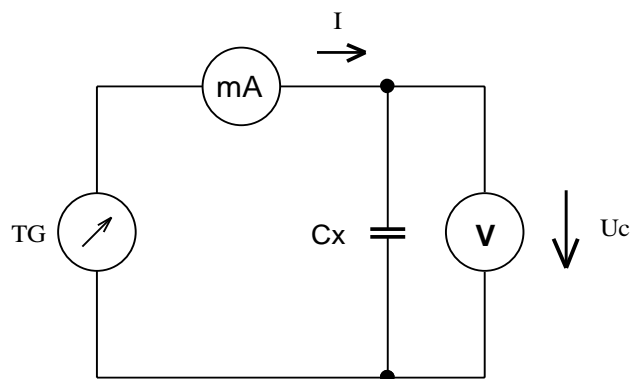
- pevné
- laditelné
- kapacitní trimry

Podle technologie výroby:

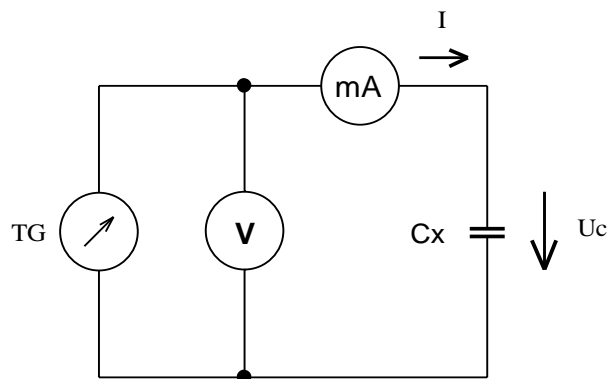
- keramické
- elektrolytické
- svítkové
- slídové
- s papírovým dielektrikem
- tantalové

Základní jednotkou kapacity je F Farad. Tato jednotka pro používání v běžné praxi je značně velká, proto se používají dílčí jednotky $1 \text{ F} = 10^6 \mu\text{F}$, 10^9 nF a 10^{12} pF .

5.1.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 5.1-1 Zapojení pro měření velkých hodnot kapacit



Obrázek 5.1-2 Zapojení pro měření malých hodnot kapacit

Legenda:

$C_X = 3,3 \text{ nF}, 10 \text{ nF}, 33 \text{ nF}, 100 \text{ nF}$ a $1 \mu\text{F}$

$U_{stř} = 6 \text{ V}_{PP}$

5.1.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul prvků, měřicí přístroj Metex M3890D, signální generátor Rigol DG1022, digitální můstek HM8118, kondenzátory $C = 3,3 \text{ nF}, 10 \text{ nF}, 33 \text{ nF}, 100 \text{ nF}$ a $1 \mu\text{F}$, propojky a propojovací kablíky.

5.1.5 POSTUP MĚŘENÍ

- Měření a výpočty proved'te pro hodnoty kondenzátorů:
 $C = 3,3 \text{ nF}, 10 \text{ nF}, 33 \text{ nF}, 100 \text{ nF}$ a $1 \text{ } \mu\text{F}$.
- Zapojte postupně obvody podle obrázku 5.1-1 a 5.1-2.
- Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- Na generátoru nastavte úroveň $U_{stř} = 6 \text{ V}_{PP}$ Sine a postupně dle tabulek 5.1-1 a 5.1-2 nastavte požadované kmitočty pro každý kondenzátor.
- Naměřené hodnoty U a I zapište do tabulek 5.1-1 a 5.1-2.
- Pro každý kondenzátor proved'te měření oběma metodami.
- Z naměřených a vypočítaných hodnot znázorněte graf $I = F(f)$ a $X_C = F(f)$ pro hodnotu kondenzátoru $C = 3,3 \text{ nF}$ a $C = 100 \text{ nF}$ dle vypočítané mezní kapacity.
- V závěru porovnejte výpočet a naměřené hodnoty z digitálního můstku.

5.1.6 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 5.1-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty velkých kapacit

měření velkých kapacit							
f [Hz]	U [V]	I [μA]	I_K [μA]	X_C [Ω]	$C_{m\acute{u}s}$ [F]	C [F]	δ [%]
50							
100							
200							
400							
600							
800							
1000							
						průměr	součet

Tabulka 5.1-2 Pro naměřené a vypočítané hodnoty malých kapacit

měření malých kapacit							
f [Hz]	U [V]	I [μ A]	U_V [V]	X_C [Ω]	$C_{m\acute{a}s}$ [F]	C [F]	δ [%]
50							
100							
200							
400							
600							
800							
1000							
						průměr	součet

Tabulka 5.1-3 Výpočet mezní kapacity C_M

f [Hz]	C_M [F]
50	
100	
200	
400	
600	
800	
1000	
průměr	

5.1.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Co je to kondenzátor a na čem závisí jeho kapacita?
- Jak se chová kondenzátor ve střídavém obvodu?
- Podle čeho dělíme kondenzátory?

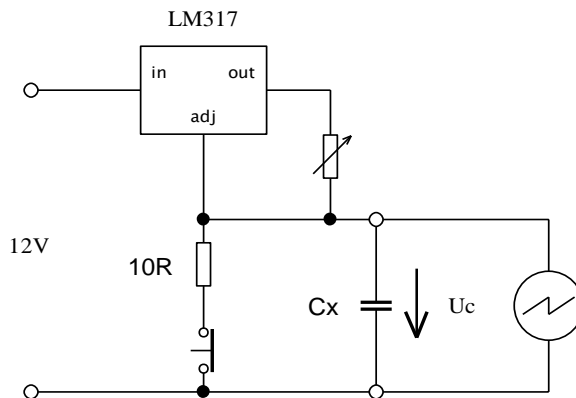
5.2 MĚŘENÍ KAPACITY KONDENZÁTORU OSCILOSKOPEM

5.2.1 ÚKOL

Změřte kapacity uvedených kondenzátorů pomocí osciloskopu, zdroje proudu a přípravku pro měření kondenzátoru. Pro kondenzátor $C = 10 \text{ nF}$ uložte měření z osciloskopu do souboru a jako obrázek vložte do protokolu. Měření proveďte pro hodnoty $C_X = 1 \text{ nF}$, 10 nF , 33 nF , 100 nF a $1 \text{ }\mu\text{F}$. Uvedené kondenzátory změřte na digitálním můstku a vypočítejte relativní chybu měření.

5.2.2 TEORETICKÝ ROZBOR

Tuto měřicí metodu lze v praxi použít, pokud máme k dispozici pouze zdroj proudu a osciloskop. Při této metodě využíváme nabíjení kondenzátoru konstantním proudem, který roste lineárně. Zapojení přípravku je na obrázku 5.2-1.



Obrázek 5.2-1 Schéma zapojení přípravku pro měření kapacit kondenzátorů

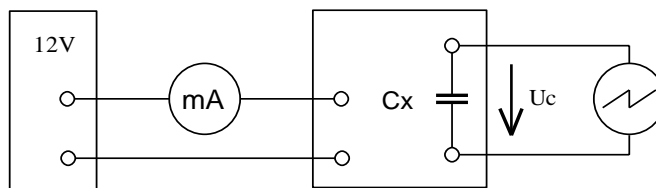
Integrovaný obvod LM317 tvoří proudový zdroj. Zdrojem nabíjíme měřený kondenzátor, na kterém snímáme přírůstek napětí pomocí osciloskopu. Proud stabilizátoru by měl být konstantní. Pomocí potenciometru nastavujeme vhodný proud pro měření. Pro větší kapacity volíme větší proud až do 1 A, pro menší kapacity by měla být hodnota proudu kolem 10 mA. Přípravek zapojíme dle obrázku 5.2-2 a po zapnutí napájení 12 V, sepnutém tlačítku a zapojeného měřeného kondenzátoru, zkontrolujeme proud, který by měl být konstantní. Při uvolnění tlačítka, napětí na kondenzátoru začne lineárně stoupat až

do hodnoty o 1 V menší, než je na stabilizátoru proudu. Tento časový průběh je zaznamenaný na osciloskopu, kde pomocí diferenciálních kurzorů odečteme hodnoty pro přírůstek času Δt a napětí ΔU . Uvedené hodnoty včetně změřeného proudu dosadíme do vztahu (1) a vypočítáme výslednou kapacitu kondenzátoru [7]:

$$C = \frac{I \cdot \Delta t}{\Delta U} \quad [\text{F}; \text{A}, \text{s}, \text{V}] \quad (1)$$

Při zapojování kondenzátoru do obvodu musíme brát zřetel na jeho maximální dovolené napětí. Pokud bychom tuto mez překročili, tak hrozí zničení kondenzátoru tzv. průraz dielektrika.

5.2.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 5.2-2 Zapojení přípravku pro měření kapacit kondenzátorů

Legenda:

$C_X = 1 \text{ nF}, 10 \text{ nF}, 33 \text{ nF}, 100 \text{ nF}$ a $1 \text{ } \mu\text{F}$

$U = 12 \text{ V}$

5.2.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul prvků, měřicí přístroj Metex M3890D, digitální můstek HM8118, osciloskop DSO-5200A, přípravek pro měření kondenzátorů, kondenzátory $C = 1 \text{ nF}, 10 \text{ nF}, 33 \text{ nF}, 100 \text{ nF}$ a $1 \text{ } \mu\text{F}$, vlastní flash disk, propojky a propojovací kablíky.

5.2.5 POSTUP MĚŘENÍ

- Zapojte obvod podle obrázku 5.2-2, včetně přípravku pro měření kondenzátorů.
- Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- Na zdroji nastavte 12 V a na osciloskopu nastavte rozsahy pro kanál 1 2 V/dílek a Time 10 – 20 μs /dílek.
- Stiskněte tlačítko na přípravku a změřte proud I , který zapište do tabulky 5.2-1. Proud nastavte potenciometrem, pro nejlepší průběh na osciloskopu.
- Na osciloskopu pro odečtení naměřených hodnot, nastavte kurzory do lineární části měřené charakteristiky pro přírůstek ΔU a Δt . Hodnoty zaznamenejte do tabulky 5.2-1.
- Dle uvedeného vzorce proveďte výpočet pro měřenou kapacitu kondenzátoru.
- Měřený kondenzátor změřte na digitálním můstku a vypočítejte relativní chybu.
- Do protokolu přidejte obrázek z měření, obrazovky osciloskopu pro kondenzátor $C = 10 \text{ nF}$.
- V závěru porovnejte výpočet a naměřené hodnoty z digitálního můstku.

5.2.6 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 5.2-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty kapacit a metody pomocí osciloskopu

C [nF]	I [mA]	Δt [μs]	ΔU [V]	C_{VYP} [F]	$C_{m\acute{u}s}$ [F]	δ [%]
1						
10						
33						
100						
1000						

5.2.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Vysvětlete a popište paralelní zapojení kondenzátorů.
- Vysvětlete a popište sériové zapojení kondenzátorů.
- Jak se chová kondenzátor ve stejnosměrném obvodu?

6 PRACOVNÍ ÚLOHA PRO PRACOVIŠTĚ 6

6.1 MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK KŘEMÍKOVÝCH, GERMANIOVÝCH A SCHOTKYHO DIOD

6.1.1 ÚKOL

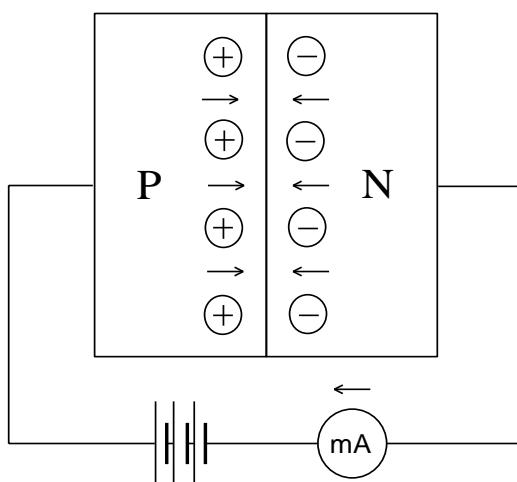
Změřte voltampérovou charakteristiku zadaných diod (*KA262*, *IN4007*, *GA202* a *BAT48*). Charakteristiku změřte v propustném i závěrném směru. Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a znázorněte graf $I = f(U)$ - VA charakteristiku diod. V závěru mezi sebou jednotlivá měření porovnejte.

6.1.2 TEORETICKÝ ROZBOR

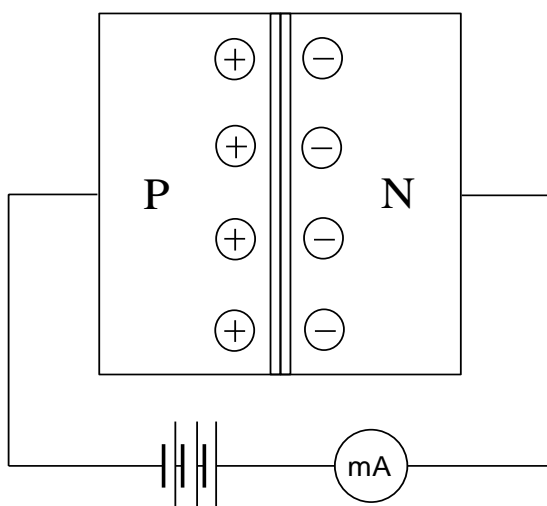
Při této metodě použijeme pro každou diodu dvě zapojení. V prvním zapojení budeme měřit charakteristiku diody v propustném směru a ve druhém měření budeme měřit charakteristiku diody v závěrném směru. Před začátkem měření si z katalogových listů zjistíme hodnoty parametrů pro měřené diody.

Dioda je tvořena jediným krystalem. Atom je tvořen společně z jádra a elektronů. Z více atomů je tvořena krystalická mřížka. Za normálních okolností nemohou valenční elektrony překonat síly, které se podílejí na soudržnosti jednotlivých sousedních atomů. Když se v blízkosti elektronu objeví mezera tzv. díra, má elektron tendenci přeskočit. Tím způsobí, že na jeho původním místě vznikne nová díra. Říkáme, že elektron se posunul jedním směrem a zároveň díra ustoupila opačným směrem. Elektron má záporný náboj a díra má kladný náboj. Například vlivem teploty v polovodiči dochází ke kmitání v krystalické mřížce a vzniká volný pohyb elektronů a děr. V neupraveném polovodiči je však volných elektronů malé množství, proto je proud nepatrný. Pro dobrou funkci diody přidáváme do krystalu polovodiče příměsi cizích atomů. Podle typu přidaného prvku rozdělujeme typy vodivosti na N a P. V odborné literatuře se můžeme setkat s názvem majoritní a minoritní nosiče náboje. Rozdíl je, že u každého typu vodivosti převládá jeden náboj. Vodivost typu N vzniká přidáním prvku, který má více valenčních elektronů než germanium nebo křemík. Jako prvky se používají např. fosfor, arsen nebo antimon. Jelikož

v tomto krystalu převládá vodivost negativních nábojů, je vodivost negativní. Elektron má vždy náboj záporný. Vodivost typu P získáme, pokud do krystalu přidáme další prvek bóru, galia, hliníku nebo india. V krystalické mřížce vznikne přebytek děr, které jsou majoritními nosiči kladného náboje. Pokud takové dva typy vodivostí spojíme, vznikne jeden polovodičový přechod mezi dvěma vrstvami, tzv. polovodičová dioda. Dioda se bude chovat podle toho, jakou polaritu napětí připojíme na její vývody z krystalů P a N. Hlavní vlastností přechodu PN je, že vede proud jedním směrem [8].



Obrázek 6.1-1 Přejchod PN polarizovaný v propustném směru



Obrázek 6.1-2 Přejchod PN polarizovaný v závěrném směru

Pokud diodu zapojíme v propustném směru. Na vývod P (anodu) připojíme kladné napětí a na vývod N (katodu) připojíme záporné napětí, začne diodou protékat proud. Pokud na diodě obrátíme polaritu napětí, proud diodou nepoteče. Tohoto efektu se hlavně využívá v usměřovačích, kde dioda propustí pouze jednu část periody.

Základní rozdělení diod podle typu použití:

- usměřovací
- spínací
- Zenerovy
- Schotkyho
- kapacitní (varikap)

Podle druhu polovodičového materiálu:

- germániové
- křemíkové
- selenové (používané dříve)

Podle provedení:

- hrotové
- plošné
- vakuové diody (používané dříve)

Podle technologie výroby:

- klasické (axiální nebo radiální)
- SMD (Surface Mount Device)

Některé důležité parametry diod pro naše měření:

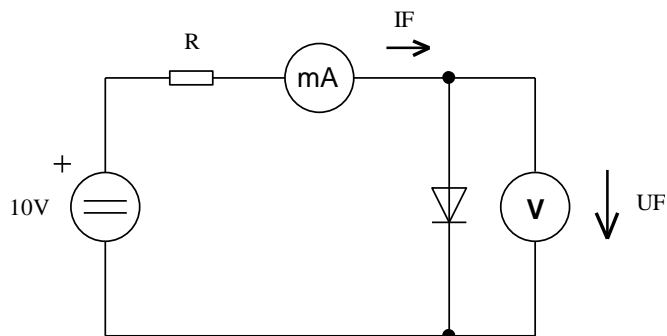
- prahové napětí
- maximální propustné napětí
- maximální závěrné napětí
- závěrný proud
- mezní kmitočet
- dynamický odpor

Výpočet ochranného rezistoru:

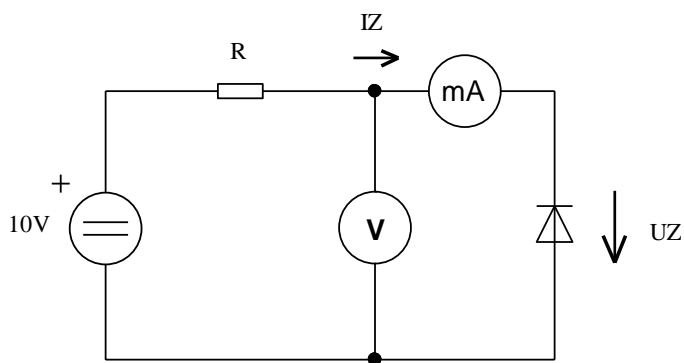
Pro výpočet ochranného rezistoru použijte následující výpočet. Hodnoty najdete v katalogových listech. Pro výpočet použijte 1/10 hodnoty proudu I_{Fmax} .

$$R = \frac{U_0 - U_F}{1/10 I_{Fmax}} \quad [\Omega; U, U, A] \quad (1)$$

6.1.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 6.1-3 Zapojení pro měření charakteristiky diody v propustném směru



Obrázek 6.1-4 Zapojení pro měření charakteristiky diody v závěrném směru

Legenda:

R = dle výpočtu

$U = 10 \text{ V}$

6.1.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul prvků, programovatelný DC zdroj, měřicí přístroj Metex M3890D, diody (*KA262*, *1N4007*, *GA202*, *BAT48*), propojky a propojovací kablíky.

6.1.5 POSTUP MĚŘENÍ

- a. Veškeré údaje o měřených diodách naleznete na internetových stránkách. Zjistěte z katalogových listů proud $I_{F\ max}$.
- b. Podle uvedeného vztahu, vypočítejte ochranný odpor R . Zaokrouhlení hodnoty rezistoru, proveďte podle používané řady.
- c. Zapojte obvod podle obrázku 6.1-3 pro propustný směr a dále podle obrázku 6.1-4 pro závěrný směr.
- d. Měření vždy proveďte pro dané typy diod *KA262*, *1N4007*, *GA202* a *BAT48*.
- e. Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- f. Na zdroji postupně nastavujte hodnoty napětí dle tabulky 6.1-1 pro každou diodu.
- g. Naměřené hodnoty U_F , I_F , U_Z a I_Z zapište do tabulky 6.1-1 pro každou diodu.
- h. Z naměřených a vypočítaných hodnot znázorněte graf $I = F(U)$.
- i. V závěru porovnejte VA charakteristiky pro měřené diody.

6.1.6 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 6.1-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty diod KA262, 1N4007, GA202 a BAT48

U [V]	U_F [V]	I_F [mA]	U_Z [V]	I_Z [mA]	U [V]	U_F [V]	I_F [mA]	U_Z [V]	I_Z [mA]
0,0					5,5				
0,5					6,0				
1,0					6,5				
1,5					7,0				
2,0					7,5				
2,5					8,0				
3,0					8,5				
3,5					9,0				
4,0					9,5				
4,5					10,0				
5,0									

6.1.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Jak se chová dioda v propustném a závěrném směru?
- Jaké znáte druhy diod?
- Uveďte některé důležité parametry diod?

6.2 MĚŘENÍ VA CHARAKTERISTIKY ZENEROVÝCH DIOD

6.2.1 ÚKOL

Změřte voltampérovou charakteristiku Zenerových diod (*BXZ55C 3V0* a *4NZ70*). Charakteristiku změřte v propustném i závěrném směru. Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a znázorněte graf $I = F(U)$ - VA charakteristiku diody. Z VA charakteristiky a pomocí výpočtu vypočítejte diferenciální odpor r_z . V tabulce naměřených hodnot, označte červeně hodnoty, které jste použili pro výpočet. Dále vypočítejte maximální ztrátový výkon P_D . Hodnoty porovnejte s katalogovým listem Zenerovy diody. V závěru mezi sebou jednotlivá měření porovnejte.

6.2.2 TEORETICKÝ ROZBOR

Popis a princip fungování diody jsme si popsali v předchozích úlohách. V této úloze budeme měřit Zenerovy diody, které se používají ke stabilizaci napětí a zapojují se v závěrném směru. Pokud budeme u běžné křemíkové diody zvětšovat závěrné napětí nad jeho maximální přípustnou hodnotu 80 – 1500 V, dojde při jeho překročení k prudkému nárůstu proudu I_Z diodou a nastane průraz diody. Zenerovy diody jsou specifické zvýšeným dopováním příměsí mezi přechodem P a N. Tímto způsobem výroby docílíme zmenšení závěrného napětí v rozmezí 2 – 50 V. Zenerovy diody pracují v závěrném směru a jejich pracovní bod leží právě v oblasti průrazného napětí, proto je potřeba v sérii s diodou zapojit ochranný rezistor. Ochranný rezistor nám omezí proud procházející diodou [8].

U Zenerových diod rozlišujeme dva rozdílné fyzikální jevy. Rozdílné jevy jsou dány Zenerovým napětím U_Z . Pokud je Zenerovo napětí $U_Z < 5$ V dochází v diodě k tzv. Zenerovu jevu. Zenerův jev se projevuje tak, že vlivem elektrického pole dochází k vnitřní emisi elektronů. Pokud máme Zenerovu diodu, která má $U_Z > 6$ V, tak u takovýchto diod dochází k tzv. lavinovému jevu. Lavinový jev má oproti Zenerovu jevu ostřejší zlom voltampérové charakteristiky v závěrném směru. Pokud máme Zenerovo napětí v rozsahu $5 \text{ V} < U_Z < 6 \text{ V}$, tak se jevy vzájemně překrývají [8].

V propustném směru se Zenerova dioda chová obdobně jako normální křemíková spínací nebo usměrňovací dioda. Při tomto zapojení a napětí cca $U_F = 0,6$ V diodou začne stoupat proud v propustném směru I_F . Pro zabránění zničení diody je vždy potřeba do obvodu zařadit ochranný rezistor pro omezení proudu [8].

Zenerova dioda se především používá ke stabilizaci napětí pro zapojení v závěrném směru. V závěrném směru při tzv. Zenerovu napětí se diodou zvýší proud. Tento proud I_Z má velmi strmý průběh, při kterém se Zenerovo napětí U_Z už příliš nemění. Pracovní oblast pro závěrný proud I_Z je dán mezi hodnotami I_Z a $I_{Z\ max}$, které zjistíme z katalogového listu.

Zenerova dioda se používá jako stabilizační prvek. Abychom měli představu o účinku Zenerovy diody, pro posouzení používáme tzv. diferenciální odpor r_Z . Hodnotu diferenciálního odporu najdeme v katalogových listech nebo jí můžeme určit z naměřených hodnot popř. z grafu voltampérové charakteristiky Zenerovy diody. Zenerova dioda pracuje v závěrné části, proto z této části grafu vezmeme její lineární část. Zvolíme na ose y určitou část proudu mezi hodnotami I_Z a $I_{Z\ max}$. Poměrnou část odečteme na ose x, kde máme zobrazeno napětí U_Z . Poměr těchto dvou hodnot nám udává diferenciální odpor r_Z diody. Pro diferenciální odpor r_Z platí, že čím je jeho hodnota menší, tím se méně mění Zenerovo napětí U_Z při změnách proudu I_Z . Výstupní napětí je stabilnější [8].

Vztah pro diferenciální odpor:

$$r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z} \quad [\Omega; V, A] \quad (1)$$

Vztah pro maximální ztrátový výkon P_D :

$$P_D = U_Z \cdot I_{Z\ max} \quad [W; U, I] \quad (2)$$

Popis parametrů a značení námi používaných Zenerových diod:

Pro naše měření použijeme jednu Zenerovu diodu z řady *BZX55C*. Charakteristickou vlastností Zenerovy diody je závěrné napětí U_Z a závěrný proud I_Z . Zenerovo napětí U_Z se nejčastěji vyrábí v řadě E24.

Popis názvu Zenerovy diody:

BZX55C 2V4

B – materiál křemík (Si)

Z – Zenerova dioda

X – průmyslový typ

55 – registrační číslo

C – tolerance $\pm 5\%$

2V4 – Zenerovo napětí – jmenovitá hodnota 2,4 V

Důležité parametry Zenerových diod:

U_Z – jmenovité Zenerovo napětí

I_Z – maximální přípustný proud Zenerovou diodou

r_Z – dynamický odpor (většinou udávaný pro hodnoty $I_Z = 1$ mA nebo $I_Z = 5$ mA)

U_F – napětí v propustném směru při proudu $I_F = 50$ mA

I_R – proud v závěrném směru při určitém U_R

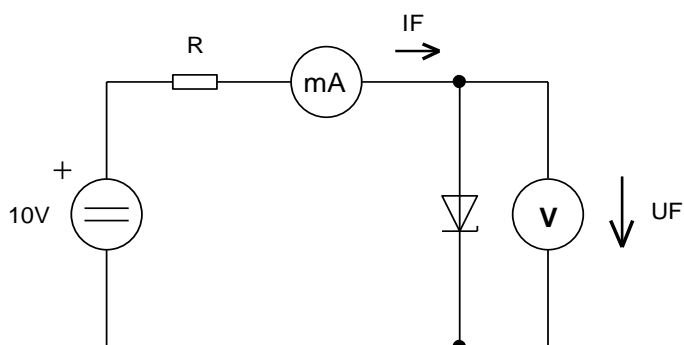
P_{tot} – maximální ztrátový výkon

Výpočet ochranného rezistoru:

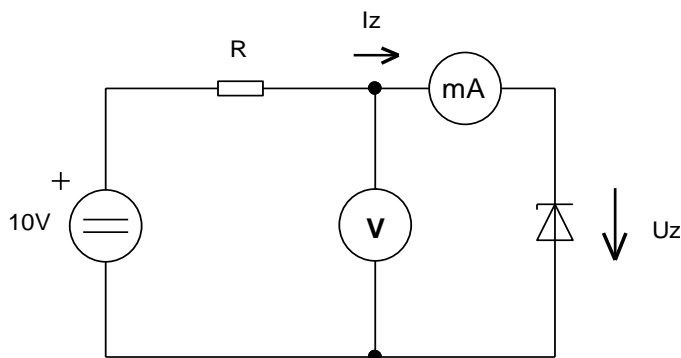
Pro výpočet ochranného rezistoru použijte následující výpočet. Hodnoty najdete v katalogových listech. Pro hodnotu proudu I_Z a I_F použijte maximální hodnotu proudu dodávaného zdroje např. technické parametry zdroje popř. Měření zatěžovací charakteristiky zdroje, úloha 1.1.

$$R = \frac{U_0 - U_Z}{I_Z} \quad [\Omega; V, V, A] \quad (3)$$

6.2.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 6.2-1 Zapojení pro měření charakteristiky Zenerovy diody v propustném směru



Obrázek 6.2-2 Zapojení pro měření charakteristiky Zenerovy diody v závěrném směru

Legenda:

R = dle výpočtu pro určitou Zenerovu diodu

$U = 10 \text{ V}$

6.2.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul prvků, regulovatelný zdroj 0 – 20V, měřicí přístroj Metex M3890D, diody (BXZ55C a 4NZ70), propojky a propojovací kablíky.

6.2.5 POSTUP MĚŘENÍ

- Veškeré údaje o měřené diodě najdete na internetových stránkách. Z katalogových listů Zenerovy diody, zjistěte hodnotu pro proud $I_{Z \max}$. Výpočet ochranného rezistoru, proveďte pro hodnotu $1/5 I_{Z \max}$.
- Podle vztahu (3), vypočítejte ochranný odpor R . Zaokrouhlení hodnoty rezistoru, proveďte podle používané řady.
- Zapojte postupně obvod podle obrázku 6.2-1 pro propustný a podle obrázku 6.2-2 pro závěrný směr.
- Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- Měření vždy proveďte pro daný typ Zenerovy diody.
- Na zdroji postupně nastavte hodnoty napětí dle tabulky 6.2-1.
- Naměřené hodnoty U a I запиšte do tabulky 6.2-1 pro každou diodu.
- Z naměřených a vypočítaných hodnot znázorněte graf $I = F(U)$.
- Na závěr z hodnot v grafu a tabulky vypočítejte diferenciální odpor r_z .

6.2.6 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 6.2-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty pro Zenerovy diody

U_0 [V]	U_F [V]	I_F [mA]	U_z [V]	I_z [mA]	U_0 [V]	U_F [V]	I_F [mA]	U_z [V]	I_z [mA]
0,0					8,0				
0,5					8,5				
1,0					9,0				
1,5					9,5				
2,0					10,0				
2,5					11,0				
3,0					12,0				
3,5					13,0				
4,0					14,0				
4,5					15,0				
5,0					16,0				
5,5					17,0				
6,0					18,0				
6,5					19,0				
7,0					20,0				
7,5									

6.2.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Jak se chová Zenerova dioda v propustném a závěrném směru?
- b. Při jakém napětí u Zenerovy diody nastává Zenerův jev a lavinový jev?
- c. Kde se používají Zenerovy diody? Uveďte příklady.

7 PRACOVNÍ ÚLOHA PRO PRACOVNÍŠTĚ 7

7.1 MĚŘENÍ VA CHARAKTERISTIK LED DIOD

7.1.1 ÚKOL

Změřte voltampérovou charakteristiku zadaných LED (Light emitting diode) diod (červená, zelená, žlutá a modrá). Charakteristiku změřte v propustném směru pro každou diodu. Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a znázorněte graf $I = f(U)$ - VA charakteristiku diod pro každou diodu a v závěrečném grafu pro všechny LED diody. Do grafu vyznačte prahové napětí U_P a určete jeho hodnotu. Prahové napětí U_P určete přibližně a to jako průsečík prodloužením lineární části VA charakteristiky a osy pro napětí U_F . V závěru mezi sebou jednotlivá měření porovnejte.

7.1.2 TEORETICKÝ ROZBOR

V této úloze budeme měřit pouze VA charakteristiky LED diod v propustném směru. Pro měření použijeme zapojení na obrázku 7.1-1. Před začátkem měření si z katalogových listů zjistíme hodnoty parametrů pro měřené diody.

Princip diody jsme popisovali v minulé úloze. Led dioda je polovodičová součástka, která obsahuje také přechod PN jako běžná dioda. Při průchodu proudem LED diodou v propustném směru, přechod vyzařuje nekoherentní světlo v určitém spektru. LED dioda se rozsvítí. LED diody jsou vyráběny od ultrafialového, přes viditelné až po infračervené spektrum. Spektrum LED diody závisí na chemickém složení použitého polovodiče. Pro různé LED diody platí různé úbytky napětí, při kterých se začíná proud v propustném směru zvětšovat. Můžeme říci, že se zkracující vlnovou délkou vyzařovaného světla napětí na LED diodě roste. Dioda je konstrukčně řešena pro různé použití. V našem případě budeme používat LED diody, u kterých je monokrystal překryt kulovými vrchlíky z epoxidové pryskyřice pro lepší konečné vyzařování světla diodou [8].

Základní dělení LED diod je podle vlnové délky:

- infračervená

- viditelné spektrum (červená, oranžová, žlutá, zelená, modrá a bílá)
- ultrafialová

Podle technologie výroby:

- klasické
- SMD
- blikající LED
- LED s ochranným rezistorem

Některé důležité parametry LED diod:

- I_F proud v propustném směru
- U_F úbytek napětí v propustném směru
- λ vlnová délka světla vnímané barvy

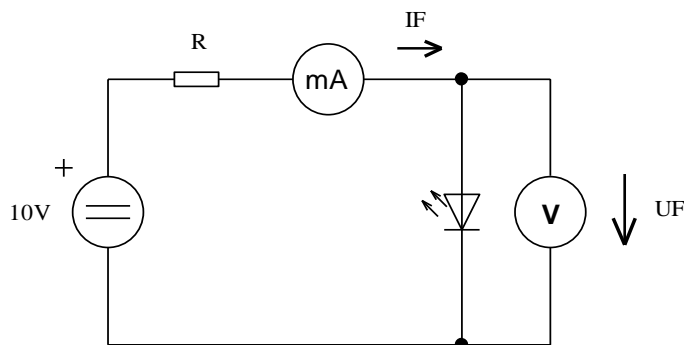
Běžnou LED diodu nesmíme v žádném případě zapojit přímo ke zdroji napětí. V zapojení musíme, vždy použít v sérii zapojený ochranný (srážecí) rezistor R . Toto neplatí u diod, které už obsahují zmíněný rezistor.

Výpočet ochranného rezistoru:

Pro výpočet ochranného rezistoru použijte vztah (1). Hodnoty najdete v katalogových listech. Pro výpočet použijte $\frac{1}{2}$ hodnoty proudu $I_{F \max}$.

$$R = \frac{U_0 - U_F}{0,5 I_{F \max}} \quad [\Omega; V, V, A] \quad (1)$$

7.1.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 7.1-1 Zapojení pro měření charakteristiky LED diody v propustném směru

Legenda:

R = dle výpočtu

$U = 10 \text{ V}$

7.1.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul prvků, programovatelný DC zdroj, měřicí přístroj Metex M3890D, LED diody (červená, zelená, žlutá a modrá), propojky a propojovací kablíky.

7.1.5 POSTUP MĚŘENÍ

- Veškeré údaje o měřených diodách najděte na internetových stránkách. Zjistěte z katalogových listů proud $I_{F \max}$.
- Podle uvedeného vztahu, vypočítejte ochranný odpor R . Zaokrouhlení hodnoty rezistoru, proveďte podle používané řady.
- Zapojte obvod podle obrázku 7.1-1 pro propustný směr.
- Měření vždy proveďte pro dané typy LED diod (červená, zelená, žlutá a modrá).
- Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- Na zdroji postupně nastavte hodnoty napětí dle tabulky 7.1-1.
- Naměřené hodnoty U a I запиšte do tabulky 7.1-1 pro každou diodu.
- Z naměřených a vypočítaných hodnot znázorněte graf $I = F(U)$.
- V závěru porovnejte VA charakteristiky měřených LED diod v jednom grafu.

7.1.6 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 7.1-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty LED diod

U [V]	U_F [V]	I_F [mA]	U [V]	U_F [V]	I_F [mA]
0,0			5,5		
0,5			6,0		
1,0			6,5		
1,5			7,0		
2,0			7,5		
2,5			8,0		
3,0			8,5		
3,5			9,0		
4,0			9,5		
4,5			10,0		
5,0					

7.1.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Co je LED dioda?
- Jak se chová LED dioda v propustném a závěrném směru?
- Jaké znáte rozdělení LED diod?

7.2 MĚŘENÍ VA CHARAKTERISTIKY NTC A PTC TERMISTORU

7.2.1 ÚKOL

Změřte voltampérovou charakteristiku zadaného NTC a PTC termistoru. Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a znázorněte graf $I = f(U)$ - VA charakteristiku termistoru. Do grafu zaznamenejte teplotu, při kterém proběhlo měření. V závěru mezi sebou jednotlivé termistory a jejich měření porovnejte.

7.2.2 TEORETICKÝ ROZBOR

Pro měření této metody použijeme dva voltmetry a proud obvodem vypočítáme podle Ohmova zákona. Pro měření je použito zapojení jako napěťový dělič. S měřením na napěťovém děliči jsme se setkali v předešlých úlohách.

Chování termistoru můžeme charakterizovat odporovou nebo voltampérovou charakteristikou. V této úloze budeme měřit VA charakteristiku pro dva druhy termistorů NTC a PTC. Termistory (Thermal Sensitive Resistor = teplotně závislý odpor) řadíme do kategorie senzorů. Termistory jsou odporová čidla, která mění svoji hodnotu ohmického odporu v závislosti na okolní teplotě. Termistory dělíme na termistory NTC (Negative Temperature Coefficient) a PTC (Positive Temperature Coefficient). Oba dva druhy termistorů se vyrábějí z polykrystalické keramiky ze směsi oxidů kovů. Pokud termistor elektricky málo zatížíme, je jeho teplota shodná s okolní teplotou. Když termistoru dodáme např. tepelnou energii, odpor u termistoru NTC se s nárůstem teploty začne zmenšovat. Pro posouzení vlastností termistoru využijeme VA charakteristiku [9].

Termistor NTC (negastor) je teplotně závislý rezistor, který má záporný teplotní součinitel odporu, což odpovídá, že se zvyšující teplotou se zvyšuje koncentrace nosičů náboje a elektrický odpor se zmenšuje. Termistory NTC vedou lépe elektrický proud při vyšší teplotě [8].

Termistory NTC dělíme:

- kompenzační a měřicí termistory NTC
- rozběhové termistory NTC

Některé důležité parametry NTC termistorů:

- R_0 jmenovitý odpor
- P_{max} jmenovitá zatíženost
- ϑ_L dolní mez teploty
- ϑ_H horní mez teploty

Termistor PTC (pozistor) je teplotně závislý rezistor, který má kladný teplotní koeficient odporu. PTC termistor má nelineární závislost odporu na teplotě. V úzkém rozmezí teplot má termistor PTC velký kladný teplotní součinitel odporu. Odpor s rostoucí teplotou mírně klesá a po překročení Curieho bodu prudce stoupne [8].

Některé důležité parametry PTC termistorů:

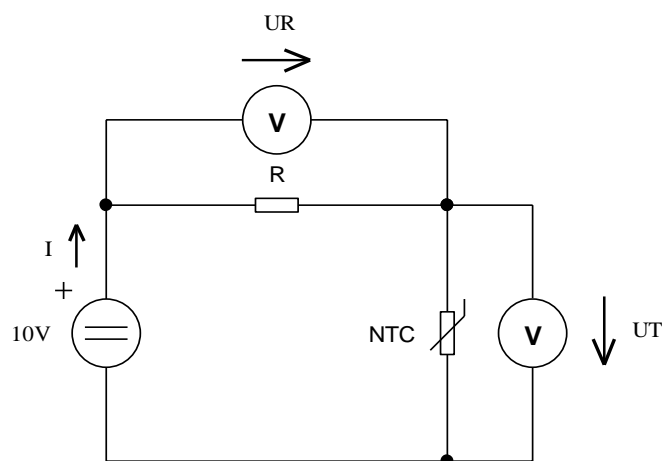
- T_N jmenovitá teplota
- R_{THT} tepelný odpor
- T_S počáteční teplota
- T_E koncová teplota
- α_R teplotní součinitel odporu
- U_{max} maximální napětí

NTC termistory se uplatňují jako kompenzační a měřicí termistory, pro rychlé měření změny teploty a rozběhové termistory.

PTC termistory se uplatňují jako nadproudová ochrana obvodu, hladinová čidla a termostat.

7.2.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ

Pro měření NTC termistoru:



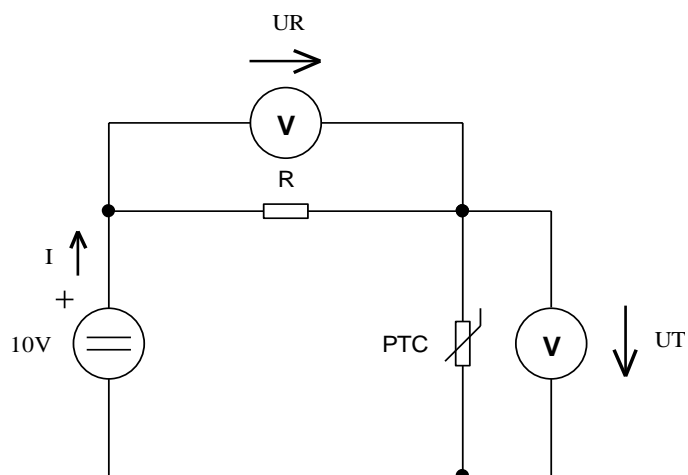
Obrázek 7.2-1 Zapojení pro měření VA charakteristiky NTC termistoru

Legenda:

$$R = 200 \Omega$$

$$U = 10 \text{ V}$$

Pro měření PTC termistoru:



Obrázek 7.2-2 Zapojení pro měření VA charakteristiky PTC termistoru

Legenda:

$$R = 2 \Omega$$

$$U = 10 \text{ V}$$

7.2.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul prvků, programovatelný DC zdroj, měřicí přístroj Metex M3890D, NTC a PTC termistor, propojky a propojovací kablíky.

7.2.5 POSTUP MĚŘENÍ

- a. Postupně zapojte obvod podle obrázku 7.2-1 a obrázku 7.2-2.
- b. Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- c. Měření vždy proveďte pro daný typy termistoru NTC a PTC a uveďte teplotu, při které proběhlo měření.
- d. Na zdroji postupně nastavte hodnoty napětí dle tabulky. Mezi jednotlivými měřeními počkejte alespoň 1 minutu.
- e. Naměřené hodnoty U_{NTC} , U_{PTC} a U_R zapište do tabulky 7.2-1 a 7.2-2.
- f. Z naměřených a vypočítaných hodnot znázorněte graf $I = F(U)$.
- g. V závěru porovnejte VA charakteristiky měřených termistorů NTC a PTC.

7.2.6 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 7.2-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty NTC termistoru

U [V]	U_{NTC} [V]	U_R [V]	I [mA]	U [V]	U_{NTC} [V]	U_R [V]	I [mA]
0,0				5,5			
0,5				6,0			
1,0				6,5			
1,5				7,0			
2,0				7,5			
2,5				8,0			
3,0				8,5			
3,5				9,0			
4,0				9,5			
4,5				10,0			
5,0							

Tabulka 7.2-2 Pro naměřené a vypočítané hodnoty PTC termistoru

U [V]	U_{PTC} [V]	U_R [V]	I [mA]	U [V]	U_{PTC} [V]	U_R [V]	I [mA]
0,0				5,5			
0,5				6,0			
1,0				6,5			
1,5				7,0			
2,0				7,5			
2,5				8,0			
3,0				8,5			
3,5				9,0			
4,0				9,5			
4,5				10,0			
5,0							

7.2.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Co je to termistor?
- Jak se mění odpor u termistoru NTC a PTC?
- Jaké použití mají termistory NTC a PTC?

8 PRACOVNÍ ÚLOHA PRO PRACOVNÍŠTĚ 8

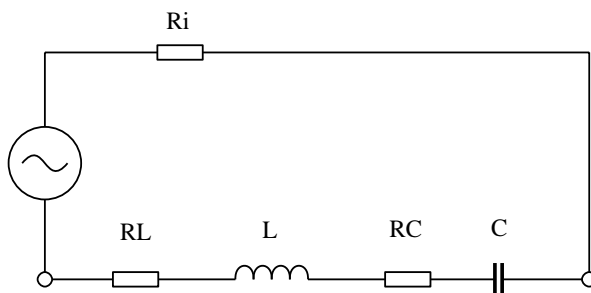
8.1 MĚŘENÍ REZONANČNÍ CHARAKTERISTIKY PRO SÉRIOVÝ LC OBVOD

8.1.1 ÚKOL

Pro sériový LC obvod, vypočítejte a změřte rezonanční kmitočet f_r . Měření, proveďte pomocí jednoho ampérmetru a dvou voltmetrů. Pro určení frekvenčního rozsahu měřených charakteristik, použijte vypočítaný rezonanční kmitočet a zaokrouhlete ho na celé desítkové číslo. Od tohoto výsledku zvolte deset hodnot pod a deset hodnot nad rezonančním kmitočtem s krokem ± 100 Hz. Naměřené hodnoty napětí a proudů zaznamenejte do tabulky. Výsledek porovnejte s výpočtem. Dále vypočítejte reaktanci a impedanci X_L , X_C a Z . Znázorněte grafy $U_L = F(f)$, $U_C = F(f)$, $I = F(f)$, $X_L = F(f)$, $X_C = F(f)$ a $Z = F(f)$. V závěru mezi sebou porovnejte výpočty a měření.

8.1.2 TEORETICKÝ ROZBOR

V této úloze budeme měřit sériový rezonanční obvod a ověříme platnost, že při rezonanci platí $U_L = U_C$. Sériový obvod vznikne pokud, zapojíme do série cívku L a kondenzátor C . Zjednodušené zapojení sériového obvodu je na obrázku 8.1-1 [2] a [6].



Obrázek 8.1-1 Zapojení zjednodušeného sériového obvodu

Vlastnosti cívky nám znázorňují položky R_L a L . Kondenzátor nám znázorňují položky R_C a C . Výsledný ztrátový odpor je dán vztahem:

$$R = R_L + R_C \quad [\Omega] \quad (1)$$

Většinou platí, že ztrátový odpor cívky R_L je mnohem větší než ztrátový odpor kondenzátoru R_C . S dostatečnou přesností platí:

$$R \sim R_L \quad [\Omega; \Omega] \quad (2)$$

Chování rezonačního obvodu připojeného ke zdroji střídavého napětí je závislé na jeho impedanci Z . Impedanci Z vypočítáme jako součet činného odporu a reaktancí cívky a kondenzátoru.

$$Z = R + jX_L + jX_C \quad [\Omega] \quad (3)$$

$$Z = R + j\omega L - j\frac{1}{\omega C} \quad [\Omega] \quad (4)$$

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad [\Omega] \quad (5)$$

Pro rezonanci sériového LC obvodu platí, že imaginární část impedance se rovná nule.

$$j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = 0 \quad (6)$$

Pro absolutní hodnotu impedance sériového rezonančního obvodu platí:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad [\Omega] \quad (7)$$

Pro rezonanční kmitočet platí:

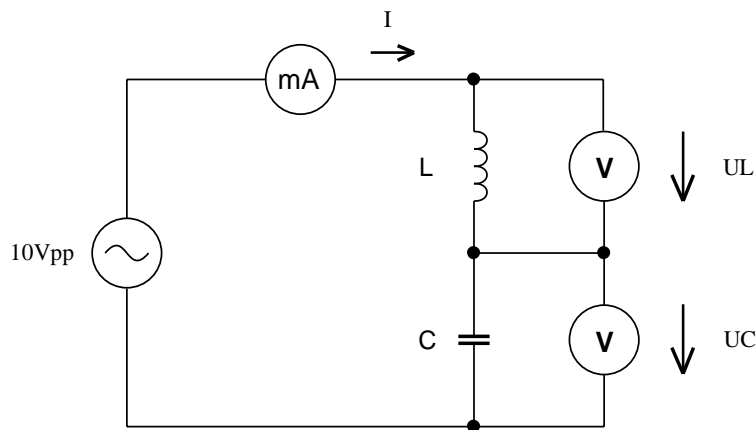
$$X_L = X_C \Rightarrow \omega_r L = \frac{1}{\omega_r C} \Rightarrow \omega_r^2 = \frac{1}{LC} \Rightarrow 2\pi f_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (8)$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [\text{Hz}; \text{H}, \text{F}] \quad (9)$$

Při rezonanci sériového obvodu platí, že $f = f_r$ nebo $U_C = U_L$. Pro napětí o kmitočtu nižším než je rezonanční kmitočet f_r se v obvodu více uplatňuje impedance kapacitního charakteru. Pro kmitočty vyšší, než je rezonanční kmitočet f_r převládá naopak impedance induktivního charakteru. Minimální impedanci má sériový rezonanční obvod na rezonanční frekvenci.

Sériový rezonanční obvod se nejčastěji používá jako odlaďovač pro určité kmitočty (např. ve vstupních nebo v mezifrekvenčních obvodech radiopřijímačů).

8.1.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 8.1-2 Zapojení pro měření sériového LC obvodu

Legenda:

$L = 100 \text{ mH}$

$C = 100 \text{ nF}$

$U = 10 \text{ Vpp}$

8.1.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul prvků, signální generátor Rigol DG1022, měřicí přístroj Metex M3890D,

$L = 100 \text{ mH}$, $C = 100 \text{ nF}$, propojky a propojovací kablíky.

8.1.5 POSTUP MĚŘENÍ

- a. Změřte cívku na digitálním můstku a zjistěte její ohmický odpor, který použijete k dalším výpočtům.
- b. Proveďte výpočet rezonančního kmitočtu f_r a zvolte vhodný rozsah kmitočtů.
- c. Zapojte obvod podle obrázku 8.1-2.
- d. Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- e. Měření proveďte pro deset hodnot pod rezonančním kmitočtem a deset hodnot nad rezonančním kmitočtem.
- f. Na generátoru postupně nastavte vypočítané hodnoty pro měřené frekvence.
- g. Naměřené hodnoty U_L , U_C a I zapište do tabulky 8.1-1.
- h. Z naměřených a vypočítaných hodnot znázorněte graf $U_L = F(f)$, $U_C = F(f)$, $I = F(f)$, $X_L = F(f)$, $X_C = F(f)$ a $Z = F(f)$.
- i. V závěru uveďte změřený rezonanční kmitočet f_r a maximální proud I .

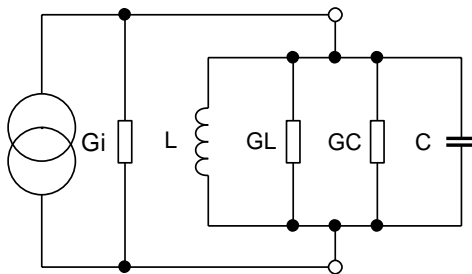
8.2 MĚŘENÍ REZONANČNÍ CHARAKTERISTIKY PRO PARALELNÍ LC OBVOD

8.2.1 ÚKOL

Pro paralelní LC obvod, vypočítejte a změřte rezonanční kmitočet f_r . Měření, proveďte pomocí tří ampérmetrů. Pro určení frekvenčního rozsahu měřených charakteristik, použijte vypočítaný rezonanční kmitočet, který zaokrouhlete na celé desítkové číslo. Od tohoto výsledku zvolte deset hodnot pod a dvacet pět hodnot nad rezonančním kmitočtem s krokem ± 100 Hz. Naměřené hodnoty proudů zaznamenejte do tabulky. Pro změřený rezonanční kmitočet uveďte hodnoty proudů I_C a I_L . Výsledek porovnejte s výpočtem. Dále vypočítejte susceptanci, admitanci a impedanci B_L , B_C , Y a Z . Znázorněte grafy $I = F(f)$, $I_L = F(f)$, $I_C = F(f)$, $B_L = F(f)$, $B_C = F(f)$, $Y = F(f)$ a $Z = F(f)$. V závěru mezi sebou porovnejte výpočty a měření.

8.2.2 TEORETICKÝ ROZBOR

V této úloze budeme měřit paralelní rezonanční obvod. Pro rezonanci paralelního LC obvodu platí, že imaginární část admitance Y je rovna 0. Při rezonanci je impedance nekonečně velká a na paralelním obvodu je nekonečně velké napětí. Teoreticky je obvod zatlumen G_L a G_C . Paralelní obvod vznikne pokud, zapojíme společně paralelně cívku L a kondenzátor C . Zapojení paralelního obvodu je na obrázku 8.2-1 [2] a [6].



Obrázek 8.2-1 Zapojení zjednodušeného paralelního obvodu

Vlastnosti cívky nám znázorňují položky G_L a L , kde G_L je ztrátová vodivost cívky. Vodivost G vyjádříme jako převrácenou hodnotu odporu.

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{U} \quad [\text{S}; \Omega, \text{A}, \text{V}] \quad (1)$$

Kondenzátor nám znázorňují položky G_C a C , kde podobně jako u cívky je G_C ztrátová vodivost kondenzátoru. Výsledná ztrátová vodivost paralelního rezonačního obvodu je dána vztahem:

$$G = G_L + G_C \quad (2)$$

Většinou platí, že ztrátová vodivost kondenzátoru G_C je mnohem menší než ztrátová vodivost cívky G_L . S dostatečnou přesností platí:

$$G \sim G_L \quad (3)$$

Chování paralelního rezonačního obvodu připojeného ke zdroji střídavého napětí je závislé na jeho admitanci Y . Admitance Y je převrácená hodnota impedance Z . Admitanci Y obvodu můžeme také vyjádřit podle Ohmova zákona jako poměr proudu a napětí.

$$Y = \frac{I}{U} \quad [\text{S}; \text{A}, \text{V}] \quad (4)$$

Admitanci Y ve střídavém obvodu vypočítáme jako součet činné ztrátové vodivosti (konduktance) a jalové složky B (susceptance) cívky a kondenzátoru.

$$Y = G + jB_C + jB_L \quad [\Omega^{-1}] \quad (5)$$

$$Y = G + j\omega C - j\frac{1}{\omega L} \quad [\Omega^{-1}; \text{S, rad/s, F, rad/s, H}] \quad (6)$$

$$Y = G + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) \quad [\Omega^{-1}; \text{S, rad/s, F, rad/s, H}] \quad (7)$$

Pro rezonanci paralelního LC obvodu platí, že imaginární část admitance se rovná 0.

$$j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) = 0 \Rightarrow B_C - B_L = 0 \quad (8)$$

Pro absolutní hodnotu admitance paralelního rezonančního obvodu platí:

$$Y = \sqrt{G^2 + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2} \quad [\Omega^{-1}; \text{S, rad/s, F, rad/s, H}] \quad (9)$$

Pro absolutní hodnotu impedance paralelního rezonančního obvodu platí:

$$Z = \frac{1}{\sqrt{G^2 + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}} \quad [\Omega; \text{S, rad/s, F, rad/s, H}] \quad (10)$$

Při výpočtu musíme brát ohled na přepočty mezi sériovými a paralelními kombinacemi ztrátového ohmického odporu u cívky a reaktancí cívky pro každou měřenou frekvenci (tzv. duální obvody). Při výpočtech uvažujeme ideální bezztrátový kondenzátor.

Pro rezonanční kmitočet platí:

$$B_C - B_L = 0 \Rightarrow B_C = B_L \quad (11)$$

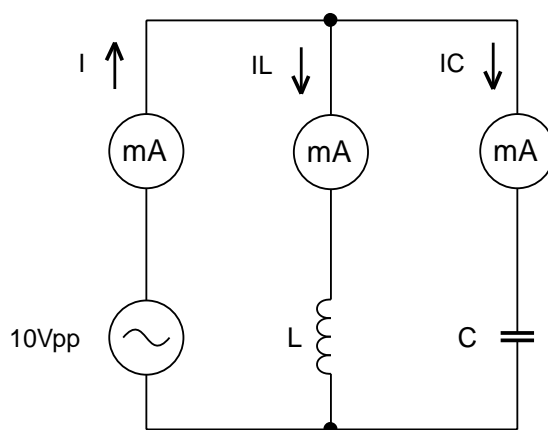
$$\omega_r C = \frac{1}{\omega_r L} \Rightarrow \omega_r^2 = \frac{1}{LC} \Rightarrow 2\pi f_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (12)$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [\text{Hz; H, F}] \quad (13)$$

Pro ideální paralelní rezonanční obvod při rezonanci platí $I_C = I_L$. Pro napětí o kmitočtu nižším než je rezonanční kmitočet f_r se v obvodu více uplatňuje admitance induktivního charakteru. Pro kmitočty vyšší, než je, rezonanční kmitočet f_r převládá naopak admitance kapacitního charakteru. Nejmenší admitanci paralelního rezonančního obvodu nastává při jeho rezonanci f_r , kdy se pouze uplatňuje admitance odporová.

Paralelní rezonanční obvod se nejčastěji používá k výběru určitého kmitočtu z celého spektra (např. ve vstupních obvodech radiopřijímačů, kde pomocí proměnné (C nebo L) vybíráme požadovaný kmitočet, pro který paralelní obvod představuje minimální admitanci čili maximální impedanci, na které vzniká maximální napětí pro zvolený kmitočet).

8.2.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 8.2-2 Zapojení pro měření paralelního LC obvodu

Legenda:

$L = 100 \text{ mH}$

$C = 100 \text{ nF}$

$U = 10 \text{ Vpp}$

8.2.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul prvků, signální generátor Rigol DG1022, měřicí přístroj Metex M3890D,

$L = 100 \text{ mH}$, $C = 100 \text{ nF}$, propojky a propojovací kablíky

8.2.5 POSTUP MĚŘENÍ

- a. Změřte cívku na digitálním můstku a zjistěte její ohmický odpor, který použijete k dalším výpočtům.
- b. Proveďte výpočet rezonančního kmitočtu f_r a dle zadání rozepište měřené frekvence do tabulky 8.2-1.
- c. Zapojte obvod podle obrázku 8.2-2.
- d. Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- e. Měření proveďte pro deset hodnot pod rezonančním kmitočtem a dvacet pět hodnot nad rezonančním kmitočtem.
- f. Na generátoru postupně nastavte hodnoty kmitočtů dle tabulky 8.2-1.
- g. Naměřené hodnoty proudů запиšte do tabulky 8.2-1.
- h. Z naměřených a vypočítaných hodnot znázorněte grafy $I = F(f)$, $I_L = F(f)$, $I_C = F(f)$, $B_L = F(f)$, $B_C = F(f)$, $Y = F(f)$ a $Z = F(f)$.
- i. V závěru uveďte změřený rezonanční kmitočet f_r a proudy I , I_C a I_L .

8.2.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Z jakých prvků se skládá paralelní rezonanční obvod?
- b. Odvoďte vztah pro rezonanční kmitočet paralelního obvodu?
- c. Jaké vlastnosti má paralelní rezonanční obvod?

9 PRACOVNÍ ÚLOHA PRO PRACOVNÍŠTĚ 9

9.1 MĚŘENÍ NA RC ČLÁNKU – DOLNÍ PROPUST, INTEGRAČNÍ ČLÁNEK

9.1.1 ÚKOL

Pomocí generátoru se sinusovým průběhem, změřte pro RC článek (dolní propust) amplitudovou frekvenční charakteristiku a fázovou charakteristiku. Určete frekvenci zlomu (pokles U_2 o 3dB). Podle vztahu (5, 7 a 10) vypočítejte hodnoty pro konstantu τ , zlomovou frekvenci f_Z a amplitudovou frekvenční charakteristiku A_{dB} . Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a znázorněte grafy $A_{dB} = F(f)$, $A_{dBvyp} = F(f)$ a $\varphi = F(f)$. Z grafů určete frekvenci zlomu f_Z (-3 dB). V tabulce naměřených hodnot, označte červeně hodnoty, které jste použili pro výpočet. V závěru mezi sebou jednotlivá měření porovnejte.

Dále pomocí generátoru s obdélkovým průběhem a osciloskopu, zobrazte pro integrační RC článek vstupní a výstupní napětí pro hodnoty konstanty $\tau = RC$, $\tau = \frac{1}{2}RC$ a $\tau = 2RC$. Provedte výpočet a měření pro $t = \tau = RC$. Průběhy z osciloskopu vložte do protokolu.

9.1.2 TEORETICKÝ ROZBOR

Integrační článek se chová jako dolní propust. Skládá se z několika pasivních součástí (rezistor, kondenzátor popř. cívky). V této úloze se budeme zabývat měřením pro kombinaci integračního článku RC. To znamená, že náš měřicí obvod se bude nejdříve skládat z rezistoru a dále z kondenzátoru. Obecně je jedná o dvojbran, kde se předpokládá na vstupu napájení ze zdroje s nulovým vnitřním odporem a výstupní proud se blíží k nule. Zjednodušeně lze říci, že se jedná o kmitočtově závislý dělič napětí. Předpokládejme, že u rezistoru se nám nebude projevovat tzv. povrchový jev a rezistor bude pro kmitočet nezávislý. To nelze říci, ale o kondenzátoru, kde platí vztah:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad [\Omega; \text{Hz}, \text{C}] \quad (1)$$

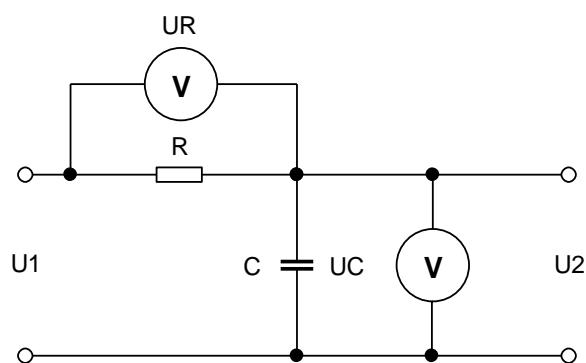
Ze vztahu (1) vyplývá, že čím bude nižší kmitočet f , tím bude vyšší kapacitní reaktance X_C . Pro střídavý proud nižších kmitočtů to znamená, že kondenzátorem s velkou reaktancí proud neprojde a nemůže být sveden k zemnicímu pólu a objeví se na výstupní svorce U_2 . Se zvětšujícím kmitočtem se reaktance kondenzátoru začne zmenšovat a vstupní signál je přes kondenzátor sveden k zemnímu potenciálu. Na výstup se dostane daleko menší úroveň vstupního signálu. Proto mluvíme o dolní propusti [2].

Chování RC článku nám vyjádří amplitudově frekvenční charakteristika. Graf vyjadřuje útlumovou charakteristiku RC článku v závislosti na frekvenci přenášeného pásma. Ideální přenos úrovně nastane pokud $U_1 = U_2$. V praxi je vždy $U_2 < U_1$, proto mluvíme o tzv. útlumu. Útlum nejčastěji vyjadřujeme v decibelech se znaménkem mínus (-dB).

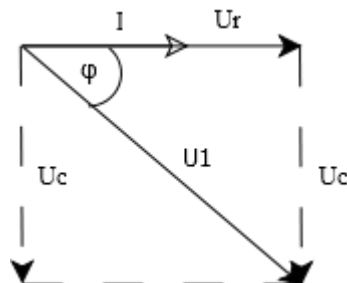
Pro přenos signálu je pro nás důležité určit tzv. mezní (kritický) kmitočet f_Z . Mezní kmitočet určujeme, když pro ohmický odpor a kapacitní reaktanci platí:

$$R = X_C \Rightarrow U_R = U_C \quad (2)$$

Jelikož se jedná o impedanční dělič, který je závislý na kmitočtu, nebude napětí na odporu a kondenzátoru poloviční jako u běžného odporového děliče. Vztahy napětí U_R a U_C můžeme znázornit pomocí fázorů. Uvedené zapojení je na obrázku 9.1-1 a zobrazení vektorů na obrázku 9.1-2.



Obrázek 9.1-1 Zapojení integračního RC článku



Obrázek 9.1-2 Znáornění vektorů pro RC článek

Z pravoúhlého trojúhelníku můžeme odvodit velikost U_R a U_C .

$$U_R = U_C = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,707 \quad (3)$$

Ze vztahu (3), lze usoudit, že při shodné impedanci R a X_C je napětí na výstupu U_2 přibližně rovné 70% vstupního napětí U_1 . Pro výkonový přenos je to pokles o 3 dB.

Podle obrázku 9.1-1 můžeme definovat napěťový přenos pro integrační článek podle vztahu (4), jako kmitočtově závislý dělič napětí. Obvodem prochází stejný proud I , pouze se mění v závislosti na kmitočtu impedance a napětí v obvodu. Pro lepší přehlednost definujeme konstantu τ podle vztahu (5). Ze vztahu (6) můžeme vypočítat mezní kmitočet f_Z (7). Pro absolutní hodnotu přenosu můžeme upravit výpočet pomocí vztahu mezi zlomovou frekvencí a úhlovou frekvencí (7 a 8) do tvaru (9). Pro konečné zobrazení se používá vyjádření prostřednictvím logaritmické funkce v jednotkách decibel (dB), vztah (10) [3].

$$A = \frac{U_2}{U_1} = \frac{\frac{1}{j\omega C} I}{\left(R + \frac{1}{j\omega C}\right) I} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{\frac{1 + j\omega CR}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega CR} = \frac{1}{1 + j2\pi f CR} \quad (4)$$

$$\tau = RC \quad [\text{s}] \quad (5)$$

$$A = \frac{1}{1+j\omega\tau} = \frac{1}{1+j2\pi f\tau} \Rightarrow f = \frac{1}{2\pi\tau} \quad (6)$$

$$f_Z = \frac{1}{2\pi\tau} \quad [\text{Hz}; \text{s}] \quad (7)$$

$$A = \frac{1}{1+j2\pi f\tau} \quad (8)$$

$$|A| = \frac{|1|}{|1+j\frac{f}{f_Z}|} \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{f}{f_Z}\right)^2}} \quad (9)$$

$$A_{dB} = 20 \log \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{f}{f_Z}\right)^2}} \quad (10)$$

Pro naše výpočty použijeme následující vztahy:

Pro výpočet mezního kmitočtu použijte vztah (5 a 7).

Pro kontrolní výpočet měření amplitudové frekvenční charakteristiky použijte vztah (10), podle kterého vypočítáte přenosovou charakteristiku podle zadaných hodnot (R , C , f a f_Z).

Fázová charakteristika nám zobrazuje závislost fáze φ na frekvenci f .

Pro výpočet fázové charakteristiky použijte vztah (11).

$$\varphi = -\text{artg}\left(\frac{f}{f_Z}\right) \quad [^\circ; \text{Hz}, \text{Hz}] \quad (11)$$

Dále má integrační člunek uplatnění v impulzní technice jako tvarovač signálu. Vhodnou volbou R a C , lze docílit, že ze vstupního obdélníkového signálu dostanete na výstupu průběh trojúhelníkového tvaru. Při vstupní náběžné hraně se kondenzátor začíná exponenciálně nabíjet až do jeho konečného nabití. Při změně polarity vstupního napětí se kondenzátor začne exponenciálně vybíjet přes rezistor. S rostoucí kapacitou kondenzátoru

můžete pozorovat, že se začínají více zaoblovat náběžné a sestupné hrany obdélníkového tvaru.

Pro integrační RC článek platí následující vztahy:

- po zapnutí signálu (nabíjení kondenzátoru) platí vztah (12)
- pro vypnutí (vybíjení kondenzátoru) platí vztah (13).

Ze vztahu lze vypočítat, že při hodnotách $t = \tau$ je napětí na kondenzátoru $U_2 = 63\% U_1$.

Při $t = 5\tau$ je $U_2 \approx U_1$.

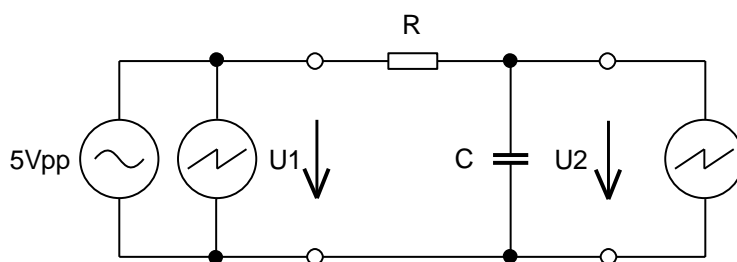
$$U_{2nab} = U_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad [\text{V}; \text{V}, \text{s}, \text{s}] \quad (12)$$

$$U_{2vyb} = U_1 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad [\text{V}; \text{V}, \text{s}, \text{s}] \quad (13)$$

$$t = \tau = RC \quad [\text{s}] \quad (14)$$

Využití integračního článku se používá pro kmitočtové filtry popř. při úpravách signálů.

9.1.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 9.1-3 Zapojení pro měření frekvenční charakteristiky dolní propusti RC článku

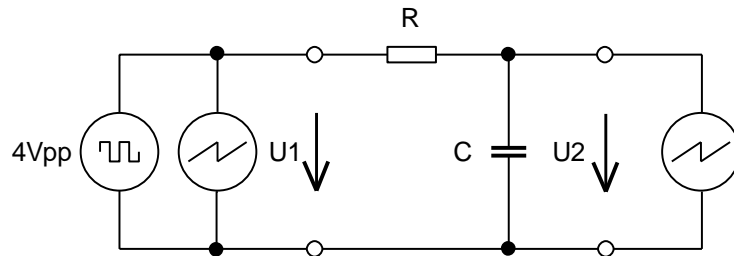
Legenda:

$R = 10 \text{ k}\Omega$

$C = 10 \text{ nF}$

$$U = 5 \text{ Vpp}$$

$f =$ dle tabulky typ Sine



Obrázek 9.1-4 Zapojení pro měření s konstantou τ integračního RC článku

Legenda:

$R = 5 \text{ k}\Omega, 10 \text{ k}\Omega$ a $20 \text{ k}\Omega$

$C = 10 \text{ nF}$

$U = 4 \text{ Vpp}$

$f = 1 \text{ kHz}$ typ Square

9.1.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul prvků, signální generátor Rigol DG1022, osciloskop DSO-5200A, odporová dekáda 2, $C = 10 \text{ nF}$, vlastní flash disk, propojky a propojovací kablíčky.

9.1.5 POSTUP MĚŘENÍ

- Podle vztahu (7), vypočítejte mezní kmitočet pro zadané hodnoty.
- Zapojte obvod podle obrázku 9.1-3.
- Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- Pro měření amplitudově frekvenční charakteristiky nastavte na generátoru následující hodnoty: sinusové napětí $U = 5 \text{ Vpp}$.
- Osciloskop zapojte následovně: na 1. kanál zapojte vstup a na 2. kanál výstup.
- Měření vždy proveďte pro zadaný kmitočet v tabulce 9.1-1. Na vstupu udržujte konstantní napětí U_1 .

- g. Naměřené hodnoty U_1 a U_2 zapište do tabulky 9.1-1.
- h. Z naměřených a vypočítaných hodnot podle vztahu (10) znázorněte graf $A_{dB} = F(f)$, $A_{dBvyp} = F(f)$ a podle vztahu (11) znázorněte graf $\varphi = F(f)$.
- i. Pro měření integračního članku jako tvarovače nastavte následující hodnoty: obdélníkové napětí $U = 4 \text{ Vpp}$ a $f = 1 \text{ kHz}$.
- j. Zapojte obvod podle obrázku 9.1-4.
- k. Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- l. Vypočítejte hodnoty pro $\tau = RC$, $\tau = \frac{1}{2}\tau$ a $\tau = 2\tau$. Hodnoty postupně nastavte na odporové dekádě.
- m. Všechna tři měření uložte na flash disk a jako obrázek přidejte do protokolu.
- n. Pro měření $t = \tau = RC$ vypočítejte hodnoty podle vztahu (12 a 13). Hodnoty změřte na osciloskopu a hodnoty vložte do tabulky 9.1-2. Měření vložte do protokolu jako obrázek.
- o. Na závěr porovnejte naměřené a vypočítané hodnoty amplitudově frekvenční charakteristiky.

9.1.6 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 9.1-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty RC článku dolní propust

f [Hz]	U_1 [V]	U_2 [V]	U_2/U_1	A_{dB}	A_{dBvyp}	φ [°]
10						
30						
50						
100						
300						
500						
700						
1000						
1300						
1500						
1600						
1700						
1800						
2000						
2500						
3000						
3500						
4000						
4500						
5000						
6000						
7000						
8000						
9000						
10000						
20000						

Tabulka 9.1-2 Pro naměřené a vypočítané hodnoty integračního RC článku

hodnoty	U_{2nab} [V]	U_{2vyb} [V]
vypočítané		
změřené		

9.1.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Jak se chová integrační RC článek v obvodu střídavého napětí a proudu?
- b. Při jakém kmitočtu nastane rovnost napětí $U_R = U_C$?
- c. Kde se používají RC články? Uveďte příklady.

9.2 MĚŘENÍ NA CR ČLÁNKU – HORNÍ PROPUST, DERIVAČNÍ ČLÁNEK

9.2.1 ÚKOL

Pomocí generátoru se sinusovým průběhem, změřte pro CR článek (horní propust) amplitudovou frekvenční charakteristiku a fázovou charakteristiku. Určete frekvenci zlomu (pokles U_2 o 3 dB). Podle vztahu (5, 7 a 10) vypočítejte hodnoty pro konstantu τ , zlomovou frekvenci f_Z a amplitudovou frekvenční charakteristiku. Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a znázorněte grafy $A_{dB} = F(f)$, $A_{dBvyp} = F(f)$ a $\varphi = F(f)$. Z grafů určete frekvenci zlomu f_Z (-3 dB). V tabulce naměřených hodnot, označte červeně hodnoty, které jste použili pro výpočet. V závěru mezi sebou jednotlivá měření porovnejte.

Dále pomocí generátoru s obdélníkovým průběhem a osciloskopu, zobrazte pro derivační CR článek vstupní a výstupní napětí pro hodnoty konstanty $\tau = CR$, $\tau = \frac{1}{2}\tau$ a $\tau = 2\tau$. Proveďte výpočet a měření pro $t = \tau = CR$. Průběhy z osciloskopu vložte do protokolu.

9.2.2 TEORETICKÝ ROZBOR

Derivační článek se chová jako horní propust. Může se skládat z různých kombinací pasivních součástek (rezistor, kondenzátor popř. cívky). V této úloze se budeme zabývat měřením pro kombinaci derivačního článku CR. Obecně se jedná o dvojbran, kde na vstup přivádíme napětí U_1 a na výstupu měříme napětí U_2 . Zjednodušeně lze říci, že se jedná o kmitočtově závislý dělič napětí. Rezistor je pro měřený frekvenční rozsah frekvenčně nezávislý. To nelze říci, ale o kondenzátoru, kde platí vztah:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad [\Omega; \text{Hz}, \text{C}] \quad (1)$$

Ze vztahu (1) vyplývá, že čím bude nižší kmitočet f , tím bude vyšší kapacitní reaktance X_C . Pro střídavý proud nižších kmitočtů to znamená, že kondenzátorem s velkou reaktancí proud projde nepatrně, popř. neprojde vůbec. Pro nízké kmitočty, které projdou,

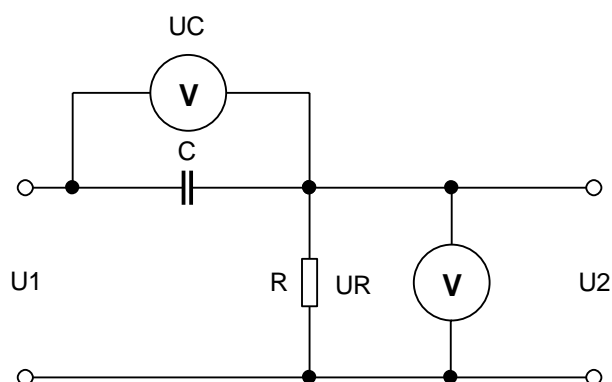
se svedou přes rezistor k nulovému potenciálu. Se zvětšujícím kmitočtem se reaktance kondenzátoru začne zmenšovat a vstupní signál se přes kondenzátor dostane na výstupní svorku U_2 . Na výstup se dostane daleko větší úroveň vstupního signálu. Proto mluvíme o horní propusti [2].

Chování CR článku nám vyjádří amplitudově frekvenční charakteristika. Graf vyjadřuje útlumovou charakteristiku CR článku v závislosti na frekvenci přenášeného pásma. Ideální přenos úrovně nastane pokud $U_1 = U_2$. V praxi je vždy $U_2 < U_1$, proto mluvíme o tzv. útlumu. Útlum nejčastěji vyjadřujeme v decibelech se znaménkem mínus (-dB).

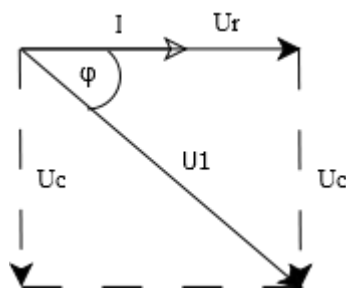
Pro přenos signálu je pro nás důležité určit tzv. mezní (kritický) kmitočet f_Z . Mezní kmitočet určujeme stejně jako u integračního RC článku. Platí stejný vztah pro ohmický odpor a kapacitní reaktanci:

$$R = X_C \Rightarrow U_R = U_C \quad (2)$$

Jelikož se jedná o impedanční dělič, který je závislý na kmitočtu, nebude napětí na odporu a kondenzátoru poloviční jako u běžného odporového děliče. Vztahy napětí U_R a U_C můžeme znázornit pomocí fázorů. Uvedené zapojení je na obrázku 9.2-1 a zobrazení vektorů na obrázku 9.2-2.



Obrázek 9.2-1 Zapojení derivačního CR článku



Obrázek 9.2-2 Znázornění vektorů pro CR článek

Z pravoúhlého trojúhelníku můžeme odvodit velikost U_R a U_C .

$$U_R = U_C = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,707 \quad (3)$$

Ze vztahu (3), lze usoudit, že při shodné impedanci R a X_C je napětí na výstupu U_2 přibližně rovné 70% vstupního napětí U_1 . Pro výkonový přenos je to pokles o 3 dB.

Podle obrázku 9.2-1 můžeme definovat napěťový přenos pro derivační článek podle vztahu (4), jako kmitočtově závislý dělič napětí. Obvodem prochází stejný proud I , pouze se mění v závislosti na kmitočtu impedance a napětí v obvodu. Pro lepší přehlednost definujeme konstantu τ podle vztahu (5). Ze vztahu (6) můžeme vypočítat mezní kmitočet f_Z (7). Pro absolutní hodnotu přenosu můžeme upravit výpočet pomocí vztahu mezi zlomovou frekvencí a úhlovou frekvencí (7 a 8) do tvaru (9). Pro konečné zobrazení se používá vyjádření prostřednictvím logaritmické funkce v jednotkách decibel (dB) a vztahu (10) [3].

$$A = \frac{U_2}{U_1} = \frac{RI}{\left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)I} = \frac{R}{\frac{1+j\omega CR}{j\omega C}} = \frac{j\omega CR}{1+j\omega CR} = \frac{j2\pi fCR}{1+j2\pi fCR} \quad (4)$$

$$\tau = CR \quad [\text{s}; \text{F}, \Omega] \quad (5)$$

$$A = \frac{1}{1+j\omega\tau} = \frac{1}{1+j2\pi f\tau} \Rightarrow f = \frac{1}{2\pi\tau} \quad (6)$$

$$f_Z = \frac{1}{2\pi\tau} \quad [\text{Hz}; \text{s}] \quad (7)$$

$$A = \frac{j\omega\tau}{1+j2\pi f\tau} = \frac{j2\pi f\tau}{1+j2\pi f\tau} \quad (8)$$

$$|A| = \frac{\left| \frac{j\frac{f}{f_Z}}{1+j\frac{f}{f_Z}} \right|}{\left| \frac{j\frac{f}{f_Z}}{1+j\frac{f}{f_Z}} \right|} \Rightarrow \frac{\frac{f}{f_Z}}{\sqrt{1+\left(\frac{f}{f_Z}\right)^2}} \quad (9)$$

$$A_{dB} = 20 \log \frac{\frac{f}{f_Z}}{\sqrt{1+\left(\frac{f}{f_Z}\right)^2}} \quad (10)$$

Pro naše výpočty použijeme následující vztahy:

Pro výpočet mezního kmitočtu použijte vztah (5 a 7).

Pro kontrolní výpočet měření amplitudové frekvenční charakteristiky použijte vztah (10), podle kterého vypočítáte přenosovou charakteristiku podle zadaných hodnot (R , C , f a f_Z).

Fázová charakteristika nám zobrazuje závislost fáze φ na frekvenci f .

Pro výpočet fázové charakteristiky použijte vztah (11).

$$\varphi = \text{artg} \left(\frac{1}{\frac{f}{f_Z}} \right) \quad [^\circ; \text{Hz}, \text{Hz}] \quad (11)$$

Derivační člunek se také používá jako tvarovač signálu. Vhodnou volbou R a C , lze docílit, že ze vstupního obdélníkového signálu dostanete na výstupu průběh jehlového tvaru (impulzy). Při vstupní náběžné hraně se začíná kondenzátor exponenciálně nabíjet. Při změně polarit vstupního napětí se začne kondenzátor exponenciálně vybíjet přes rezistor. S nižší hodnotou kapacity kondenzátoru můžete pozorovat, že vznikají kratší impulzy. Je to dáno, že kondenzátor se stačí nabít před změnou obdélníku.

Pro derivační CR článek platí následující vztahy:

- po zapnutí signálu (nabíjení kondenzátoru) platí vztah (12)
- pro vypnutí (vybíjení kondenzátoru) platí vztah (13).

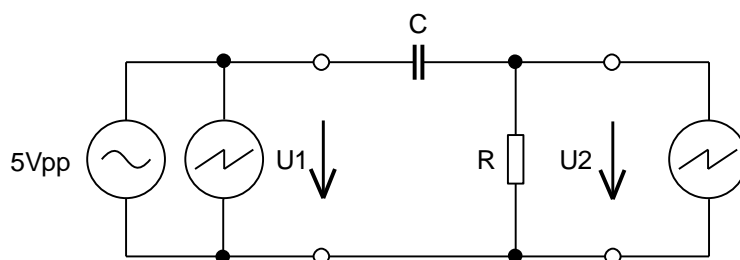
Ze vztahu lze vypočítat, že při hodnotách $t = \tau$ je napětí na kondenzátoru $U_2 = 37\% U_1$.

$$U_{2nab} = U_1 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad [\text{V}; \text{V}, \text{s}, \text{s}] \quad (12)$$

$$U_{2vyb} = -U_1 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad [\text{V}; \text{V}, \text{s}, \text{s}] \quad (13)$$

$$t = \tau = RC \quad [\text{s}] \quad (14)$$

9.2.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 9.2-3 Zapojení pro měření frekvenční charakteristiky horní propusti CR článku

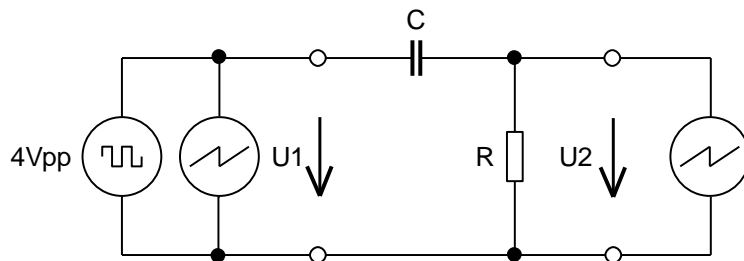
Legenda:

$R = 10 \text{ k}\Omega$

$C = 10 \text{ nF}$

$U = 5 \text{ Vpp}$

$f =$ dle tabulky typ Sine



Obrázek 9.2-4 Zapojení pro měření s konstantou τ derivačního CR článku

Legenda:

$R = 5 \text{ k}\Omega, 10 \text{ k}\Omega$ a $20 \text{ k}\Omega$

$C = 10 \text{ nF}$

$U = 4 \text{ Vpp}$

$f = 1 \text{ kHz}$ typ Square

9.2.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul prvků, signální generátor Rigol DG1022, osciloskop DSO-5200A, odporová dekáda 2, $C = 10 \text{ nF}$, vlastní flash disk, propojky a propojovací kablíčky.

9.2.5 POSTUP MĚŘENÍ

- Podle vztahu (7), vypočítejte mezní kmitočet pro zadané hodnoty.
- Zapojte obvod podle obrázku 9.2-3.
- Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- Pro měření amplitudově frekvenční charakteristiky nastavte na generátoru následující hodnoty: sinusové napětí $U = 5 \text{ Vpp}$.
- Osciloskop zapojte následovně: na 1. kanál zapojte vstup a na 2. kanál výstup.
- Měření vždy proveďte pro zadaný kmitočet v tabulce 9.2-1. Na vstupu udržujte konstantní napětí U_1 .
- Naměřené hodnoty U_1 a U_2 zapište do tabulky 9.2-1.
- Z naměřených a vypočítaných hodnot podle vztahu (10) znázorněte graf $A_{dB} = F(f)$, $A_{dBvyp} = F(f)$ a podle vztahu (11) znázorněte graf $\varphi = F(f)$.
- Pro měření derivačního CR článku jako tvarovače nastavte následující hodnoty:

obdélníkové napětí $U = 4 \text{ Vpp}$ a $f = 1 \text{ kHz}$.

- j. Zapojte obvod podle obrázku 9.2-4.
- k. Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- l. Vypočítejte hodnoty pro $\tau = CR$, $\tau = \frac{1}{2}\tau$ a $\tau = 2\tau$. Hodnoty postupně nastavte na odporové dekádě.
- m. Všechna tři měření uložte na flash disk a jako obrázek přidejte do protokolu.
- n. Pro měření $t = \tau = CR$ vypočítejte hodnoty podle vztahu (12 a 13). Hodnoty změřte na osciloskopu a hodnoty vložte do tabulky 9.2-2. Měření vložte do protokolu jako obrázek.
- o. Na závěr porovnejte naměřené a vypočítané hodnoty amplitudově frekvenční charakteristiky.

9.2.6 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 9.2-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty CR horní propust

f [Hz]	U_1 [V]	U_2 [V]	U_2/U_1	A_{dB}	A_{dBvyp}	φ [°]
10						
30						
50						
100						
300						
500						
700						
1000						
1300						
1500						
1600						
1700						
1800						
2000						
2500						
3000						
3500						
4000						
4500						
5000						
6000						
7000						
8000						
9000						
10000						
20000						

Tabulka 9.2-2 Pro naměřené a vypočítané hodnoty derivačního CR článku

hodnoty	U_{2nab} [V]	U_{2vyb} [V]
vypočítané		
změřené		

9.2.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Kde se používá derivační článek?
- b. Při jakém kmitočtu nastane rovnost napětí $U_R = U_C$?
- c. Kde se používají CR články jako horní propust? Uveďte příklady.

10 PRACOVNÍ ÚLOHA PRO PRACOVIŠTĚ 10

10.1 MĚŘENÍ PROUDOVÉHO ZESÍLENÍ PRO TRANZISTOR NPN

10.1.1 ÚKOL

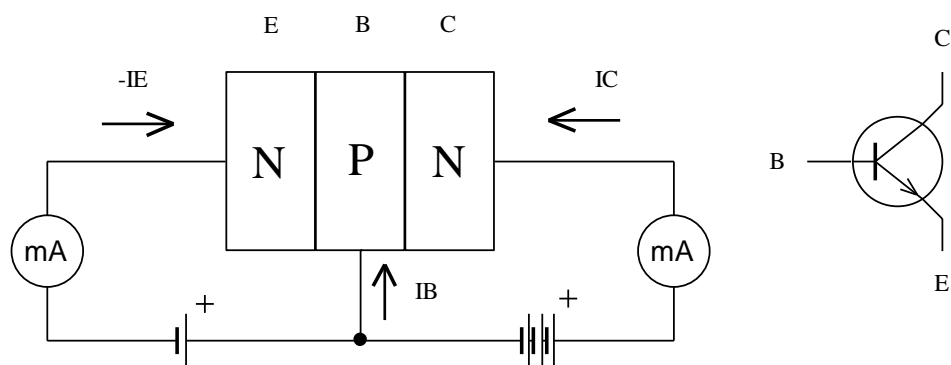
Změřte převodní charakteristiku proudového zesílení $I_C = F(I_B)$ zadaného tranzistoru. Měření proveďte při konstantním napětí $U_{CE} = 7 \text{ V}$. Při měření zanedbejte vnitřní odpor miliampérmetru. Podle vztahu (1) vypočítejte stejnosměrné proudové zesílení B a podle vztahu (2) vypočítejte střídavé (dynamické) proudové zesílení $\beta (h_{21e})$. Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a znázorněte graf $I_C = F(I_B)$. V tabulce naměřených hodnot, označte červeně hodnoty, které jste použili pro výpočet. V grafu vyznačte obě proudová zesílení. Naměřené hodnoty porovnejte s tabulkovými hodnotami uvedenými v katalogovém listu: [BC546B](#).

10.1.2 TEORETICKÝ ROZBOR

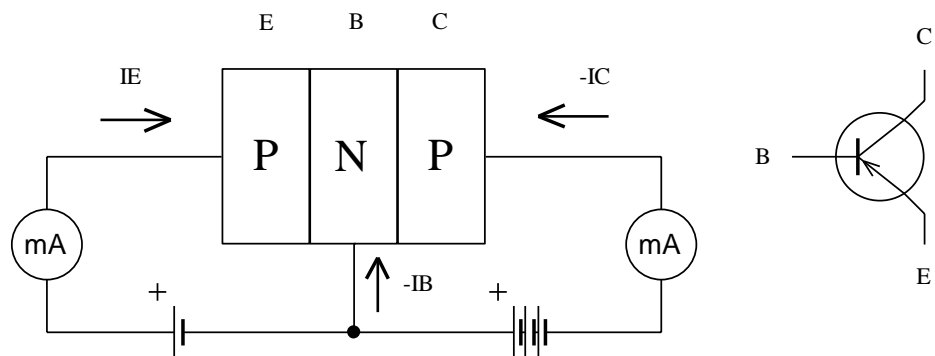
Tranzistor je tvořen jedním monokrystalem, ve kterém jsou vytvořeny oblasti s různým typem vodivosti. Pokud je monokrystal čtyřmocného prvku bez příměsí, je krystalová mřížka tvořena atomy tohoto polovodivého prvku. Vlivem teploty se může uvolnit několik elektronů z jejich vazby, v krystalu potom tyto elektrony se záporným nábojem mohou vést proud. V atomové vazbě po elektronech zůstane prázdné místo, na které je vázán kladný náboj z jádra atomu. Tato „kladně nabitá díra“ se vlivem přeskakujících elektronů může pohybovat proti směru pohybu volných elektronů a tím také vést proud. Počet volných nositelů náboje je však malý, a při jejich setkání dochází k jejich vzájemnému vyrušení, takzvané rekombinaci. Takovýto polovodič nazýváme intrinzický a jeho vodivost vlastní vodivostí. Nevlastní, nebo také příměsová vodivost vzniká přidáním jiného prvku. Pokud do polovodiče přidáme malé množství trojmocného prvku, například bóru, galia, hliníku nebo india, budou v krystalu polovodiče neobsazené vazby, tedy díry, které mohou přenášet kladný náboj, vzniká polovodič typu P (pozitivní nosiče náboje). Pokud přidáme pětímocný prvek, například fosfor, arsen nebo antimon, nebudou vazbami vázány všechny elektrony a volné elektrony budou přenášet záporný náboj, vznikl

polovodič typu N (negativní nosiče náboje). Příměsová vodivost je řádově větší než vlastní vodivost. Pokud v polovodiči vytvoříme dvě oblasti s různým typem vodivosti (P a N), bude přes přechod mezi oblastmi proud procházet jen jedním směrem, vznikne dioda. Pokud vytvoříme oblasti tři, buď PNP, nebo NPN, vzniknou dva přechody mezi polovodiči různých typů. Pokud bude prostřední oblast dostatečně tenká, aby v ní nositelé náboje různých typů nestačili zrekombinovat, vznikne tranzistorový jev [8].

Tranzistory řadíme mezi aktivní polovodičové součástky. Hlavním hlediskem pro rozlišení tranzistorů je, zda je tranzistor unipolární nebo bipolární. V následujících úlohách se budeme zabývat měřením tranzistoru bipolárního. Bipolární tranzistor patří z hlediska historie mezi nejstarší typy. Typické je pro něho, že obsahuje dva polovodičové přechody a skládá se ze tří oblastí typu P a N. Podle uspořádání těchto oblastí dělíme bipolární tranzistor na dva typy NPN a PNP.



Obrázek 10.1-1 Zapojení tranzistoru NPN do obvodu



Obrázek 10.1-2 Zapojení tranzistoru PNP do obvodu

Uvedené dva typy tranzistorů se liší polaritou napájení jednotlivých vývodů. Uvedené vývody mají své názvy: (B) báze, (E) emitor a (C nebo K) kolektor. Podle typu vodivosti jsou různé přechody polovány buďto v propustném nebo závěrném směru. U tranzistoru používáme tři základní zapojení: (SE) - se společným emitorem, (SB) - se společnou bází a (SC) - se společným kolektorem.

Z principu tranzistoru víme, že malý vstupní proud báze I_B vyvolá velký výstupní proud v kolektoru I_C . Tento vztah se nazývá proudový zesilovací činitel.

U tranzistoru rozlišujeme proudové zesílení a napět'ové zesílení. Proudové zesílení dělíme na:

- stejnosměrné proudové zesílení, které se značí B nebo (h_{FE})
- střídavé dynamické proudové zesílení, které se značí β nebo (h_{21e})

V této úloze změříme a vypočítáme obě tyto hodnoty pro proudové zesílení z naměřené převodní charakteristiky proudového zesílení nakrátko $I_C = F(I_B)$. Pro odečtení hodnot zvolíme lineární část této charakteristiky [8].

- **Pro měření a výpočet stejnosměrného proudového zesílení B (h_{FE})**

Na grafu v lineární části si zvolíme pracovní bod tranzistoru. Odečteme hodnoty I_C a I_B a podle vztahu (1), vypočítáme stejnosměrné proudové zesílení B . Stejnosměrné proudové zesílení B je většinou v katalogu uvedeno, pro několik hodnot proudu I_C při konstantním U_{CE} . Dále někteří výrobci uvádějí pro stejnosměrné zesílení proudu B závislost kolektorového proudu na teplotě.

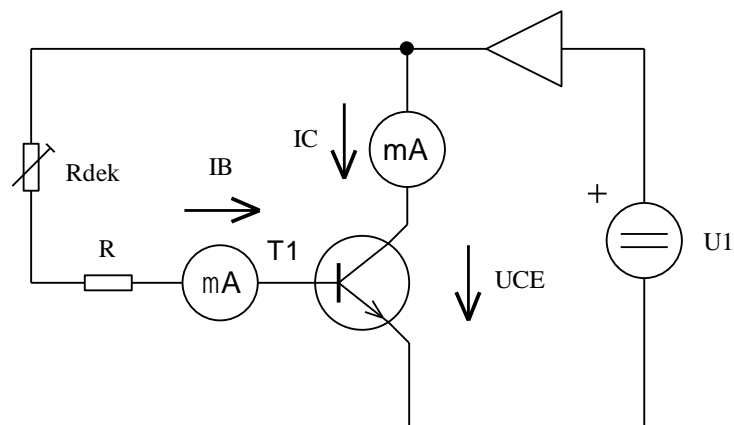
$$B = \frac{I_C}{I_B} \quad (1)$$

- **Pro měření a výpočet střídavého (dynamického) proudového zesílení (h_{21e})**

Pro střídavé zesílení tranzistoru zvolíme od předešlého bodu ΔI_C a ΔI_B . Z hodnot odečtených z grafu vypočítáme podle vztahu (2) dynamické zesílení tranzistoru. Toto proudové zesílení je závislé na použité frekvenci. Na vyšších kmitočtech dochází k poklesu tohoto zesílení.

$$h_{21e} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad U_{CE} = \text{konst.} \quad (2)$$

10.1.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 10.1-3 Zapojení pro měření charakteristiky proudového zesílení tranzistoru NPN

Legenda:

$T_1 = \text{BC546B}$

$R = 1 \text{ k}\Omega$

R_{dek} = odporová dekáda

$U_1 = 7 \text{ V}$ pro U_{CE} = zanedbáváme vnitřní odpor miliampérmetru

10.1.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul bipolárního tranzistoru NPN, odporová dekáda 2, $R = 1 \text{ k}\Omega$, tranzistor $T_1 = \text{BC546B}$, měřicí přístroj Metex M3890D, propojky a propojovací kablíčky.

10.1.5 POSTUP MĚŘENÍ

- Zapojte obvod podle obrázku 10.1-3.
- Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- Na zdroji nastavte napětí 7 V a napětí udržujte po celou dobu konstantní.
- Na odporové dekádě postupně nastavte hodnoty dle tabulky 10.1-1.
- Změřené hodnoty I_B a I_C zapište do tabulky 10.1-1.
- Z naměřených hodnot znázorněte graf $I_C = F(I_B)$.

- g. Dle vztahu (1) a (2) vypočítejte proudová zesílení, která vyznačte současně i v grafu.
- h. V tabulce naměřených hodnot červeně vyznačte použité hodnoty k výpočtům.
- i. Na závěr porovnejte naměřené a vypočítané hodnoty s hodnotami z katalogového listu.

10.1.6 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 10.1-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty proudového zesílení tranzistoru *BC456B*

R [k Ω]	U_{CE} [V]	I_B [mA]	I_c [mA]
400			
300			
200			
100			
90			
80			
70			
60			
50			
40			
30			
20			
10			

10.1.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Jaké znáte druhy tranzistorů?
- b. Na jakém principu je založen tranzistor?
- c. Jaké znáte zesílení pro tranzistor? Uveďte příklady.

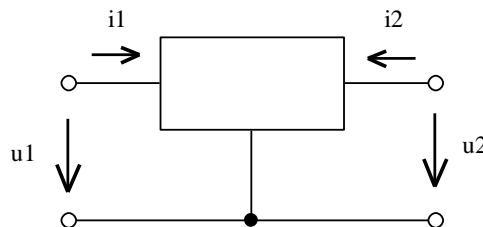
10.2 MĚŘENÍ VSTUPNÍ CHARAKTERISTIKY PRO TRANZISTOR NPN

10.2.1 ÚKOL

Změřte vstupní charakteristiku $I_B = F(U_{BE})$ zadaného tranzistoru. Měření proveďte při konstantním napětí $U_{CE} = 3 \text{ V}$, 5 V a 7 V . Podle vztahu (1) vypočítejte vstupní odpor tranzistoru (h_{11}). Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a znázorněte graf $I_B = F(U_{BE})$. V tabulce naměřených hodnot, označte červeně hodnoty, které jste použili pro výpočet. V grafu vyznačte ΔU_{BE} a ΔI_B . Naměřené hodnoty porovnejte s tabulkovými hodnotami uvedenými v katalogovém listu: [BC546B](#).

10.2.2 TEORETICKÝ ROZBOR

Princip a činnost tranzistoru jsme si vysvětlili v minulé úloze. V této úloze změříme vstupní charakteristiku zadaného tranzistoru. Z naměřených hodnot vyneseme graf $I_B = F(U_{BE})$, ze kterého určíme parametr r_{BE} – vstupní odpor tranzistoru. V některých katalogových listech můžeme najít také označení pro dvojbran (h_{11}). Při malých změnách napětí a proudů, lze některé charakteristiky považovat za lineární. Proto při malých změnách považujeme tranzistor za lineární dvojbran obrázek 10.2-1. Vlastnosti dvojbranu jsou dány vztahy mezi čtyřmi veličinami: u_1 , u_2 , i_1 a i_2 , z nichž dvě mohou být nezávisle proměnné. Kombinací a volbou těchto proměnných, lze určit parametry z , y a h pro vlastnosti bipolárního tranzistoru [10].



Obrázek 10.2-1 Náhradní schéma tranzistoru NPN jako dvojbranu

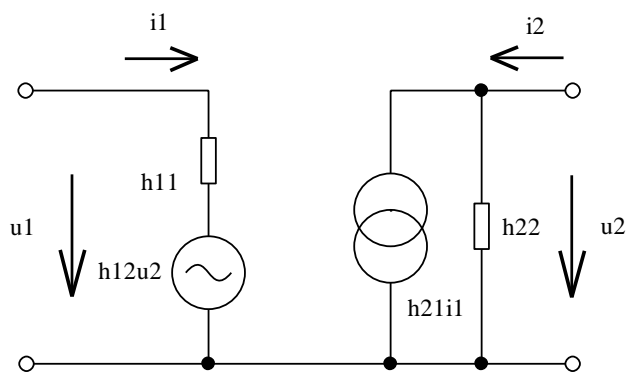
Na obrázku 10.2-2 je rozložení proměnných, které jsou charakteristické pro hybridní rovnice [10]:

$$u_1 = h_{11}i_1 + h_{12}u_2 \quad (1)$$

$$i_2 = h_{21}i_1 + h_{22}u_2 \quad (2)$$

Z těchto rovnic můžeme odvodit vzorce pro jednotlivé parametry. Pro parametr vstupního odporu h_{11} je dán vztah (3) [10]:

$$h_{11} = \frac{u_1}{i_1} \quad u_2 = \text{konst.} \quad (3)$$



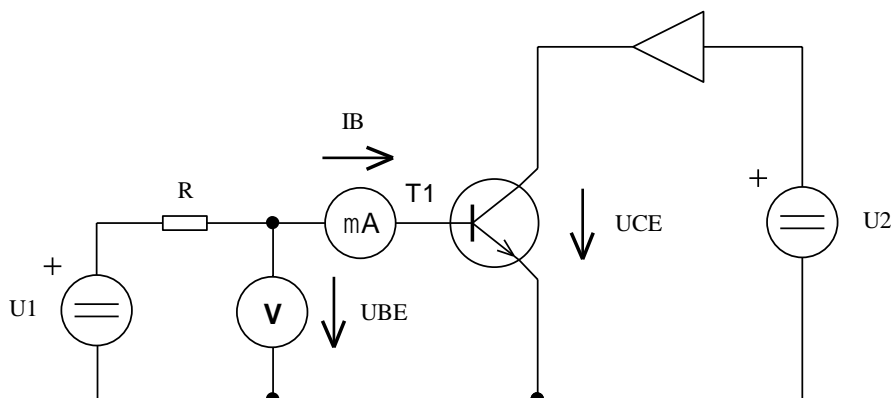
Obrázek 10.2-2 Náhradní schéma tranzistoru NPN jako dvojhranu pro hybridní rovnice

Hybridní rovnice nám definují zejména parametry tranzistoru pro nízkofrekvenční aplikace.

Měření provedeme pro napětí $U_{CE} = 3 \text{ V}$, 5 V a 7 V . Napětí U_{CE} po celou dobu měření udržujeme konstantní. Pro odečtení hodnot zvolíme lineární část této charakteristiky. Na grafu v lineární části si zvolíme pracovní bod tranzistoru (P). Odečteme hodnoty ΔI_B a ΔU_{BE} a podle vztahu (1), vypočítáme r_{BE} – vstupní odpor tranzistoru [8].

$$r_{BE}(h_{11}) = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} \quad U_{CE} = \text{konst.} \quad (1)$$

10.2.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 10.2-3 Zapojení pro měření vstupní charakteristiky tranzistoru NPN

Legenda:

$T_1 = \text{BC546B}$

$R = 1 \text{ k}\Omega$

$U_{BE} = 0 - 1,1 \text{ V}$

$U_2 = U_{CE} = 3 \text{ V}, 5 \text{ V a } 7 \text{ V}$

10.2.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul bipolárního tranzistoru NPN, programovatelný DC zdroj, modul výkonového zesilovače, $R = 1 \text{ k}\Omega$, tranzistor $T_1 = \text{BC546B}$, měřicí přístroj Metex M3890D, propojky a propojovací kablíky.

10.2.5 POSTUP MĚŘENÍ

- Zapojte obvod podle obrázku 10.2-3.
- Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- Na zdroji nastavte napětí $U_2 = U_{CE}$ na hodnoty 3 V, 5 V a 7 V. Napětí udržujte po celou dobu měření konstantní.
- Na zdroji U_1 postupně nastavte hodnoty pro napětí U_1 dle tabulky 10.2-1.
- Naměřené hodnoty I_B a U_{BE} zapište do tabulky 10.2-1.
- Z naměřených hodnot znázorněte graf $I_B = F(U_{BE})$.

- g. Dle vztahu (1) vypočítejte pro $U_{BE} = 7 \text{ V}$ vstupní odpor tranzistoru r_{BE} .
- h. V tabulce 10.2-1 naměřených hodnot červeně vyznačte hodnoty, které jste použili k výpočtu.
- i. Zároveň tyto hodnoty vyznačte v grafu.
- j. Na závěr porovnejte naměřené a vypočítané hodnoty s hodnotami z katalogového listu.

10.2.6 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 10.2-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty vstupní charakteristiky tranzistoru *BC456B*

$U_I[\text{V}]$	$U_{CE}[\text{V}]$	$U_{BE}[\text{V}]$	$I_B[\text{mA}]$	$U_{CE}[\text{V}]$	$U_{BE}[\text{V}]$	$I_B[\text{mA}]$	$U_{CE}[\text{V}]$	$U_{BE}[\text{V}]$	$I_B[\text{mA}]$
0,000	3,000			5,000			7,000		
0,100	3,000			5,000			7,000		
0,200	3,000			5,000			7,000		
0,300	3,000			5,000			7,000		
0,400	3,000			5,000			7,000		
0,500	3,000			5,000			7,000		
0,600	3,000			5,000			7,000		
0,650	3,000			5,000			7,000		
0,700	3,000			5,000			7,000		
0,750	3,000			5,000			7,000		
0,800	3,000			5,000			7,000		
0,850	3,000			5,000			7,000		
0,900	3,000			5,000			7,000		
0,950	3,000			5,000			7,000		
1,000	3,000			5,000			7,000		
1,050	3,000			5,000			7,000		
1,100	3,000			5,000			7,000		

10.2.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Jaké znáte základní zapojení tranzistoru? Nakreslete zapojení.
- b. K základním zapojením tranzistoru, doplňte přibližné hodnoty vstupního odporu, výstupního odporu, napětového, proudového a výkonového zesílení.
- c. Jaký je zásadní rozdíl mezi tranzistorem typu NPN a PNP?

11 PRACOVNÍ ÚLOHA PRO PRACOVÍŠTĚ 11

11.1 MĚŘENÍ VÝSTUPNÍ CHARAKTERISTIKY PRO TRANZISTOR NPN

11.1.1 ÚKOL

Změřte výstupní charakteristiku $I_C = F(U_{CE})$ při $I_B = \text{konst.}$ zadaného tranzistoru. Měření proveďte při konstantním proudu $I_B = 1 \mu\text{A}, 2 \mu\text{A}, 3 \mu\text{A}, 4 \mu\text{A}$ a $5 \mu\text{A}$. Podle vztahu (1) vypočítejte výstupní odpor tranzistoru r_{CE} (h_{22e}). Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a znázorněte graf $I_C = F(U_{CE})$. V tabulce naměřených hodnot, označte červeně hodnoty, které jste použili pro výpočet. V grafu vyznačte ΔU_{CE} a ΔI_C . Naměřené hodnoty porovnejte s tabulkovými hodnotami uvedenými v katalogovém listu: [BC546B](#).

11.1.2 TEORETICKÝ ROZBOR

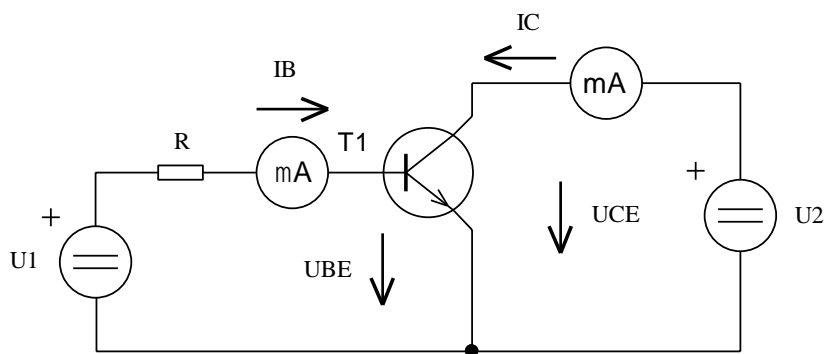
V úloze 10.2 jsme změřili vstupní charakteristiku tranzistoru. V této úloze změříme výstupní charakteristiku a vypočítáme výstupní odpor r_{CE} zadaného tranzistoru. Z naměřených hodnot vyneseme graf $I_C = F(U_{CE})$, ze kterého určíme parametr r_{CE} – výstupní odpor tranzistoru. V některých katalogových listech můžeme najít také označení pro dvojbran (h_{22e}). Měření provedeme pro konstantní proud báze $I_B = 1 \mu\text{A}, 2 \mu\text{A}, 3 \mu\text{A}, 4 \mu\text{A}$ a $5 \mu\text{A}$. Pro odečtení hodnot zvolíme lineární část této charakteristiky. Odečteme hodnoty I_C a U_{CE} a podle vztahu (1), vypočítáme r_{CE} – výstupní odpor tranzistoru [8].

$$r_{CE} = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta I_C} \quad I_B = \text{konst.} \quad (1)$$

Z výstupní charakteristiky můžeme usoudit, že při konstantním proudu do báze I_B a zároveň s postupným zvyšujícím se napětím mezi kolektorem a emitorem U_{CE} , nám proud tekoucí kolektorem I_C prudce stoupá až do stavu nasycení. Potom se proud kolektorem I_C

téměř nemění. Můžeme říci, že tranzistor se chová jako ideální zdroj proudu. Proto je vhodné použít v náhradním schématu zdroj proudu ($h_{21}i_b$) [8].

11.1.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 11.1-1 Zapojení pro měření výstupní charakteristiky tranzistoru NPN

Legenda:

$T_1 = \text{BC546B}$

$R = 1 \text{ k}\Omega$

$I_B = 1 \mu\text{A}, 2 \mu\text{A}, 3 \mu\text{A}, 4 \mu\text{A}$ a $5 \mu\text{A}$

$U_{CE} = 0 - 8 \text{ V}$ (zanedbáváme vnitřní odpor ampérmetru)

11.1.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul bipolárního tranzistoru NPN, programovatelný DC zdroj, $R = 1 \text{ k}\Omega$, tranzistor $T_1 = \text{BC546B}$, měřicí přístroj Metex M3890D, propojky a propojovací kablíky.

11.1.5 POSTUP MĚŘENÍ

- Zapojte obvod podle obrázku 11.1-1.
- Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- Na zdroji U_1 pro každé měření postupně nastavte proud do báze:
 $I_B = 1 \mu\text{A}, 2 \mu\text{A}, 3 \mu\text{A}, 4 \mu\text{A}$ a $5 \mu\text{A}$.
- Na zdroji U_2 postupně nastavte hodnoty napětí U_{CE} dle tabulky 11.1-1.

- e. Změřené hodnoty I_C zapište do tabulky 11.1-1.
- f. Z naměřených hodnot znázorněte graf $I_C = F(U_{CE})$ při $I_B = \text{konst.}$
- g. Dle vztahu (1) vypočítejte r_{CE} – výstupní odpor tranzistoru. Hodnoty vyznačte současně i v grafu.
- h. V tabulce 11.1-1 naměřených hodnot červeně vyznačte použité hodnoty k výpočtům.
- i. Na závěr porovnejte naměřené a vypočítané hodnoty s hodnotami z katalogového listu.

11.1.6 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 11.1-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty výstupní charakteristiky tranzistoru *BC456B*

U_{CE} [V]	I_B [μ A]	I_C [mA]	I_B [μ A]	I_C [mA]	I_B [μ A]	I_C [mA]	I_B [μ A]	I_C [mA]	I_B [μ A]	I_C [mA]
0,00	0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
0,50	1,00		2,00		3,00		4,00		5,00	
0,60	1,00		2,00		3,00		4,00		5,00	
0,70	1,00		2,00		3,00		4,00		5,00	
0,80	1,00		2,00		3,00		4,00		5,00	
0,90	1,00		2,00		3,00		4,00		5,00	
1,00	1,00		2,00		3,00		4,00		5,00	
1,50	1,00		2,00		3,00		4,00		5,00	
2,00	1,00		2,00		3,00		4,00		5,00	
2,50	1,00		2,00		3,00		4,00		5,00	
3,00	1,00		2,00		3,00		4,00		5,00	
3,50	1,00		2,00		3,00		4,00		5,00	
4,00	1,00		2,00		3,00		4,00		5,00	
4,50	1,00		2,00		3,00		4,00		5,00	
5,00	1,00		2,00		3,00		4,00		5,00	
5,50	1,00		2,00		3,00		4,00		5,00	
6,00	1,00		2,00		3,00		4,00		5,00	
6,50	1,00		2,00		3,00		4,00		5,00	
7,00	1,00		2,00		3,00		4,00		5,00	
7,50	1,00		2,00		3,00		4,00		5,00	
8,00	1,00		2,00		3,00		4,00		5,00	

11.1.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Určete typ tranzistorů podle názvu (*BC546B*, *BD135* a *BFR 91A*). Napište kategorii, typ a výkonovou ztrátu.
- b. Nakreslete a popište základní veličiny U a I , které můžete naměřit na tranzistoru typu NPN.
- c. Napište přibližné napětí U_{BE} pro $I_C < 20$ mA a $I_C > 20$ mA u germaniového a křemíkového tranzistoru.

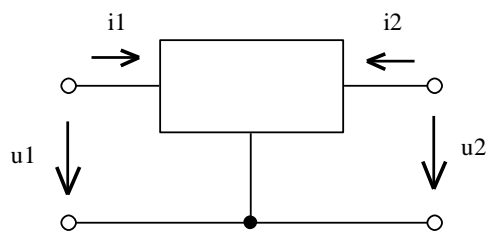
11.2 MĚŘENÍ PŘEVODNÍ CHARAKTERISTIKY PRO TRANZISTOR NPN

11.2.1 ÚKOL

Změřte převodní charakteristiku $I_C = F(U_{BE})$ zadaného tranzistoru. Měření proveďte při konstantním napětí $U_{CE} = 3\text{ V}$, 5 V a 7 V . Podle vztahu (9) vypočítejte strmost tranzistoru (y_{21}). Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a znázorněte graf $I_C = F(U_{BE})$. V tabulce naměřených hodnot, označte červeně hodnoty, které jste použili pro výpočet. V grafu vyznačte ΔU_{BE} a ΔI_C . Pro měřený tranzistor ověřte z naměřených hodnot z předchozích úloh platnost vztahu (8). Porovnejte mezi sebou vztahy (8) a (9). Pro ověření vztahu použijte vzájemný přepočítání mezi parametry h a y . Naměřené hodnoty porovnejte s tabulkovými hodnotami uvedenými v katalogovém listu: [BC546B](#).

11.2.2 TEORETICKÝ ROZBOR

V minulých úlohách jsme změřili charakteristiku proudového zesílení (úloha 10.1), vstupní charakteristiku (úloha 10.2) a výstupní charakteristiku (úloha 11.1). Jako poslední změříme převodní charakteristiku zadaného tranzistoru. Převodní charakteristika je závislost výstupního proudu na vstupním napětí. V našem zapojení SE, se jedná o závislost kolektorového proudu I_C na napětí mezi bází a emitorem U_{BE} . Vztah (7) můžeme odvodit z dvojbranu a parametrů y pro admitanci. Při malých změnách považujeme tranzistor za lineární dvojbran obrázek 11.2-1. Vlastnosti lineárního dvojbranu jsou dány vztahy mezi čtyřmi veličinami: u_1 , u_2 , i_1 a i_2 , z nichž dvě mohou být nezávisle proměnné. Kombinací a volbou těchto proměnných, lze určit parametry z , y a h pro vlastnosti bipolárního tranzistoru [10].

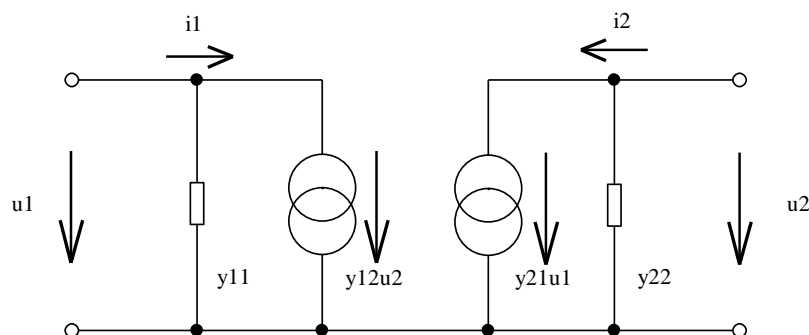


Obrázek 11.2-1 Náhradní schéma tranzistoru NPN jako dvojbranu

Pro vysoké frekvence nelze přesně dodržet definiční podmínky jednotlivých parametrů. Jedná se o měřicí přístroje, které mají na svých svorkách určitou kapacitu a vždy měřený vstup nebo výstup zkratují. Proto není přesně splněna podmínka vstupu naprázdno. Vztahy jsou tedy definovány s parametry admitance podle admitančních čtyřpólových rovnic (1 a 2), obrázek 11.2-2 [10]:

$$i_1 = y_{11}u_1 + y_{12}u_2 \quad (1)$$

$$i_2 = y_{21}u_1 + y_{22}u_2 \quad (2)$$



Obrázek 11.2-2 Náhradní schéma tranzistoru NPN jako dvojbranu pro admitanční rovnice

Z rovnic (1 a 2) lze definovat pro admitanční soustavu pro nelineární funkce:

$$i_1 = y_{11}(u_1) \quad U_2 = \text{konst.} \quad \text{vstupní admitanční charakteristika} \quad (3)$$

$$i_1 = y_{12}(u_2) \quad U_1 = \text{konst.} \quad \text{zpětná admitanční charakteristika} \quad (4)$$

$$i_2 = y_{21}(u_1) \quad U_2 = \text{konst.} \quad \text{přenosová admitanční charakteristika} \quad (5)$$

$$i_2 = y_{22}(u_2) \quad U_1 = \text{konst.} \quad \text{výstupní admitanční charakteristika (strmost)} \quad (6)$$

Vztah (7) můžeme odvodit z dvojbranu a parametrů y pro admitanci.

$$y_{21} = \frac{i_2}{u_1} \quad U_2 = \text{konst.} \quad (7)$$

Pro ověření vztahu (8) použijeme vzájemný přepoččet mezi parametry h a y .

Mezi h parametry a y parametry existují jednoznačné vztahy pro vzájemný přepoččet. My si uvedeme jediný vztah podle, kterého ověříme platnost:

$$y_{21} = \frac{h_{21}}{h_{11}} \quad U_{CE} = \text{konst.} \quad h_{21} \text{ a } h_{11} \text{ pro stejné } U_{CE} \quad (8)$$

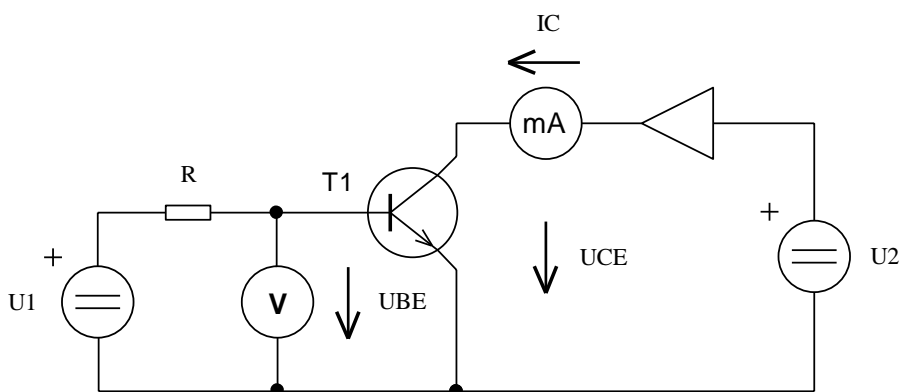
Hodnoty h_{21} a h_{11} pro $U_{CE} = 7 \text{ V}$, jsme naměřili v úlohách č. 10.1 a 10.2.

Převodní charakteristika se využívá pro posouzení účinků budícího signálu nebo při volbě nevhodnější polohy pracovního bodu tranzistoru. Z převodní charakteristiky určíme podle vztahu (9), strmost y_{21} tranzistoru při konstantním napětí U_{CE} . Z naměřených hodnot vyneseme graf $I_C = F(U_{BE})$. Měření provedeme pro napětí $U_{CE} = 3 \text{ V}$, 5 V a 7 V . Napětí U_{CE} po celou dobu měření udržujeme konstantní. Pro odečtení hodnot zvolíme lineární část této charakteristiky. Na grafu v lineární části si zvolíme pracovní bod tranzistoru (P). Odečteme hodnoty I_C a U_{BE} a podle vztahu (9), vypočítáme y_{21} – strmost tranzistoru k pracovnímu bodu pro ΔI_C a ΔU_{BE} [8].

$$y_{21} = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{BE}} \quad U_{CE} = \text{konst.} \quad (9)$$

Admitanční rovnice nám definují zejména parametry tranzistoru pro vysokofrekvenční aplikace.

11.2.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 11.2-3 Zapojení pro měření převodní charakteristiky tranzistoru NPN

Legenda:

$T_1 = \text{BC546B}$

$R = 1 \text{ k}\Omega$

$U_{BE} = 0 - 1,1 \text{ V}$

$U_2 = U_{CE} = 3 \text{ V}, 5 \text{ V a } 7 \text{ V}$ (zanedbáváme vnitřní odpor ampérmetru)

11.2.4 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE

Modul bipolárního tranzistoru NPN, programovatelný DC zdroj, modul výkonového zesilovače, $R = 1 \text{ k}\Omega$, tranzistor $T_1 = \text{BC546B}$, měřicí přístroj Metex M3890D, propojky a propojovací kablíky.

11.2.5 POSTUP MĚŘENÍ

- Zapojte obvod podle obrázku 11.2-3.
- Zapojení si nechte zkontrolovat od vyučujícího.
- Na zdroji nastavte napětí $U_2 = U_{CE}$ na hodnoty 3 V, 5 V a 7 V. Napětí udržujte po celou dobu měření konstantní.

- d. Na zdroji U_I postupně nastavte hodnoty pro napětí U_I podle tabulky 11.2-1.
- e. Změřené hodnoty I_C a U_{BE} zapište do tabulky 11.2-1.
- f. Z naměřených hodnot znázorněte graf $I_C = F(U_{BE})$.
- g. Dle vztahu (1) vypočítejte pro $U_{BE} = 7 \text{ V}$ strmost tranzistoru y_{21} .
- h. V tabulce 11.2-1 naměřených hodnot červeně vyznačte hodnoty, které jste použili k výpočtu.
- i. Zároveň tyto hodnoty vyznačte v grafu.
- j. Na závěr porovnejte naměřené a vypočítané hodnoty s hodnotami z katalogového listu.

11.2.6 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 11.2-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty převodní charakteristiky tranzistoru *BC456B*

U_I [V]	U_{CE} [V]	U_{BE} [V]	I_C [mA]	U_{CE} [V]	U_{BE} [V]	I_C [mA]	U_{CE} [V]	U_{BE} [V]	I_C [mA]
0,000	3,000			5,000			7,000		
0,100	3,000			5,000			7,000		
0,200	3,000			5,000			7,000		
0,300	3,000			5,000			7,000		
0,400	3,000			5,000			7,000		
0,500	3,000			5,000			7,000		
0,600	3,000			5,000			7,000		
0,650	3,000			5,000			7,000		
0,700	3,000			5,000			7,000		
0,750	3,000			5,000			7,000		
0,800	3,000			5,000			7,000		
0,850	3,000			5,000			7,000		
0,900	3,000			5,000			7,000		
0,950	3,000			5,000			7,000		
1,000	3,000			5,000			7,000		
1,050	3,000			5,000			7,000		
1,100	3,000			5,000			7,000		

11.2.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Jaké znáte charakteristiky pro bipolární tranzistory?
- b. Jak rozdělujeme parametry pro tranzistory?
- c. Napište některé mezní hodnoty pro tranzistor?

12 ZÁVĚR

Podle vlastní praxe vím, že většinu elektronických zapojení je lépe 1x vidět a vyzkoušet si jejich funkčnost, než si o nich 3x přečíst podrobné články. Během vyučování jsem vždy uvítal, když přednášející některé pokusy popř. samotné zapojení předvedl a odzkoušel přímo před studenty. Určitě se jedná o nedocenitelnou a názornou pomůcku ve výuce.

V uvedené bakalářské práci je v příznivém pojetí vytvořeno celkem 11 praktických měřících úloh, tzv. pracovišť, včetně jejich řešení. Uvedené měřicí úlohy zapojují a měření provádí samotní studenti pod dohledem vyučujícího. Měřicí úlohy různě obsahují pasivní, aktivní elektronické součástky nebo jejich vzájemné kombinace.

Úlohy jsou zpracovány pro studenty fyzikálního praktika druhého ročníku, ve kterém si nastudované poznatky odzkoušejí prakticky. Všechny úlohy obsahují zadání, krátkou teoretickou část, schéma zapojení, pracovní postup a popř. tabulku pro naměřené a vypočítané hodnoty. V závěru zadané úlohy jsou vždy uvedené tři kontrolní otázky k dané problematice zadané úlohy. Dále v příloze bakalářské práce jsou uvedeny pro všechny úlohy řešení, včetně výpočtů, tabulek, grafů a odpovědí na zadané kontrolní otázky. Použitá schémata v bakalářské práci, byla vytvořena v programu ProfiCAD pro domácnost a tabulky včetně grafů v programu MS Excel 2007.

Po konzultaci s vedoucím práce bylo celkově 25 dílčích úloh rozděleno do 11 samostatných pracovních úloh. Důraz byl brán na podobná témata a náročnost. Každá měřicí úloha obsahuje 2 až 4 dílčí úlohy. Doba pro každou úlohu byla určena mezi 2 až 3 vyučujícími hodinami, kterou může flexibilně vyučující upravit výběrem dílčích úloh popř. měřeními ve vybraných úlohách.

V rámci příprav všech uvedených úloh jsem si připomněl, osvojil a prohloubil své zkušenosti z mé dosavadní praxe v elektrotechnice. Velmi mile jsem byl překvapen se snadným a přívětivým prostředím elektronické stavebnice rc2000 μ LAB. Tato elektronická stavebnice je pro studenty velmi užitečnou pomůckou, pro její snadnou obsluhu, sestavování různých elektronických obvodů a měření na vytvořených úlohách.

Pevně věřím, že uvedené měřicí úlohy, přinesou budoucím posluchačům nové doplňující poznatky k nastudovaným teoretickým věcem a prohloubí jejich vztah k fyzice, zvláště elektrotechnice.

13 SEZNAM POUŽITÝCH ZNAKŮ A SYMBOLŮ

A_U	napětové zesílení
$B (h_{FE})$	stejnoseměrné proudové zesílení
C_X	měřená kapacita
f_r	rezonanční kmitočet
f_Z	mezní kmitočet
G	vodivost
G_C	ztrátová vodivost kondenzátoru
G_L	ztrátová vodivost cívky
h_{21e}	střídavé proudové zesílení
C_H	mezní kapacita
I	proud obvodu
I_0	ideální proud zdroje
I_A	proud miliampérmetru
I_a, I_b	smyčkové proudy
I_B	proud báze
I_C	proud kolektoru
I_E	proud emitoru
I_F	proud diody v propustném směru
$I_{F max}$	maximální proud diody v propustném směru
I_L	proud cívky
I_r	proud rezistorem
I_R	proud v závěrném směru při určitém U_R
I_{Rmax}	maximální povolený proud rezistorem
I_{RZ}	proud zátěžovým rezistorem
I_V	proud voltmetrem
I_Z	maximální přípustný proud Zenerovou diodou
$I_{z max}$	maximální závěrný proud diody
I_{ZK}	zkratový proud
n	zvětšení rozsahu pro bočník
p	poměr napětí
P	výkon
P_D	ztrátový výkon diody
P_{max}	jmenovité zatížení termistoru
P_{RZ}	výkonová ztráta na rezistoru

P_{tot}	maximální ztrátový výkon
R, R_1, R_2, R_3	jmenovitá hodnota rezistoru
R_A	vnitřní odpor miliampérmetru
R_a, R_b, R_c	rezistor pro transfiguraci
R_B	hodnota bočníku
r_{BE}	vstupní odpor tranzistoru
r_{CE}	výstupní odpor tranzistoru
R_{celk}	celková hodnota rezistorů
R_{dek}	odporová dekáda
R_i	vnitřní odpor
R_M	měřený rezistor
R_O	ochranný rezistor
R_P	paralelní rezistor
R_{TH}	rezistor dle Thévenina teorému
R_{THT}	tepelný odpor pro termistor
R_X	porovnávací rezistor
R_Z	zatěžovací rezistor
r_Z	diferenciální (dynamický) odpor
R_9	jmenovitý odpor termistoru NTC
T_E	koncová teplota pro termistor PTC
T_N	jmenovitá (nominální) teplota pro termistor PTC
T_S	počáteční teplota pro termistor PTC
U	svorkové napětí zdroje
U_0	výstupní napětí náhradního (ideálního) zdroje
U_1	vstupní napětí
U_2	výstupní napětí
U_{2nab}	nabíjecí napětí na kondenzátoru
U_{2vyb}	vybíjecí napětí na kondenzátoru
U_A	úbytek napětí na miliampérmetru
U_a	napětí na zatíženém můstku
U_b	napětí na zatíženém můstku
U_{BE}	napětí báze-emitor
U_C	napětí na kondenzátoru
U_{CE}	napětí kolektor-emitor
U_F	napětí na diodě v propustném směru
U_L	napětí na cívce
U_{max}	maximální napětí pro termistor PTC

U_n	napětí naprázdno
U_{NTC}	napětí na NTC termistoru
U_P	prahové napětí pro diodu
U_{PTC}	napětí na PTC termistoru
U_r	úbytek napětí na rezistoru
U_R	napětí na rezistoru
U_{R2}	úbytek na rezistoru R_2
U_{R3}	úbytek na rezistoru R_3
U_{RZ}	napětí na zátěžovém rezistoru
U_{RZTH}	vypočítaná hodnota pro Théveninovu metodu
U_{RZTR}	vypočítaná hodnota pro transfiguraci
U_{RZV}	vypočítaná hodnota podle Nortonova teorému
U_Z	jmenovité Zenerovo napětí
X_C	kapacitní reaktance
X_P	paralelní reaktance
X_S	seriová reaktance
Y	admitance
Z	impedance
α_R	teplotní součinitel odporu termistoru PTC
ΔR	odchylka hodnot rezistorů
δ_R	relativní chyba měření
Δt	přírůstek času
ΔU	přírůstek napětí
ϑ_H	horní mez teploty pro termistor NTC
ϑ_L	dolní mez teploty pro termistor NTC
τ	časová konstanta

14 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] **Sudek, Martin.** *Základní měření pasivních a aktivních elektronických součástek.* Hradec Králové : UHK Hradec Králové, 2013.
- [2] **Tkotz, Klaus.** *Příručka pro elektrotechniku.* Praha 10 : Europa-Sobotáles cz.s.r.o., U Slávie 4, 2006. str. 624. ISBN 80-86706-13-3.
- [3] **Dietmeier, Ulrich.** *Vzorče pro elektroniku.* Praha : BEN = technická literatura, 1999. str. 256. ISBN 80-86056-53-8.
- [4] **Jarešová, Miroslava.** *Elektrické obvody.* Hradec Králové : MAFY, 2003. str. 56. ISBN 80-86148-6-1.
- [5] RC Didactic systems. [Online] [Citace: 28. březen 2016.] <http://www.rcdidactic.cz/cz/system-lab.html>.
- [6] **Kovář, Oldřich.** *Elektronika sbírka příkladů.* Praha : BEN, 2002. str. 160. ISBN 80-86056-57-0.
- [7] **Nečásek, Sláva.** *Radiotechnika do kapsy.* Praha : SNTL, n.p., Spálená51, 1981. str. 394.
- [8] **Klepl, Václav.** *Základy elektrotechniky v příkladech.* Praha 2 : SNTL, n.p. Spálená 51, 1956. str. 388.
- [9] **Černý, Michal.** Měření L a C osciloskopem. *Praktická elektronika.* 2015, 04/2015.
- [10] **Nobilis, Jiří.** *Elektronika - polovodičové součástky a základní zapojení.* Praha : BEN - technická literatura, 2006. str. 480. ISBN 80-7300-123-3.
- [11] **Stránský, Josef.** *Polovodičová technika.* Praha : SNTL, n.p., Spálená 51, 1973. str. 392.

15 PŘÍLOHA

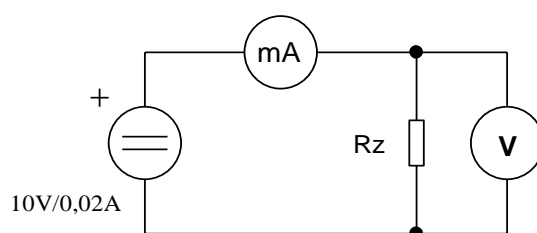
1 ŘEŠENÍ PRACOVNÍ ÚLOHY PRO PRACOVNÍŠTĚ 1

1.1 MĚŘENÍ ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKY NAPĚŤOVÉHO ZDROJE 10 V/0,02 A

1.1.1 ÚKOL

Změřte voltampérovou zatěžovací charakteristiku programovatelného DC zdroje. Naměřené hodnoty U a I запиšte do tabulky. Z naměřených hodnot vypočítejte výkon P a zjistěte maximální dodávaný proud I měřeného zdroje při jeho nominální hodnotě napětí U . Dále sestrojte grafy $U = F(I)$, $U = F(R_z)$, $P = F(I)$ a $P = F(R_z)$.

1.1.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ

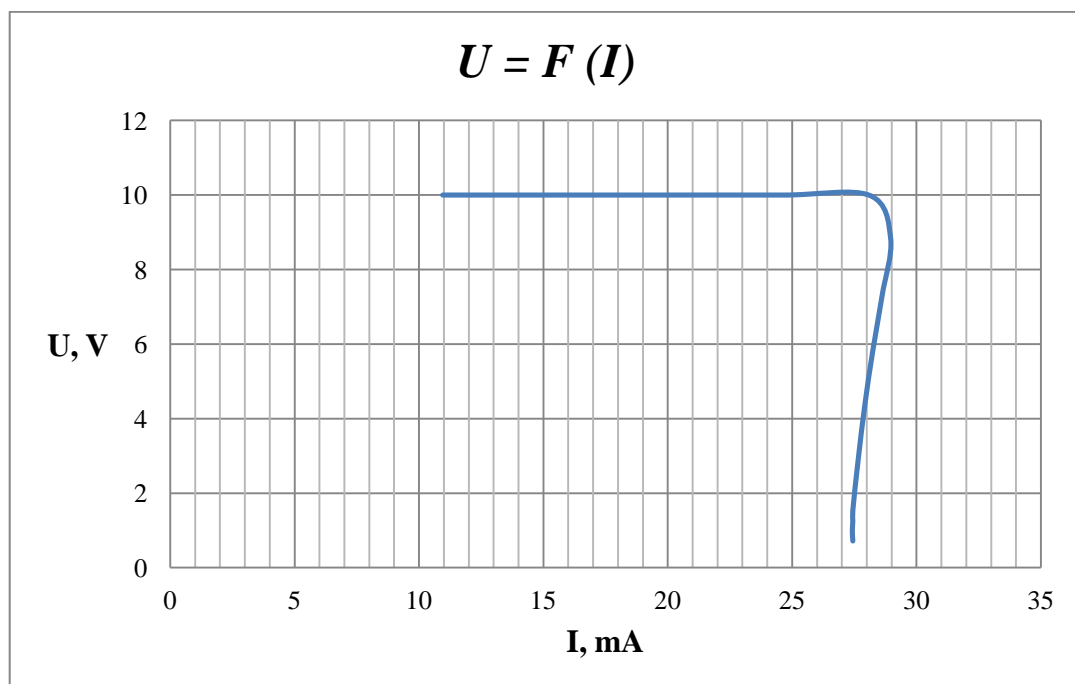


Obrázek 1.1-1 Zapojení pro měření zatěžovací charakteristiky zdroje 10 V/0,02 A

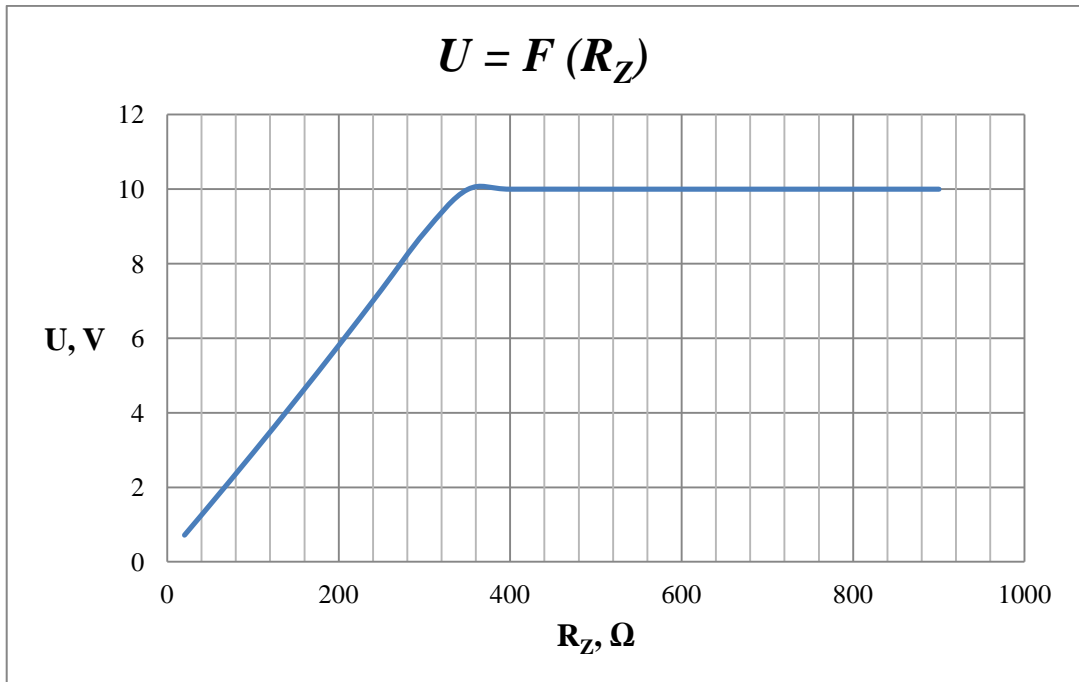
1.1.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 1.1-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro zdroj 10 V/0,02 A

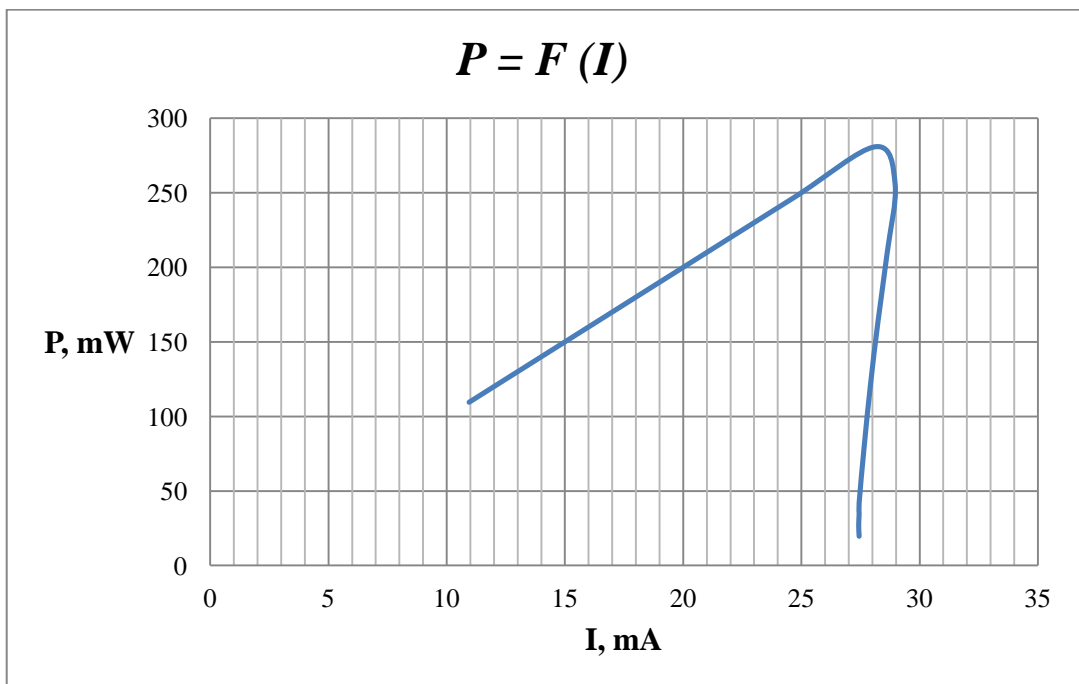
R_z [Ω]	U [V]	I [mA]	P [mW]
900	10,00	10,95	109,50
800	10,00	12,32	123,20
700	10,00	14,02	140,20
600	10,00	16,38	163,80
500	10,00	19,78	197,80
400	10,00	24,66	246,60
350	9,99	28,12	280,92
300	8,84	28,96	256,01
250	7,31	28,62	209,21
200	5,81	28,24	164,07
150	4,35	27,92	121,45
100	2,92	27,66	80,85
50	1,53	27,44	42,09
40	1,26	27,44	34,57
30	0,99	27,42	27,06
20	0,71	27,44	19,59



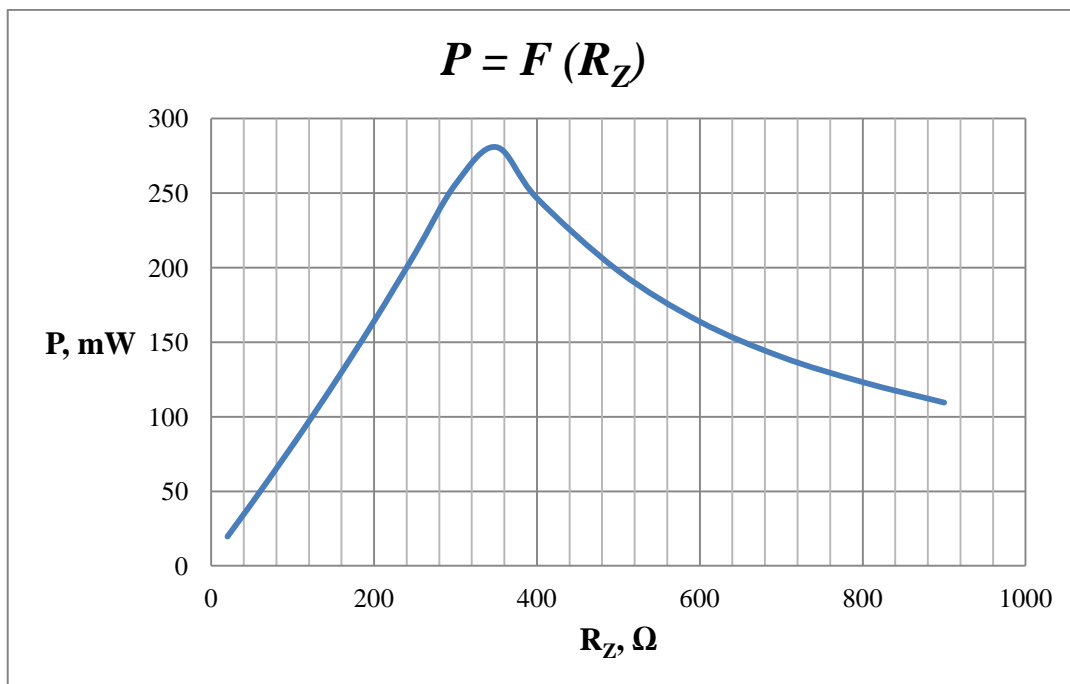
Obrázek 1.1-2 Změřená charakteristika $U = F(I)$ pro zdroj 10 V/0,02 A



Obrázek 1.1-3 Změřená charakteristika $U = F(R_Z)$ pro zdroj 10 V/0,02 A



Obrázek 1.1-4 Změřená charakteristika $P = F(I)$ pro zdroj 10 V/0,02 A

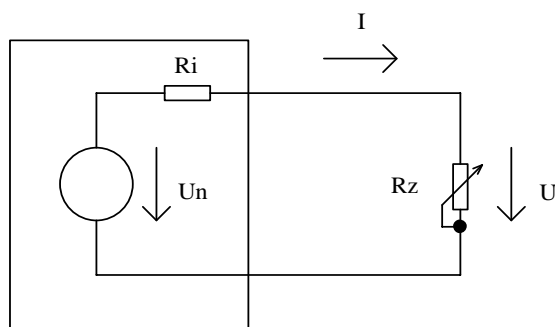


Obrázek 1.1-5 Změřená charakteristika $P = F(R_Z)$ pro zdroj 10 V/0,02 A

1.1.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Nakreslete a popište náhradní zdroj napětí a zdroj proudu.

Náhradní zdroj napětí:



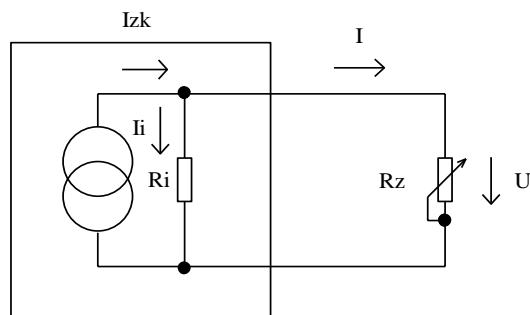
Obrázek 1.1-6 Schéma náhradního zdroje napětí

Schéma náhradního zdroje napětí je zobrazeno na obrázku 1.1-6. Náhradní zdroj napětí má na svých svorkách trvale napětí U_n – napětí naprázdno. Pokud ke zdroji připojíme zátěž, v našem případě rezistor R_Z , napětí se rozdělí na rezistor R_Z a rezistor R_i . Z toho plyne, že svorkové napětí U je menší o úbytek napětí na rezistoru R_i – vnitřní odpor zdroje. Vztah pro výpočet svorkového napětí zdroje U :

$$U = U_n - U_{R_i} = U_n - IR_i \quad [V; V, A, \Omega] \quad (1)$$

- U svorkové napětí
- U_n napětí naprázdno
- I zatěžovací proud
- R_i vnitřní odpor

Náhradní zdroj proudu:



Obrázek 1.1-7 Schéma náhradního zdroje proudu

Schéma náhradního zdroje proudu je zobrazeno na obrázku 1.1-7. Už podle schematické značky si lze zdroj představit, jako zdroj, který má nekonečně velký odpor a je schopný nepřetržitě dodávat zkratový proud I_{ZK} . Vztah pro výpočet zatěžovacího proudu:

$$I = I_{ZK} - \frac{U}{R_i} \quad [A; A, V, \Omega] \quad (2)$$

- I zatěžovací proud obvodu
- I_{ZK} zkratový proud
- U svorkové napětí
- R_i vnitřní odpor

b. Uveďte vztah pro výpočet vnitřního odporu R_i zdroje?

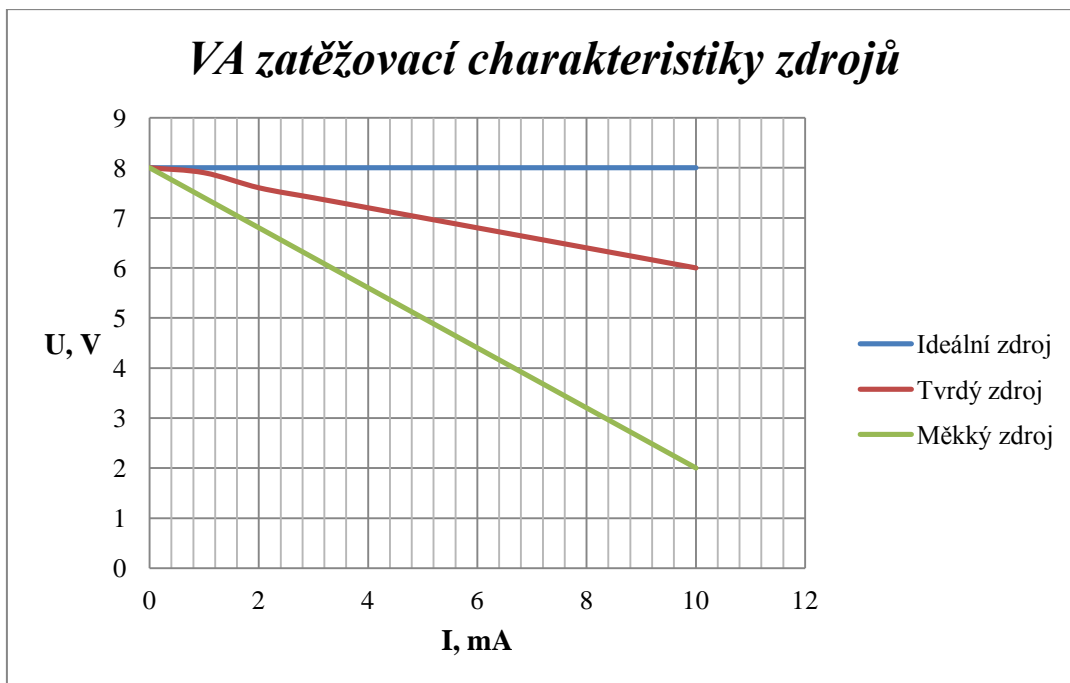
$$R_i = \frac{U_n}{I_{ZK}} \quad [\Omega; V, A] \quad (3)$$

R_i vnitřní odpor zdroje

U_n napětí naprázdno

I_{ZK} zkratový proud

c. Nakreslete VA zatěžovací charakteristiky tzv. ideálního, tvrdého a měkkého zdroje.



Obrázek 1.1-8 VA zatěžovací charakteristiky zdrojů

1.1.5 ZÁVĚR

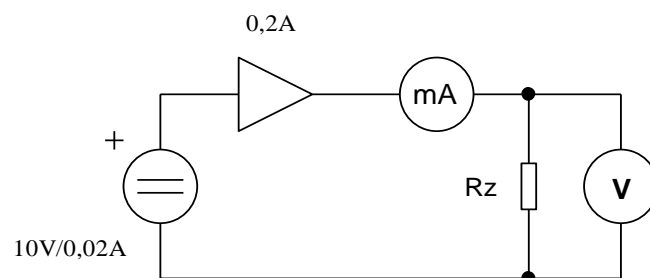
Měřením programovatelného DC zdroje jsme zjistili, že lze ze zdroje při jeho nastaveném napětí U odebrat maximálně $I = 24,66$ mA, tzn. maximální výkon $P = 246,6$ mW. Z VA charakteristik je patrné, kdy u zdroje nastane proudové omezení pro jeho ochranu před zničením. Na tyto hodnoty musíme brát ohled pro další naše měření.

1.2 MĚŘENÍ ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKY NAPĚŤOVÉHO ZDROJE 10 V/0,02 A S MODULEM VÝKONOVÉHO ZESILOVAČE 0,2 A

1.2.1 ÚKOL

Změřte voltampérovou zatěžovací charakteristiku programovatelného DC zdroje se zapojeným modulem výkonového zesilovače. Naměřené hodnoty U a I zapište do tabulky. Z naměřených hodnot vypočítejte výkon P a zjistěte maximální dodávaný proud I měřeného modulu výkonového zesilovače při jeho nominálním napětí U . Na závěr měření sestrojte grafy $U = F(I)$, $U = F(R_Z)$, $P = F(I)$ a $P = F(R_Z)$.

1.2.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ

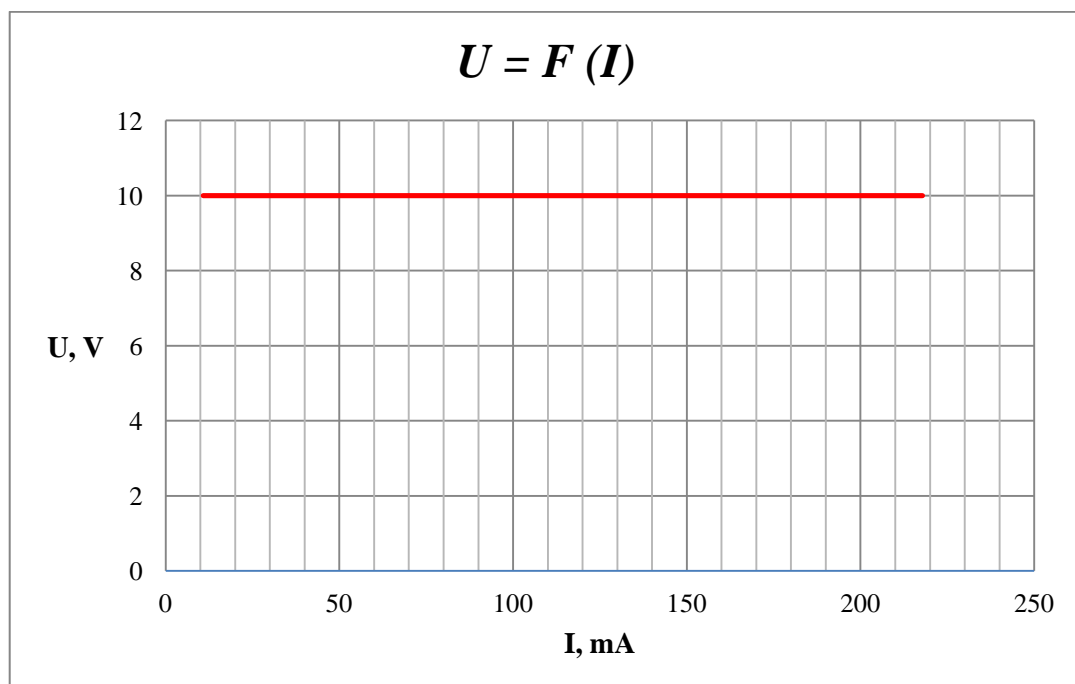


Obrázek 1.2-1 Zapojení pro měření zatěžovací charakteristiky zdroje 10 V/0,02 A a výkonového zesilovače

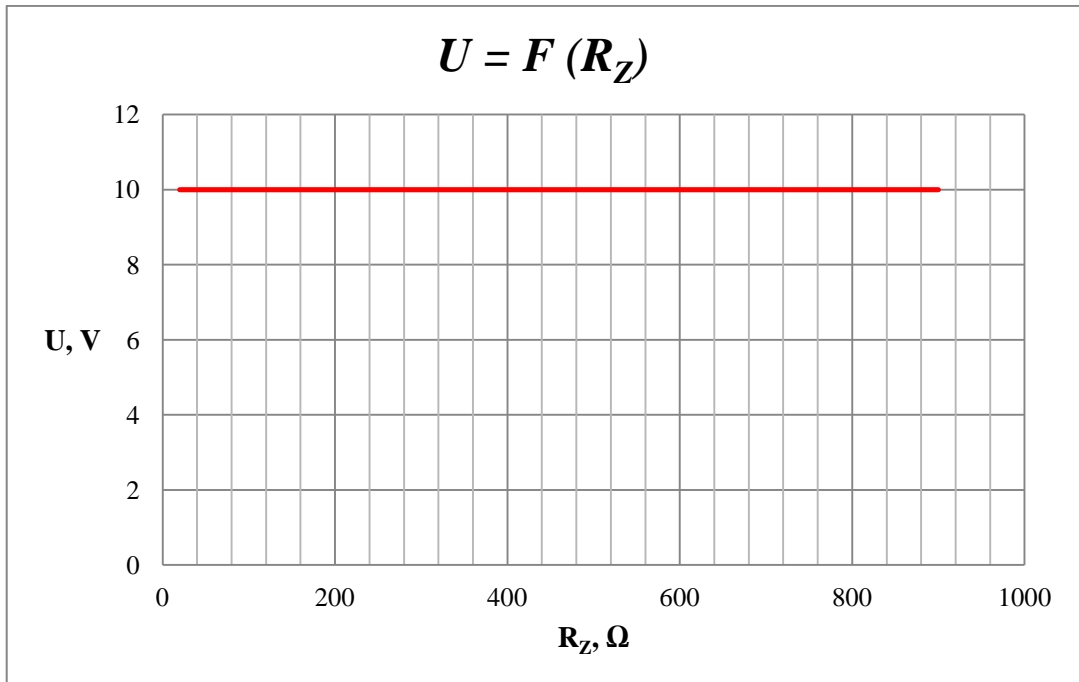
1.2.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 1.2-1 Naměřené a vypočítané hodnoty zdroje 10 V/0,02 a modulu výkonového zesilovače

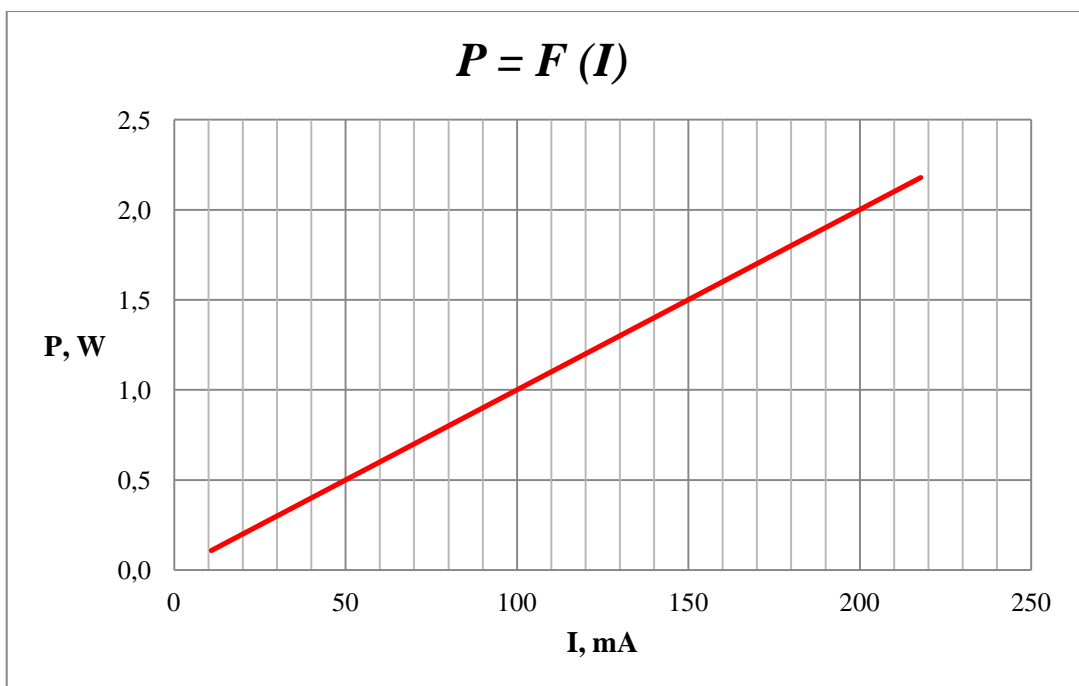
R_Z [Ω]	U [V]	I [mA]	P [W]
900	10,00	10,82	0,11
800	10,00	12,12	0,12
700	10,00	13,80	0,14
600	10,00	16,00	0,16
500	10,00	19,04	0,19
400	10,00	23,50	0,24
350	10,00	26,64	0,27
300	10,00	30,72	0,31
250	10,00	36,28	0,36
200	10,00	44,20	0,44
150	10,00	56,80	0,57
100	10,00	79,40	0,79
50	10,00	131,80	1,32
40	10,00	151,80	1,52
30	10,00	178,80	1,79
20	10,00	217,80	2,18



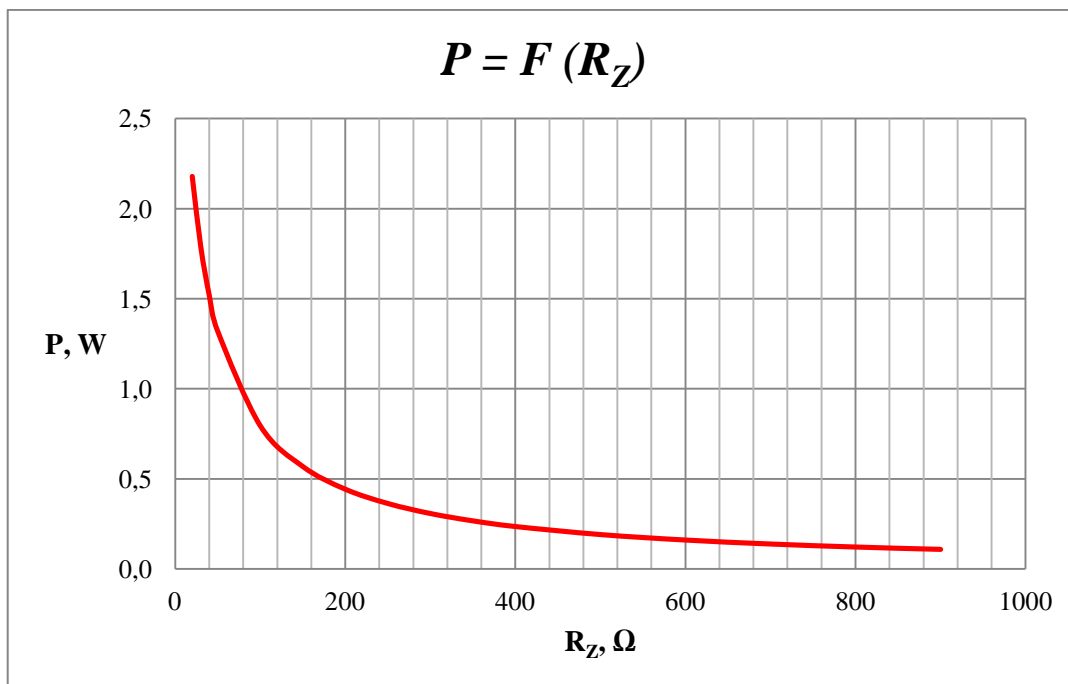
Obrázek 1.2-2 Změřená charakteristika $U = F(I)$ napětového zdroje 10 V/0,02 A a modulu výkonového zesilovače



Obrázek 1.2-3 Změřená charakteristika $U = F(R_Z)$ napěťového zdroje 10 V/0,02 A a modulu výkonového zesilovače



Obrázek 1.2-4 Změřená charakteristika $P = F(I)$ napěťového zdroje 10 V/0,02 A a modulu výkonového zesilovače



Obrázek 1.2-5 Změřená charakteristika $P = F(R_Z)$ napět'ového zdroje 10 V/0,02 A a modulu výkonového zesilovače

1.2.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Spojování zdrojů. Jak dosáhnete většího napětí nebo většího proudu?

Pokud potřebujeme zvětšit napětí zdroje, zapojíme jednotlivé zdroje do série, kde se vnitřní odpory zdrojů také sčítají. Výsledné napětí je součtem všech napětí zdrojů.

Naopak pokud potřebuje zvětšit proud zdroje, zapojíme zdroje paralelně. Výsledný proud je součtem všech proudů dodávaných zdroji. Zdroje by měly mít stejné napětí, jinak jimi potečou vyrovnávací proudy. Totéž platí pro vnitřní odpory zdrojů.

- b. Sériové spojení zdrojů. Jak zdroje zapojíte?

Zdroje zapojujeme za sebou tzv. do série. Kladný pól jednoho zdroje připojíme k zápornému pólu druhého zdroje. Celkové napětí zdrojů je dáno součtem všech

zapojených zdrojů, vnitřní odpor je součtem všech vnitřních odporů zapojených zdrojů. Všemi zdroji protéká stejný proud do zátěže.

c. Paralelní spojování zdrojů. Jak zdroje zapojíte?

Zdroje zapojujeme vedle sebe tzv. paralelně. Kladný pól jednoho zdroje připojíme ke kladnému pólu druhého zdroje. Záporný pól jednoho zdroje připojíme k zápornému pólu druhého zdroje. Zdroje musí mít stejné výstupní napětí a stejné vnitřní odpory. Celkové napětí zdroje je stejně veliké jako napětí jednoho zdroje. Celkový proud je dán součtem všech proudů zapojených zdrojů.

1.2.5 ZÁVĚR

Měřením programovatelného DC zdroje a v sérii zapojeného modulu výkonového zesilovače jsme zjistili, že lze ze zdroje při jeho nastaveném napětí U odebrat maximálně proud $I = 217,8 \text{ mA}$ nebo tzn. maximální výkon $P = 2,18 \text{ W}$. Kombinaci těchto dvou modulů budeme muset použít, když budeme potřebovat do obvodu dodávat větší proud než $0,02 \text{ A}$.

1.3 MĚŘENÍ VNITŘNÍHO ODPORU AMPÉRMETRU PRO ROZSAHY 40 mA, 4 mA A 400 μ A

1.3.1 ÚKOL

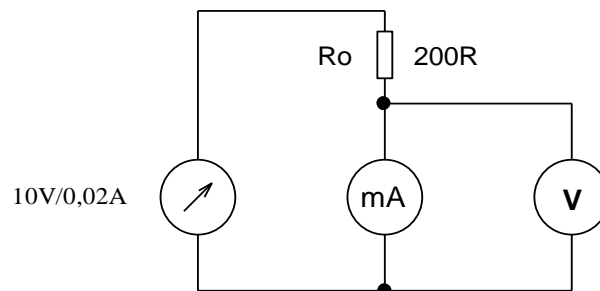
Změřte vnitřní odpor ampérmetru R_A měřicího přístroje Metex M3890D. Měření proved'te pro rozsahy 40 mA, 4 mA a 400 μ A. Naměřené hodnoty U a I zapište do tabulky. Z naměřených hodnot vypočítejte R_A .

Vnitřní odpor R_A dopočítáme podle Ohmova zákona a vztahu (1):

$$R_A = \frac{U_A}{I_A} \quad [\Omega; V, A] \quad (1)$$

- R_A vnitřní odpor miliampérmetru
- U_A úbytek napětí na miliampérmetru
- I_A proud miliampérmetru

1.3.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 1.3-1 Zapojení pro měření vnitřního odporu ampérmetru

1.3.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Pro rozsah do 40 mA:

Tabulka 1.3-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro rozsah 40 mA

U_A [mV]	I_A [mA]	R_A [Ω]
28,5	5	5,70
57,6	10	5,76
86,3	15	5,75
115,2	20	5,76
143,7	25	5,75
172,6	30	5,75
201,5	35	5,76
211	37	5,70
220	38	5,79
231	40	5,78
průměr		5,75

Výsledek:

$$R_A = 5,75 \Omega$$

Pro rozsah do 4 mA:

Tabulka 1.3-2 Naměřené a vypočítané hodnoty pro rozsah 4 mA

U_A [mV]	I_A [mA]	R_A [Ω]
213,7	0,428	499,30
459	0,922	497,83
569,3	1,142	498,51
872,5	1,752	498,00
935,4	1,88	497,55
1111,7	2,234	497,63
1287,5	2,588	497,49
1517,7	3,05	497,61
1736,1	3,49	497,45
1951,8	3,922	497,65
průměr		497,90

Výsledek:

$$R_A = 497,90 \Omega$$

Pro rozsah do 400 μA :

Tabulka 1.3-3 Naměřené a vypočítané hodnoty pro rozsah 400 μA

U_A [mV]	I_A [mA]	R_A [Ω]
31,4	0,0622	504,82
47,43	0,0944	502,44
53,11	0,1058	501,98
72,45	0,1448	500,35
88,46	0,1766	500,91
97,42	0,1944	501,13
118,2	0,236	500,85
135,02	0,2694	501,19
161,87	0,3234	500,53
184,92	0,3696	500,32
průměr		501,45

Výsledek:

$$R_A = 501,45 \Omega$$

Celkové naměřené a vypočítané hodnoty:

Tabulka 1.3-4 Tabulka pro celkové naměřené a vypočítané hodnoty

rozsah ampérmetru	R_A [Ω]
40 mA	5,75
4 mA	497,90
400 μA	501,45

1.3.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

a. K čemu slouží ampérmetr?

Ampérmetr je měřicí přístroj, který používáme pro měření elektrického proudu v obvodu. Přístroj se vyznačuje malým vnitřním odporem R_A . Ampérmetr vždy zapojujeme do série. Ampérmetrem můžeme měřit stejnosměrné a střídavé proudy. Dále ampérmetry můžeme dělit na analogové a digitální.

- b. Jak změříte proud, pokud nemůžete do obvodu připojit ampérmetr?

Použijeme nepřímou metodu a hodnotu dopočítáme podle Ohmova zákona. Změříme úbytek napětí U_R na uvedené součástce např. rezistoru, dále zjistíme jeho nominální hodnotu. Tyto obě hodnoty použijeme k výpočtu výsledného proudu I .

$$I = \frac{U_R}{R} \quad [\text{A}; \text{V}, \Omega] \quad (2)$$

I měřený proud

U_R úbytek napětí na rezistoru

R jmenovitá hodnota rezistoru

- c. Jak zvětšíte měřicí rozsah ampérmetru? Uveďte vzorec.

Bočník (rezistor) používáme pro zvětšení měřicího rozsahu ampérmetru. Měřený proud I se rozdělí mezi bočník R_B a ampérmetr R_A . Jedná se tzv. dělič proudu. Výpočet:

$$R_B = R_A \frac{I_A}{I - I_A} = \frac{R_A}{n - 1} \quad [\Omega; \Omega, n] \quad (3)$$

R_B hodnota bočníku

R_A hodnota ampérmetru

I_A proud ampérmetru

I proud obvodu

n zvětšení rozsahu

1.3.5 ZÁVĚR

Měřením přístroje Metex M3890D jsme zjistili následující hodnoty pro vnitřní odpor ampérmetru R_A :

- pro rozsah 40 mA: 5,75 Ω
- pro rozsah 4 mA: 497,90 Ω
- pro rozsah 400 μ A: 501,45 Ω

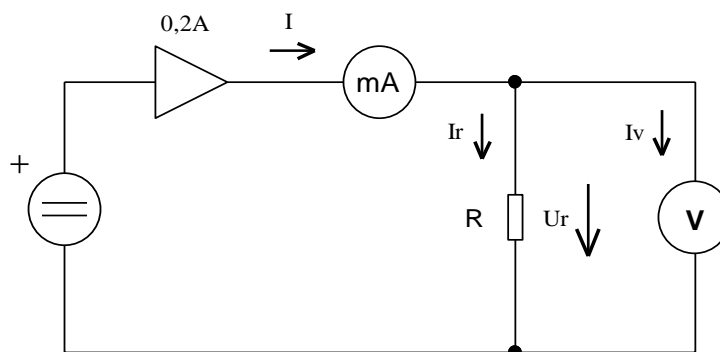
Naměřené hodnoty použijeme v některých dalších úlohách.

1.4 MĚŘENÍ REZISTORŮ

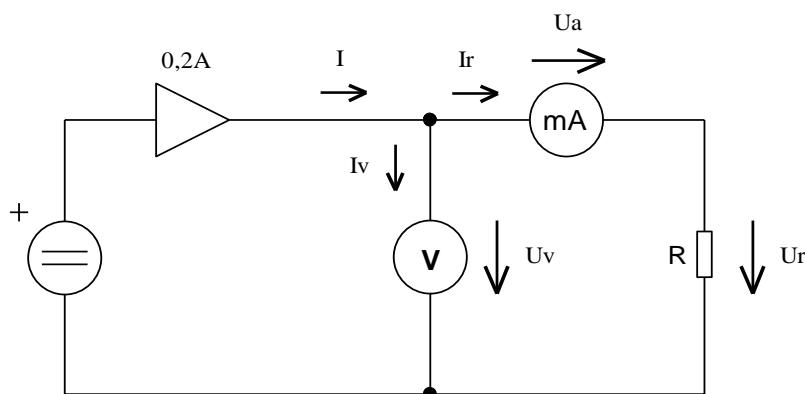
1.4.1 ÚKOL

Pomocí přímé a nepřímé metody změřte odpor zadaných rezistorů. U nepřímé metody berte v úvahu vliv měřicích přístrojů na měření rezistoru R . Na závěr měření metody mezi sebou porovnejte.

1.4.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 1.4-1 Zapojení pro měření malých hodnot rezistorů



Obrázek 1.4-2 Zapojení pro měření velkých hodnot rezistorů

1.4.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Pro výpočty využijeme znalost Ohmova a Kirchhoffova zákona.

Výpočet maximálního proudu rezistorem I_{Rmax} a bezpečného napětí $U/2$:

$$I_{Rmax} = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad [\text{A}; \text{W}, \Omega] \quad (1)$$

$$U/2 = R \frac{I_{Rmax}}{2} \quad [\text{V}; \Omega, \text{A}] \quad (2)$$

Výpočet a naměřené hodnoty pro malé rezistory:

$$I = I_r + I_V \Rightarrow I_r = I - I_V \quad I_V = \frac{U_r}{R_V} \quad [\text{A}; \text{V}, \Omega] \quad (3)$$

$$R_M = \frac{U_r}{I_r} = \frac{U_r}{I - I_V} = \frac{U_r}{I - \frac{U_r}{R_V}} \quad [\Omega; \text{V}, \text{A}, \text{V}, \Omega] \quad (4)$$

$$R = \frac{U_r}{I_r} \quad [\Omega; \text{V}, \text{A}] \quad (5)$$

$$\Delta R = |R - R_M| \quad [\Omega] \quad (6)$$

$$\delta_R = \frac{\Delta R}{R_M} 100 \quad [\%; \Omega, \Omega] \quad (7)$$

Tabulka 1.4-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro malé hodnoty rezistorů

R [k Ω]	I_{Rmax} [mA]	$U/2$ [V]	I_r [mA]	U_r [V]
0,01	158,11	0,79	77,90	0,77
0,1	50,00	2,50	31,20	3,11
0,5	22,36	5,59	12,10	6,11
1	15,81	7,91	7,90	8,02
5	7,07	17,68	1,96	10,05
10	5,00	25,00	1,00	10,04
100	1,58	79,06	0,10	10,05
500	0,71	176,78	0,02	10,05

Tabulka 1.4-2 Naměřené a vypočítané hodnoty pro malé hodnoty rezistorů

R [k Ω]	R [Ω]	R_V [Ω]	ΔR [Ω]	δ_R [%]	RLC [Ω]
0,01	9,87	9,87	0,00	0,00	9,98
0,1	99,71	99,71	0,00	0,00	99,99
0,5	504,96	504,98	0,03	0,01	500,10
1	1015,19	1015,29	0,10	0,01	1000,40
5	5127,55	5130,18	2,63	0,05	5001,40
10	10029,97	10040,04	10,07	0,10	9997,20
100	100500,00	101520,28	1020,28	1,01	99945,00
500	528947,37	558488,47	29541,10	5,29	499860,00

Výpočet a naměřené hodnoty pro velké rezistory:

$$U_V = U_A + U_r \Rightarrow U_r = U_V - U_A \quad U_A = R_A I_r \quad [V; \Omega, A] \quad (8)$$

$$R_M = \frac{U_r}{I_r} = \frac{U_V - U_A}{I_r} = \frac{U_V - R_A I_r}{I_r} = \frac{U_V}{I_r} - R_A \quad [\Omega; V, A, \Omega] \quad (9)$$

$$R = \frac{U_r}{I_r} \quad [\Omega; V, A] \quad (10)$$

$$\Delta R = |R - R_M| \quad [\Omega] \quad (11)$$

$$\delta_R = \frac{\Delta R}{R_M} 100 \quad [%; \Omega, \Omega] \quad (12)$$

Tabulka 1.4-3 Naměřené a vypočítané hodnoty pro velké hodnoty rezistorů

R [k Ω]	I_{Rmax} [mA]	$U/2$ [V]	I_r [mA]	U_v [V]
0,01	158,11	0,79	53,70	1,01
0,1	50,00	2,50	23,30	2,54
0,5	22,36	5,59	11,70	6,00
1	15,81	7,91	7,90	8,08
5	7,07	17,68	1,95	10,03
10	5,00	25,00	0,99	10,01
100	1,58	79,06	0,10	10,01
500	0,71	176,78	0,02	10,01

Tabulka 1.4-4 Naměřené a vypočítané hodnoty pro velké hodnoty rezistorů

R [k Ω]	R [Ω]	R_V [Ω]	ΔR [Ω]	δ_R [%]	RLC [Ω]
0,01	18,79	13,04	5,75	44,10	9,98
0,1	109,06	103,31	5,75	5,57	99,99
0,5	512,82	507,07	5,75	1,13	500,10
1	1022,78	1017,03	5,75	0,57	1000,40
5	5143,59	5137,84	5,75	0,11	5001,40
10	10111,11	10105,36	5,75	0,06	9997,20
100	102142,86	102137,11	5,75	0,01	99945,00
500	556111,11	556105,36	5,75	0,00	499860,00

1.4.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

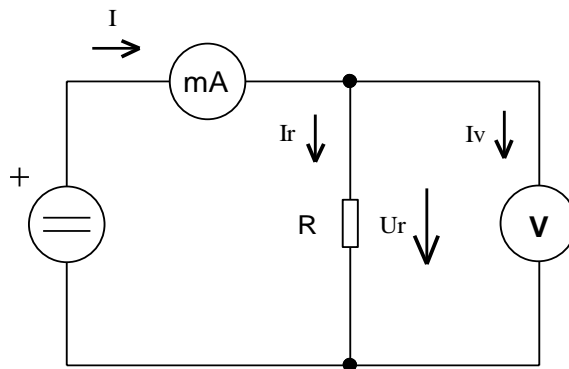
- a. Jaké znáte metody měření pasivních součástek?

Metody rozdělujeme na přímé a nepřímé.

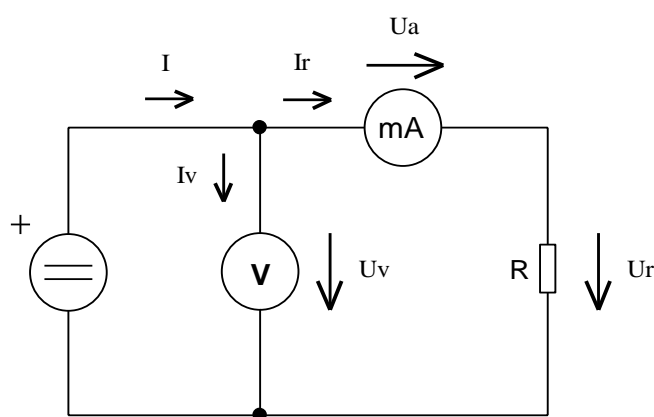
U přímé metody měříme součástku po nastavení správného rozsahu přímo na svorkách měřicího přístroje. Konečnou hodnotu odečítáme na jeho stupnici nebo displeji.

U nepřímé metody musíme změřit dvě rozdílné veličiny a konečnou hodnotu vypočítat podle známých vztahů.

- b. Nakreslete schéma pro nepřímou metodu měření malých a velkých hodnot rezistorů?



Obrázek 1.4-3 Zapojení pro měření malých hodnot rezistorů



Obrázek 1.4-4 Zapojení pro měření velkých hodnot rezistorů

c. Jaké znáte druhy rezistorů a v jakých řadách jsou vyráběny?

Dělení rezistorů:

- podle použitého materiálu (uhlíkové, metalizované, drátové)
- podle druhu (pevné, proměnné)
- podle jmenovitého zatížení (0,125 – 100 W)

V praxi se můžeme setkat s více druhy rezistorů, které jsou vyráběny v elektronických řadách např. E3, E6, E12, E24, E48, E96 a E192 s různými tolerancemi $\pm 0,05\%$, $\pm 0,1\%$, $\pm 0,25\%$, $\pm 0,5\%$, $\pm 1\%$, $\pm 2\%$, $\pm 5\%$, $\pm 10\%$ a $\pm 20\%$.

1.4.5 ZÁVĚR

Obě nepřímé metody pro měření rezistorů ukázaly, že první je vhodná pro malé hodnoty rezistorů a druhá pro velké hodnoty rezistorů.

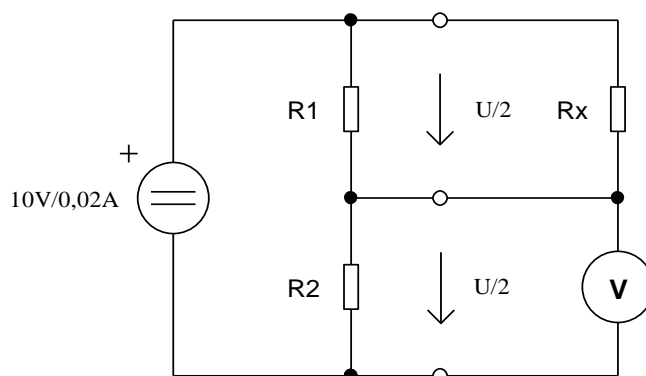
2 ŘEŠENÍ PRACOVNÍ ÚLOHY PRO PRACOVNÍŠTĚ 2

2.1 VNITŘNÍ ODPOR VOLTMETRU A JEHO VLIV NA MĚŘENÍ V ELEKTRICKÉM OBVODU

2.1.1 ÚKOL

Pomocí děliče napětí zjistěte vliv měření s digitálním multimetrem M-3890D USB a voltmetrem DC & AC RMS z výukového systému rc2000 - μ LAB. Ověřte vstupní odpor obou dvou voltmetrů a porovnejte z technické specifikace měřícího přístroje. Na závěr měření, porovnejte měřící přístroje.

2.1.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 2.1-1 Zapojení děliče napětí pro určení vnitřního odporu voltmetru

2.1.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 2.1-1 Naměřené a vypočítané hodnoty na voltmetrech

	DC & AC RMS	Metex M3890D
$R_{1,2}$ [k Ω]	U_{R2} [V]	U_{R2} [V]
1	5,000	4,990
100	4,976	4,970
1000	4,761	4,720

Pokud místo rezistoru R_x , zapojíme rezistor s nominální hodnotou $R = 10 \text{ M}\Omega$, naměříme na děliči, vždy přesnou hodnotu polovičního napájecího napětí $U_{R2} = 5,000 \text{ V}$. Vnitřní odpor voltmetru $R_V = 10 \text{ M}\Omega$.

2.1.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Jakým způsobem zapojíte voltmetr do obvodu?

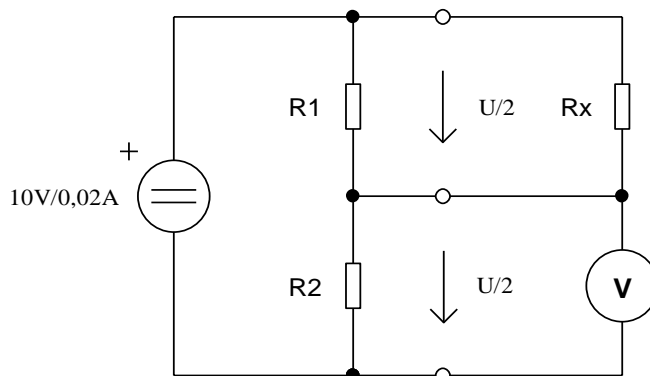
Voltmetr se zapojuje paralelně k měřené části v elektrickém obvodu.

- b. Jaký má vnitřní odpor ideální voltmetr? Dále popište běžný voltmetr.

Ideální voltmetr by měl mít vnitřní odpor nekonečně velký.

Současný voltmetr by měl mít vnitřní odpor co největší, aby nezatěžoval měřený elektrický obvod a procházel jím co nejmenší proud. Dnešní běžné voltmetry mají vnitřní odpory řádově v jednotkách až desítkách megaohmů.

- c. Jak změříte vstupní odpor voltmetru? Nakreslete schéma a popište ho.



Obrázek 2.1-2 Zapojení děliče napětí pro určení vnitřního odporu voltmetru

K měření využijeme zapojení na obrázku 2.1-2. V děliči zapojíme rezistory $R_1 = 1 \text{ M}\Omega$ a $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$. Na výstupu napěťového děliče máme polovinu napětí $U/2$ z celkového napětí U . Dále připojíme voltmetr a pomocí R_x nastavíme poloviční napětí $U/2$ z celkového napětí U . Potom platí, že $R_V = R_x$.

2.1.5 ZÁVĚR

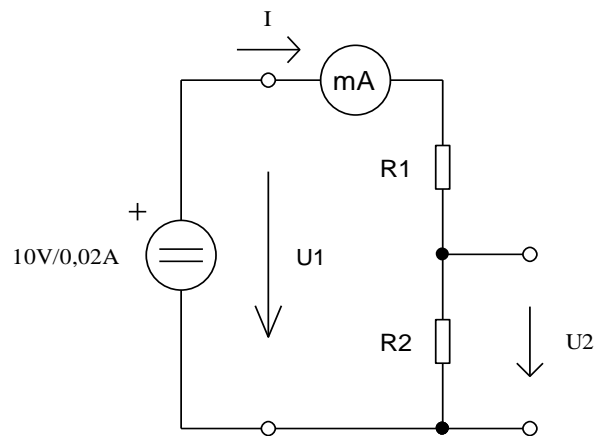
Při měření a z technické specifikace jsme zjistili, že voltmetry mají stejný vstupní odpor $R = 10 \text{ M}\Omega$. U voltmetru DC & AC RMS, můžeme však měření rozlišit na 3 desetinná místa.

2.2 MĚŘENÍ NA NEZATÍŽENÉM ODPOROVÉM DĚLIČI NAPĚTÍ

2.2.1 ÚKOL

Navrhňte dva odporové děliče napětí, které budou mít na výstupu rezistoru R_2 napětí U_2 menší oproti vstupnímu napětí U_1 o 13 dB a 20 dB, pro napětí $U_1 = 10$ V. Do protokolu uveďte celý výpočet. Na závěr porovnejte výpočet a praktické měření odporového děliče napětí.

2.2.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 2.2-1 Zapojení pro měření na odporovém děliči napětí

2.2.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Verze: $U_1 = 10$ V a $U_2 = 0,5$ V (13 dB)

Nejdříve vypočítáme poměr pro napětí:

$$A_U = 10 \log \frac{U_1}{U_2} \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

$$13 = 10 \log \frac{U_1}{U_2} \quad (2)$$

$$1,3 = \log \frac{U_1}{U_2} \quad (3)$$

$$10^{1,3} = 19,95 \approx 20 \quad (4)$$

Poměr mezi výstupním a vstupním napětím je 20. Z výpočtu nám vyplývá, že napětí na výstupu děliče má být $U_2 = 0,5$ V.

Pokud známe obě napětí, můžeme poměr napětí vyjádřit vztahem:

$$p = \frac{U_1}{U_2} \quad [; V, V] \quad (5)$$

Zvolíme si celkový proud napěťového děliče: $I = 1$ mA.

Podle vstupního napětí a celkového proudu vypočítáme celkový odpor děliče napětí:

$$R = \frac{U_1}{I} = \frac{10}{0,001} = 10000 \Omega \quad (6)$$

Ze vztahu poměrů vypočítáme velikost rezistoru R_2 pro výstupní napětí U_2 :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R}{R_2} \Rightarrow R_2 = R \frac{U_2}{U_1} \quad [\Omega; \Omega, V, V] \quad (7)$$

$$R_2 = R \frac{U_2}{U_1} = 10000 \frac{0,5}{10} = 500 \Omega \quad (8)$$

Dopočítáme R_1 :

$$R_1 = R - R_2 = 10000 - 500 = 9500 \Omega \quad (9)$$

Nakonec nás bude zajímat zatížení děliče, tedy maximální proud děličem při námi navržených součástkách. Ve výukovém systému rc2000 μ LAB používáme odpory s výkonovou ztrátou $P = 0,25$ W. Celkový odpor děliče napětí je $R = 10$ k Ω .

Z následujícího vztahu vypočítáme celkový proud děličem napětí, který nesmíme překročit. Jinak by hrozilo zničení použitých součástek.

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad [\text{W}; \text{V}, \Omega] \quad (10)$$

$$P = RI^2 \Rightarrow I = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad [\text{A}; \text{W}, \Omega] \quad (11)$$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{0,25}{10000}} = 5 \text{ mA} \quad (12)$$

Z výpočtu nám vychází, že děličem napětí nesmí téci více než 5 mA. Tuto podmínku splňujeme.

Verze: $U_1 = 10 \text{ V}$ a $U_2 = 0,1 \text{ V}$ (20 dB)

Nejdříve spočítáme poměr pro napětí:

$$A_U = 10 \log \frac{U_1}{U_2} \quad [\text{dB}] \quad (13)$$

$$20 = 10 \log \frac{U_1}{U_2} \quad (14)$$

$$2 = \log \frac{U_1}{U_2} \quad (15)$$

$$10^2 = 100 \quad (16)$$

Poměr mezi výstupním a vstupním napětím je 100. Z výpočtu nám vyplývá, že napětí na výstupu děliče má být $U_2 = 0,1 \text{ V}$.

Pokud známe obě napětí, můžeme poměr napětí vyjádřit vztahem:

$$p = \frac{U_1}{U_2} \quad [; V, V] \quad (17)$$

Zvolíme si celkový proud napěťového děliče: $I = 1 \text{ mA}$.

Podle vstupního napětí a celkového proudu vypočítáme celkový odpor děliče napětí:

$$R = \frac{U_1}{I} = \frac{10}{0,001} = 10000 \Omega \quad (18)$$

Ze vztahu poměrů vypočítáme velikost rezistoru R_2 pro výstupní napětí U_2 :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R}{R_2} \Rightarrow R_2 = R \frac{U_2}{U_1} \quad [\Omega; \Omega, V, V] \quad (19)$$

$$R_2 = R \frac{U_2}{U_1} = 10000 \frac{0,1}{10} = 100 \Omega \quad (20)$$

Dopočítáme R_1 :

$$R_1 = R - R_2 = 10000 - 100 = 9900 \Omega \quad (21)$$

Nakonec nás bude zajímat zatížení děliče, tedy maximální proud děličem při námi navržených součástkách. Ve výukovém systému rc2000 μ LAB používáme odpory s výkonovou ztrátou $P = 0,25 \text{ W}$. Celkový odpor děliče napětí je $R = 10 \text{ k}\Omega$. Z následujícího vztahu vypočítáme celkový proud děličem napětí, který nesmíme překročit. Jinak by hrozilo zničení použitých součástek.

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad [W; V, \Omega] \quad (22)$$

$$P = RI^2 \Rightarrow I = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad [A; W, \Omega] \quad (23)$$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{0,25}{10000}} = 5 \text{ mA} \quad (24)$$

Z výpočtu nám vychází, že děličem napětí nesmí téci více než 5 mA. Tuto podmínku splňujeme.

Tabulka 2.2-1 Naměřené a vypočítané hodnoty nezátíženého odporového děliče napětí

A_U [dB]	U_1 [V]	<i>poměr</i>	<i>vypočítané hodnoty</i>		<i>naměřené hodnoty</i>	
			U_2 [V]	I [mA]	U_2 [V]	I [mA]
13	10	20	0,50	1,00	0,51	1,02
20	10	100	0,10	1,00	0,10	1,00

2.2.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Jaký platí vztah pro poměr napětí u děliče napětí vyjádřený v decibelech?

$$A_U = 10 \log \frac{U_1}{U_2} \quad [\text{dB}] \quad (25)$$

A_U napěťový poměr - útlum

U_1 vstupní napětí

U_2 výstupní napětí

- b. Jak rozdělujeme děliče napětí?

Děliče napětí dělíme podle použitých součástek na pevné, proměnné, odporové nebo kapacitní.

- c. Kde se v praxi nejvíce používají děliče napětí?

Děliče napětí se používají pro nastavení rozsahů, pracovních bodů tranzistorů nebo pro střídavý signál pro útlumové články.

2.2.5 ZÁVĚR

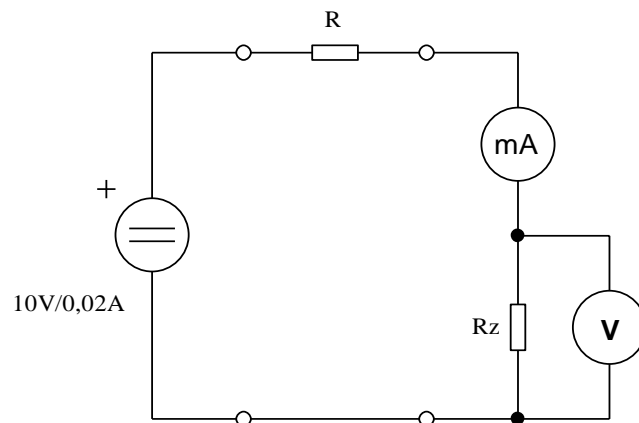
Měřením jsme ověřili správnost výpočtů. V praxi je potřeba volit odpory podle výrobních řad např. nejpoužívanější řady E12, E24, popřípadě jejich vzájemné kombinace.

2.3 MĚŘENÍ PŘENOSU VÝKONOVÉHO PŘIZPŮBENÍ NA DVOJBRANU – PŘIZPŮBENÍ SPOTŘEBIČE

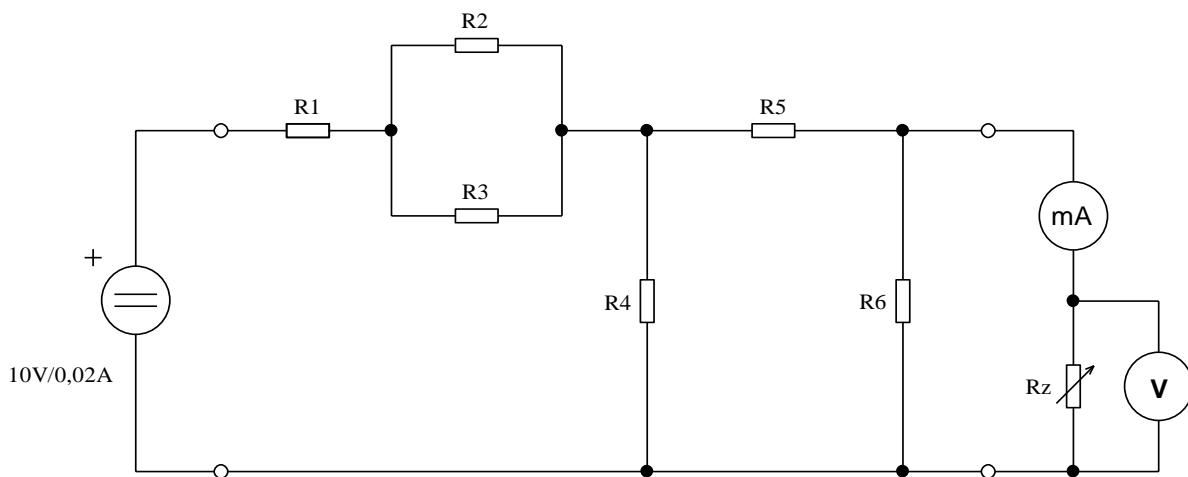
2.3.1 ÚKOL

Změřte a vypočítejte v závislosti na velikosti R_Z přenášený výkon P_{RZ} dodávaný zdrojem do reálné zátěže R_Z . Naměřené hodnoty U a I запиšte do tabulky. Z naměřených a vypočítaných hodnot sestrojte dva grafy. První graf bude ukazovat přizpůsobení spotřebiče. Graf bude obsahovat $P_{RZ} = F(R_Z)$, $U_{RZ} = F(R_Z)$ a $I_{RZ} = F(R_Z)$. Druhý graf bude obsahovat složku $P_{RZ} = F(R_Z)$ v logaritmicke - lineárním měřítku. Určete, kdy je přenášený maximální výkon ze zdroje do spotřebiče.

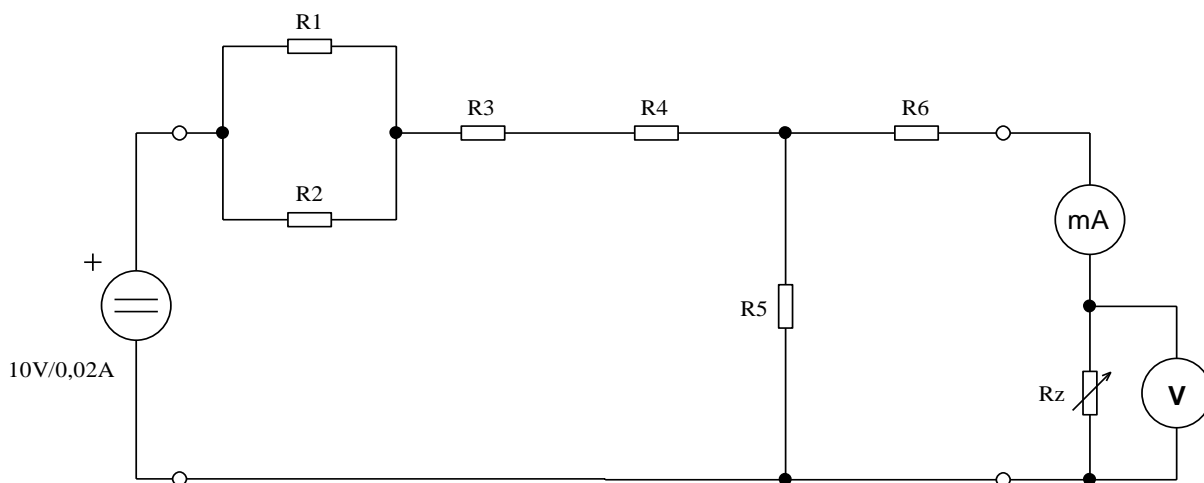
2.3.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 2.3-1 Zapojení pro měření výkonového přizpůsobení přenosu pro $R = 10 \text{ k}\Omega$



Obrázek 2.3-2 Zapojení pro měření výkonového přizpůsobení přenosu jako Pi článku



Obrázek 2.3-3 Zapojení pro měření výkonového přizpůsobení přenosu jako T článku

Legenda:

Pro R článek:

$$R = 10 \text{ k}\Omega$$

Pro Pi článek:

$$R_1 = 5 \text{ k}\Omega, R_2 = 10 \text{ k}\Omega, R_3 = 20 \text{ k}\Omega, R_4 = 5 \text{ k}\Omega, R_5 = 20 \text{ k}\Omega, R_6 = 50 \text{ k}\Omega$$

Pro T článek:

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega, R_2 = 2 \text{ k}\Omega, R_3 = 1 \text{ k}\Omega, R_4 = 10 \text{ k}\Omega, R_5 = 5 \text{ k}\Omega, R_6 = 10 \text{ k}\Omega$$

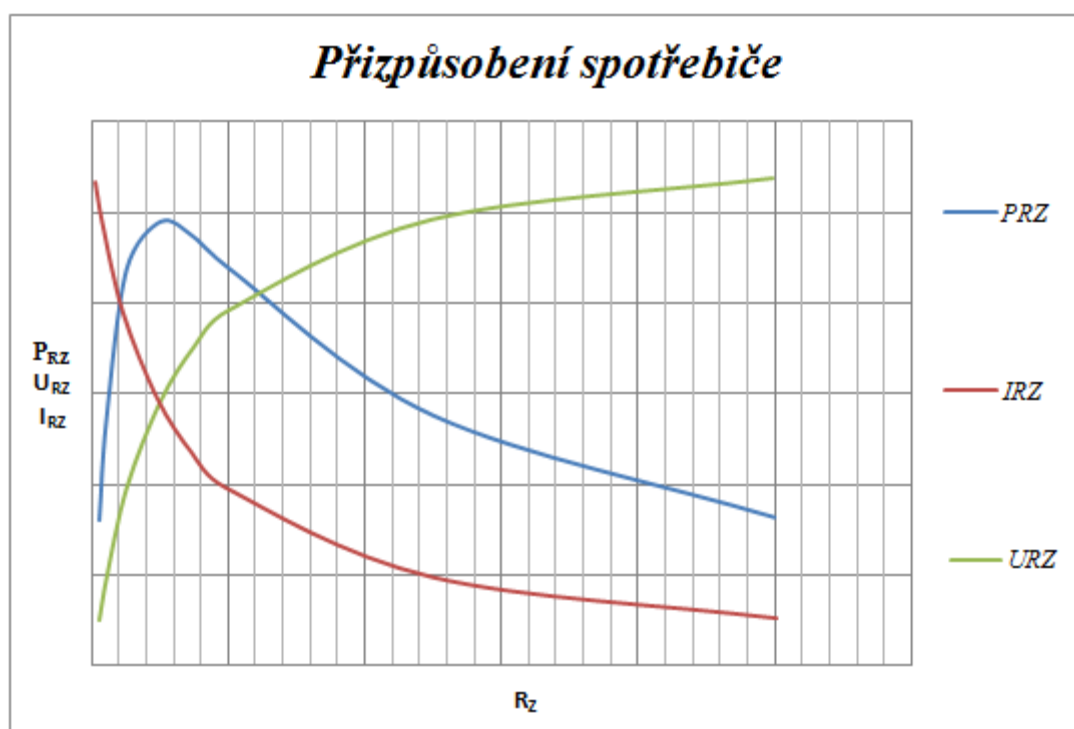
$$U = 10 \text{ V}$$

2.3.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

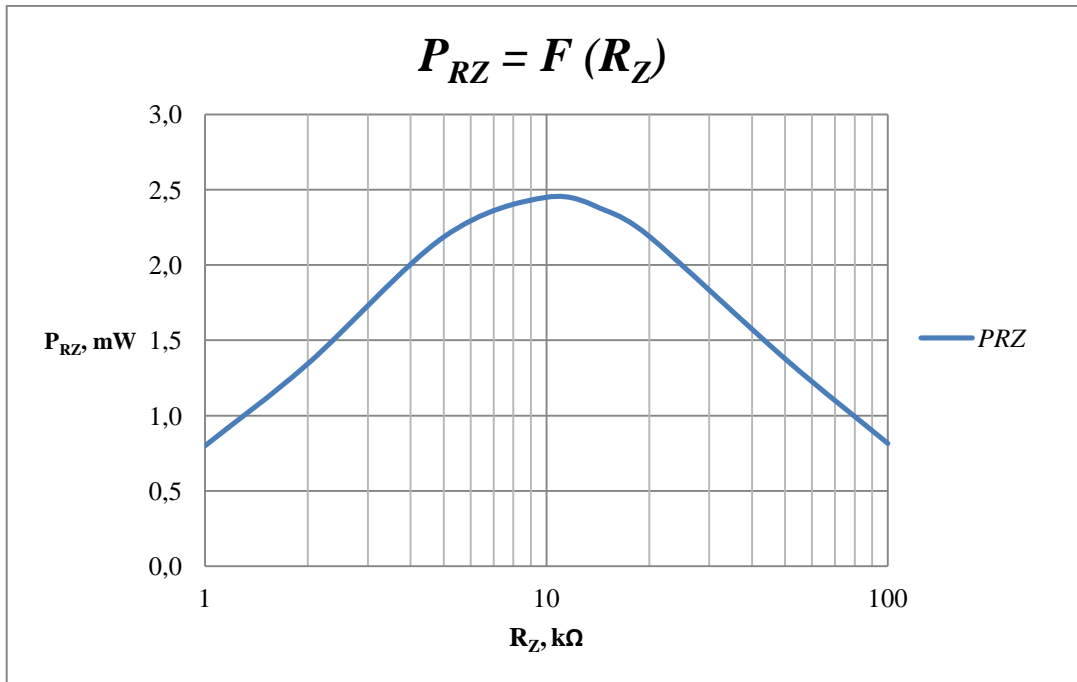
Měření pro $R = 10 \text{ k}\Omega$

Tabulka 2.3-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro $R = 10 \text{ k}\Omega$

R_Z [k Ω]	1	2	5	10	15	20	50	100
U_{RZ} [V]	0,892	1,635	3,332	4,940	5,960	6,620	8,300	9,060
I_{RZ} [mA]	0,896	0,822	0,656	0,496	0,396	0,331	0,166	0,090
P_{RZ} [mW]	0,799	1,344	2,186	2,450	2,360	2,191	1,378	0,815

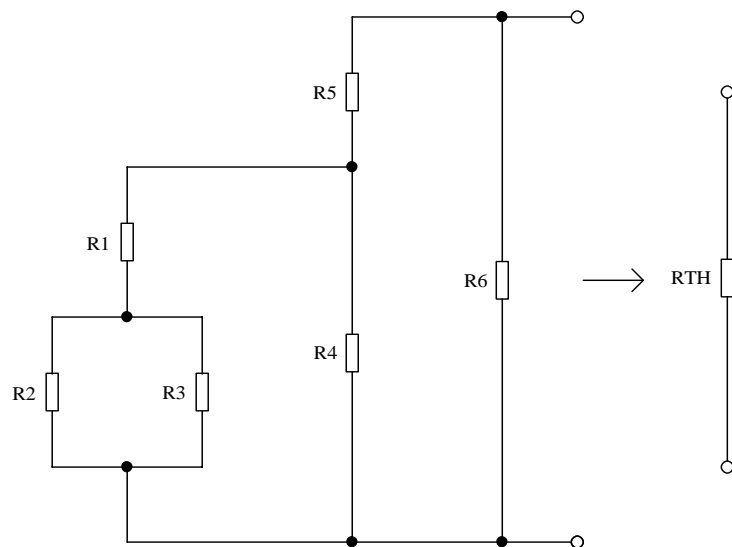


Obrázek 2.3-4 Charakteristika přizpůsobení spotřebiče $P_{RZ} = F(R_Z)$, $U_{RZ} = F(R_Z)$ a $I_{RZ} = F(R_Z)$ pro $R = 10 \text{ k}\Omega$ v lineárně – lineárním zobrazení



Obrázek 2.3-5 Charakteristika výkonového přizpůsobení spotřebiče $P_{RZ} = F(R_Z)$ pro $R = 10 \text{ k}\Omega$ v logaritmicko – lineárním zobrazení

Měření pro Π článek $R_{TH} = 15,99 \text{ k}\Omega$



Obrázek 2.3-6 Zapojení pro výpočet výsledného rezistoru podle Théveninova teorému

Výpočet výsledné hodnoty rezistoru dle Théveninova teoremu:

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{10000 \cdot 20000}{30000} = \frac{20000}{3} = 6666,66 \, \Omega \quad (1)$$

$$R_{123} = R_{23} + R_1 = \frac{2000}{3} + 5000 = \frac{35000}{3} = 11666,66 \, \Omega \quad (2)$$

$$R_{1234} = \frac{R_{123} R_4}{R_{123} + R_4} = 3500 \, \Omega \quad (3)$$

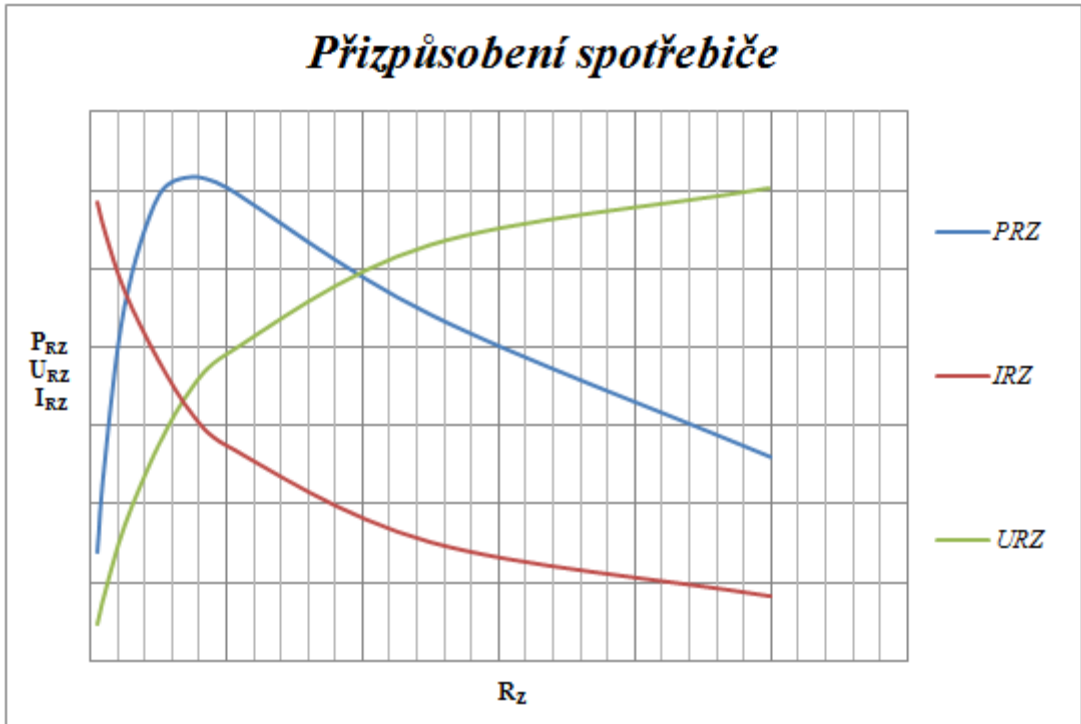
$$R_{12345} = R_{1234} + R_5 = 3500 + 20000 = 23500 \, \Omega \quad (4)$$

$$R = R_{123456} = \frac{R_{12345} R_6}{R_{12345} + R_6} = 15986,39 \cong 15,99 \, \Omega \quad (5)$$

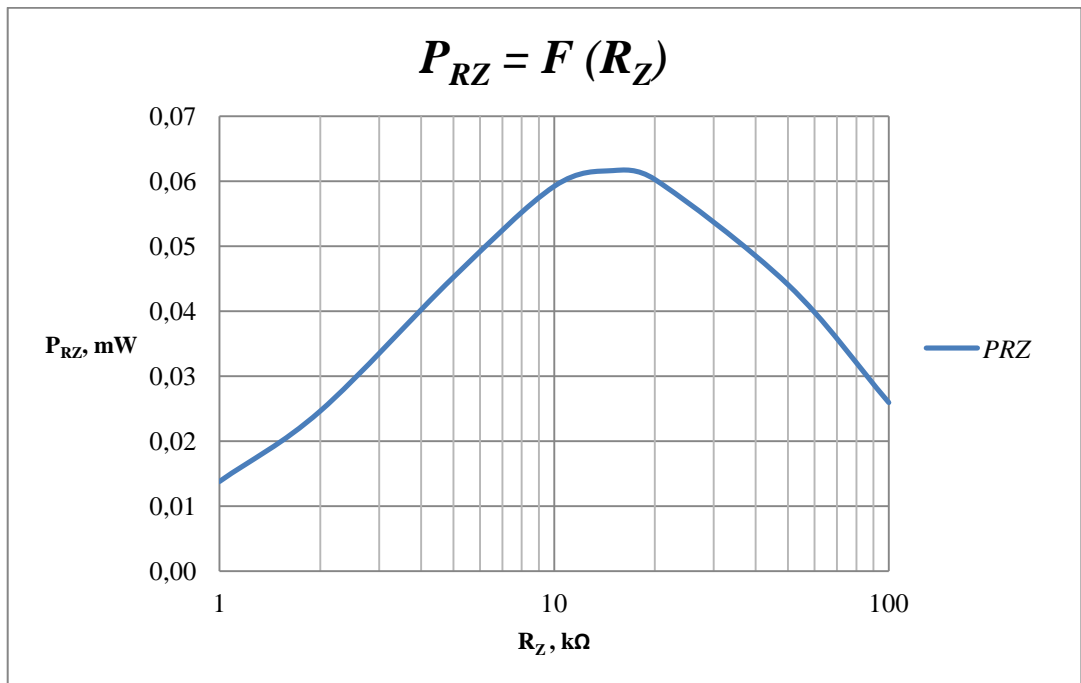
$$R_{TH} = 15,99 \, \Omega \quad (6)$$

Tabulka 2.3-2 Naměřené a vypočítané hodnoty pro *Pi* článek

R_Z [k Ω]	1	2	5	10	15	20	50	100
U_{RZ} [V]	0,118	0,224	0,481	0,779	0,994	1,116	1,520	1,730
I_{RZ} [mA]	0,117	0,110	0,094	0,076	0,062	0,054	0,029	0,015
P_{RZ} [mW]	0,014	0,025	0,045	0,059	0,062	0,060	0,044	0,026

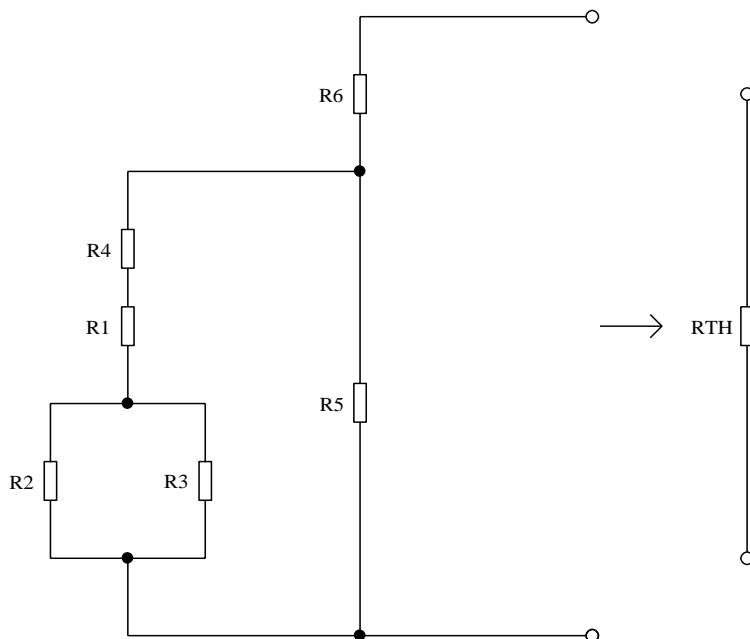


Obrázek 2.3-7 Charakteristika přizpůsobení spotřebiče $P_{RZ} = F(R_Z)$, $U_{RZ} = F(R_Z)$ a $I_{RZ} = F(R_Z)$ pro Π článek v lineárně – lineárním zobrazení



Obrázek 2.3-8 Charakteristika výkonového přizpůsobení spotřebiče $P_{RZ} = F(R_Z)$ pro Π článek v logaritmicke – lineárním zobrazení

Měření pro T článku $R_{TH} = 13,50 \text{ k}\Omega$



Obrázek 2.3-9 Zapojení pro výpočet výsledného rezistoru podle Théveninova teorému

Výpočet výsledné hodnoty rezistoru dle Théveninova teorému:

$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1000 \cdot 2000}{3000} = \frac{2000}{3} = 666,66 \Omega \quad (7)$$

$$R_{123} = R_1 + R_2 + R_3 = \frac{35000}{3} = 11666,66 \Omega \quad (8)$$

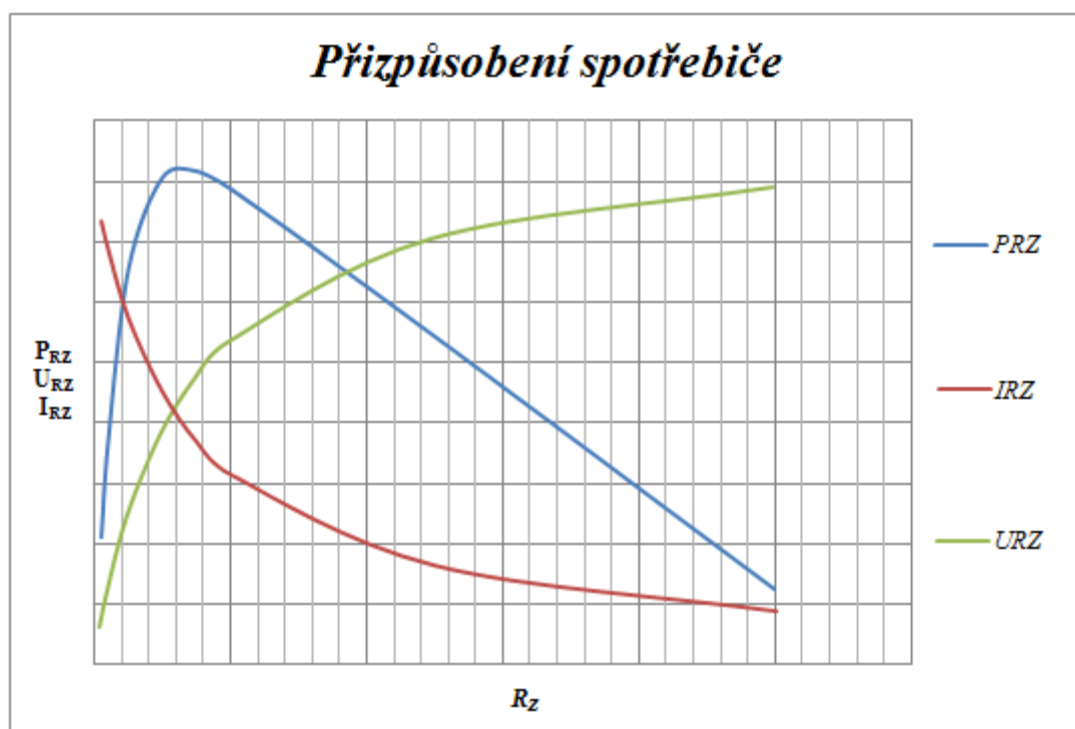
$$R_{12345} = \frac{R_{1234} R_5}{R_{1234} + R_5} = 3500 \Omega \quad (9)$$

$$R = R_{123456} = R_{12345} + R_6 = 13500 \Omega \quad (10)$$

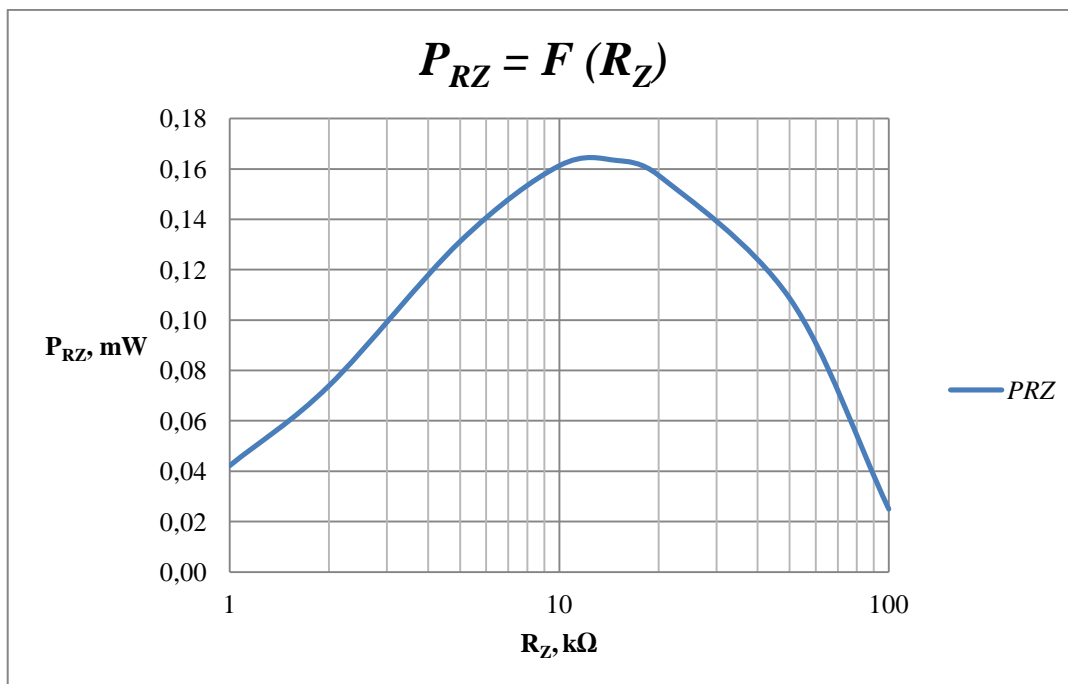
$$\mathbf{R_{TH} = 13,50 \text{ k}\Omega} \quad (11)$$

Tabulka 2.3-3 Naměřené a vypočítané hodnoty pro T článek

R_Z [k Ω]	1	2	5	10	15	20	50	100
U_{RZ} [V]	0,206	0,385	0,820	1,280	1,586	1,790	2,363	2,646
I_{RZ} [mA]	0,205	0,192	0,160	0,126	0,103	0,088	0,046	0,025
P_{RZ} [mW]	0,042	0,074	0,131	0,161	0,163	0,158	0,109	0,025



Obrázek 2.3-10 Charakteristika přizpůsobení spotřebiče $P_{RZ} = F(R_Z)$, $U_{RZ} = F(R_Z)$ a $I_{RZ} = F(R_Z)$ pro T článek v lineárně – lineárním zobrazení



Obrázek 2.3-11 Charakteristika výkonového přizpůsobení spotřebiče $P_{RZ} = F(R_Z)$ pro T článek v logaritmicko – lineárním zobrazení

2.3.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Jaká přizpůsobení mohou být v obvodu se zdrojem a spotřebičem?
- Výkonové – největší přenášený výkon je, když vnitřní odpor zdroje se rovná odporu zátěže (spotřebiče) $R_i = R_Z$.
 - Napěťové – největší napětí dodá zdroj, pokud je odpor zátěže větší, než vnitřní odpor zdroje $R_Z \gg R_i$.
 - Proudové – největší proud dodá zdroj, pokud je odpor zátěže menší, než vnitřní odpor zdroje $R_Z \ll R_i$.
- b. Jaký je princip Théveninova teorému?

Podle Théveninova teorému můžeme zjednodušit určitá zapojení. Obvod, ve kterém je zapojen libovolný počet zdrojů a rezistorů, můžeme zjednodušit na jeden zdroj s jedním rezistorem a tím zjednodušit celkový výpočet v obvodu.

c. Kde se v praxi uplatňuje různé přizpůsobení na dvojbranu?

- výkonové – zesilovače nf a vf
- napěťové – připojení spotřebičů na energetickou síť
- proudové – měřicí přístroje

2.3.5 ZÁVĚR

Z našeho měření, výpočtů a grafů jsme zjistili, že nejlepší výkonové přizpůsobení je v případě pokud je poloviční napětí na U_{RZ} a poloviční proud zátěží I_{RZ} , neboli pokud se vnitřní odpor zdroje napětí R_i rovná odporu zátěže spotřebiče R_Z .

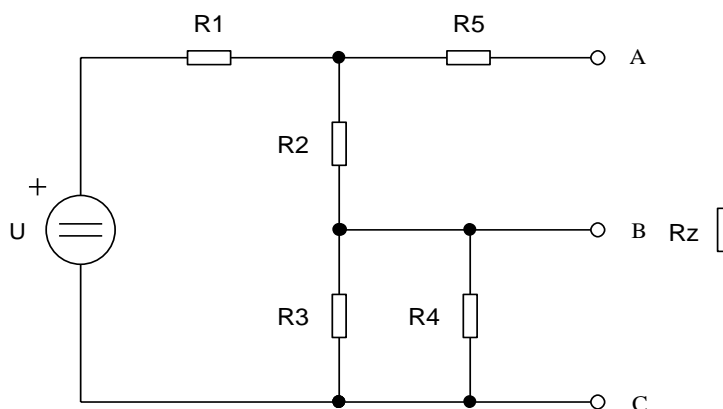
3 ŘEŠENÍ PRACOVNÍ ÚLOHY PRO PRACOVNÍŠTĚ 3

3.1 MĚŘENÍ NA VÍCESTUPŇOVÉM ZATÍŽENÉM DĚLIČI A VÝPOČET POMOCÍ THÉVENINOVA TEORÉMU

3.1.1 ÚKOL

Pro obvod na obrázku 3.1-1, ověřte výpočtem a měřením platnost Théveninova teorému. Obvod zjednodušte a vypočítejte vnitřní odpor R_i , výstupní napětí a úbytek napětí na U_{RZ} . Výpočty proveďte pro rezistor R_Z , který bude připojen mezi body: A – B, B – C a A – C. Vypočítané a změřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a v závěru mezi sebou porovnejte.

3.1.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



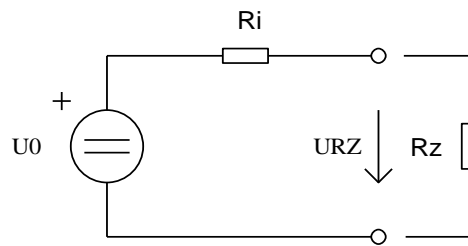
Obrázek 3.1-1 Zapojení vícestupňového zatíženého děliče napětí

Legenda:

$$R_1 = 2 \text{ k}\Omega, R_2 = 3 \text{ k}\Omega, R_3 = 10 \text{ k}\Omega, R_4 = 10 \text{ k}\Omega, R_5 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$U = 10 \text{ V}$$

3.1.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY



Obrázek 3.1-2 Náhradní schéma Théveninova teorému

Varianta A – B pro $R_Z = 10 \text{ k}\Omega$:

Odvození vzorce a výpočet výstupního napětí U_{AB} :

$$\frac{U_{AB}}{U} = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}} \Rightarrow U_{AB} = U \frac{R_2}{R_1 + R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}} = 3 \text{ V} \quad (1)$$

Odvození vzorce a výpočet vnitřního odporu R_i :

$$R_i = \frac{\left(\frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} + R_1\right) R_2}{\left(\frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} + R_1\right) + R_2} + R_5 = 2100 + 10000 = 12100 \ \Omega \quad (2)$$

Odvození vzorce a výpočet úbytku napětí na U_{RZ} :

$$\frac{U_{RZ}}{U_{AB}} = \frac{R_Z}{R_i + R_Z} \Rightarrow U_{RZ} = U_{AB} \frac{R_Z}{R_i + R_Z} = 3 \frac{10000}{12100 + 10000} = 1,357 \text{ V} \quad (3)$$

Varianta B – C pro $R_Z = 10 \text{ k}\Omega$:

Odvození vzorce a výpočet výstupního napětí U_{BC} :

$$\frac{U_{BC}}{U} = \frac{\frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}}{R_1 + R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}} \Rightarrow U_{BC} = U \frac{\frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}}{R_1 + R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}} = 5 \text{ V} \quad (4)$$

Odvození vzorce a výpočet vnitřního odporu R_i :

$$R_i = \frac{\left(\frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}\right)(R_1 + R_2)}{\frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} + R_1 + R_2} = 2500 \text{ } \Omega \quad (5)$$

Odvození vzorce a výpočet úbytku napětí na U_{RZ} :

$$\frac{U_{RZ}}{U_{BC}} = \frac{R_Z}{R_i + R_Z} \Rightarrow U_{RZ} = U_{BC} \frac{R_Z}{R_i + R_Z} = 5 \frac{10000}{2500 + 10000} = 4,00 \text{ V} \quad (6)$$

Varianta A – C pro $R_Z = 10 \text{ k}\Omega$:

Odvození vzorce a výpočet výstupního napětí U_{AC} :

$$\frac{U_{AC}}{U} = \frac{R_2 \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}}{R_1 + R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}} \Rightarrow U_{AC} = U \frac{R_2 \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}}{R_1 + R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}} = 8 \text{ V} \quad (7)$$

Odvození vzorce a výpočet vnitřního odporu R_i :

$$R_i = \frac{\left(R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}\right)R_1}{R_1 + R_2 + R_3} + R_5 = 1600 + 10000 = 11600 \text{ } \Omega \quad (8)$$

Odvození vzorce a výpočet úbytku napětí na U_{RZ} :

$$\frac{U_{RZ}}{U_{AC}} = \frac{R_Z}{R_i + R_Z} \Rightarrow U_{RZ} = U_{AC} \frac{R_Z}{R_i + R_Z} = 8 \frac{10000}{11600 + 10000} = 3,704 \text{ V} \quad (9)$$

U_{RZ} – naměřená hodnota

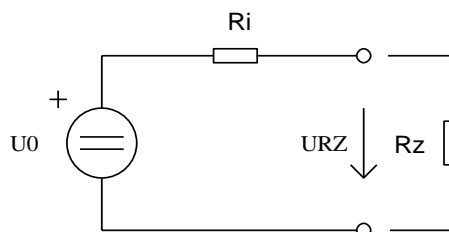
U_{RZV} – vypočítaná hodnota

Tabulka 3.1-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro vícestupňový zatížený dělič

varianta	A - B		B - C		A - C		
	R_Z [k Ω]	U_{RZ} [V]	U_{RZV} [V]	U_{RZ} [V]	U_{RZV} [V]	U_{RZ} [V]	U_{RZV} [V]
1		0,229	0,229	1,430	1,429	0,635	0,635
5		0,878	0,877	3,337	3,333	2,412	2,410
10		1,358	1,357	4,000	4,000	3,705	3,704
20		1,869	1,869	4,440	4,444	5,060	5,063
50		2,416	2,415	4,760	4,762	6,490	6,494
100		2,676	2,676	4,880	4,878	7,160	7,168

3.1.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Nakreslete a popište náhradní schéma Théveninova teorému.



Obrázek 3.1-3 Náhradní schéma Théveninova teorému

- U_0 ideální zdroj napětí
- R_i vnitřní odpor zdroje
- R_Z zatěžovací rezistor (zkoumaný spotřebič)
- U_{RZ} úbytek napětí na rezistoru R_Z

- b. K čemu nám slouží Théveninův teorém?

Pomocí Théveninova teorému můžeme obvod z lineárních prvků (zdroj napětí, spojovací síť a spotřebič), zjednodušit na obvod s jedním ideálním zdrojem napětí zapojeným v sérii s rezistorem, který představuje jeho vnitřní odpor R_i .

Z uvedených hodnot vypočítáme proud zátěží I_Z nebo úbytek napětí U_{RZ} .

- c. Jaké lineární součástky může obvod obsahovat pro výpočet Théveninova teorému?

Obvod může obsahovat: zdroje napětí a proudu, rezistory, cívky a kondenzátory.

3.1.5 ZÁVĚR

Pomocí měření a výpočtů jsme ověřili platnost Théveninova teorému. Naměřené a vypočítané hodnoty se začínají nejdříve u některých hodnot odlišovat v řádu tisíciny. Rozdíl je způsobený 1% tolerancí rezistorů a chybou měření.

Vypočítané hodnoty:

Varianta: AB

$$R_i = 12100 \Omega$$

$$U_{AB} = 3 \text{ V}$$

Varianta: BC

$$R_i = 2500 \Omega$$

$$U_{BC} = 5 \text{ V}$$

Varianta: AC

$$R_i = 11600 \Omega$$

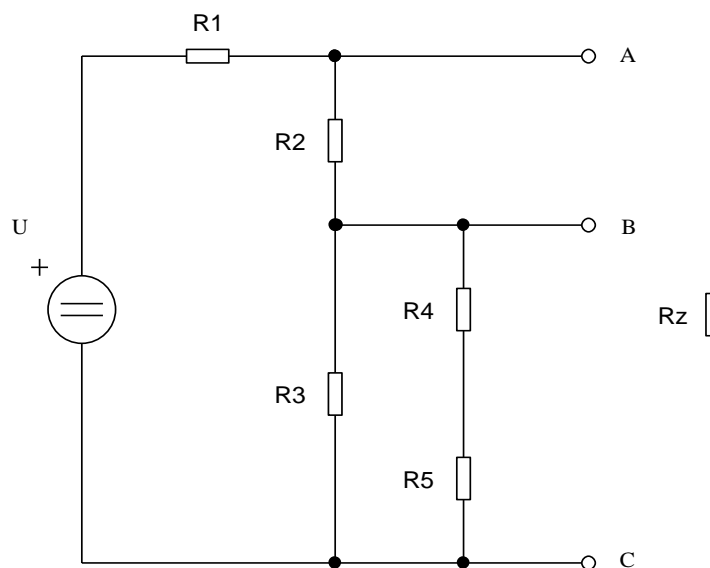
$$U_{AC} = 8 \text{ V}$$

3.2 MĚŘENÍ NA VÍCESTUPŇOVÉM ZATÍŽENÉM DĚLIČI A VÝPOČET POMOCÍ NORTONOVA TEORÉMU

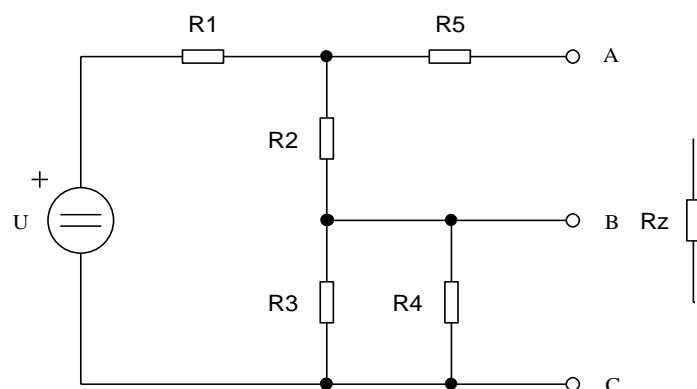
3.2.1 ÚKOL

Pro obvod na obrázku 3.2-1, 3.2-2 a 3.2-3, ověřte výpočtem a měřením platnost Nortonova teorému. Obvod zjednodušte a vypočítejte vnitřní odpor R_i , ideální proud obvodu I_0 a úbytek napětí na U_{RZ} . Výpočty proveďte pro rezistor R_Z , který bude připojen mezi body: A – B, B – C a A – C. Do protokolu uveďte postup výpočtu pro variantu 1 (A – B, B – C a A – C) a $R_Z = 10 \text{ k}\Omega$. Vypočítané a změřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a v závěru mezi sebou porovnejte.

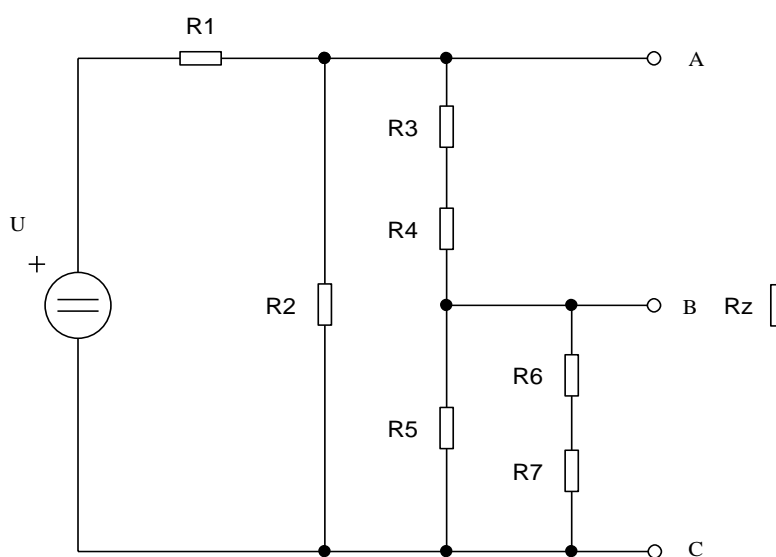
3.2.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 3.2-1 Zapojení vícestupňového zatíženého děliče napětí - varianta 1



Obrázek 3.2-2 Zapojení víceúrovňového zatíženého děliče napětí - varianta 2



Obrázek 3.2-3 Zapojení víceúrovňového zatíženého děliče napětí - varianta 3

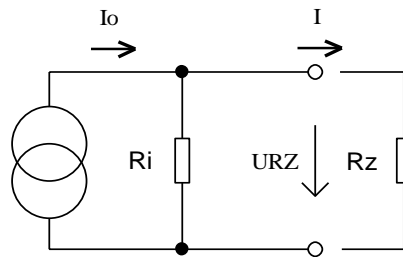
Legenda:

Varianta 1: $R_1 = 20 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 5 \text{ k}\Omega$ a $R_5 = 5 \text{ k}\Omega$

Varianta 2: $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 3 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 10 \text{ k}\Omega$ a $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$

Varianta 3: $R_1 = 20 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 3 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_6 = 5 \text{ k}\Omega$,
 $R_7 = 5 \text{ k}\Omega$

3.2.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY



Obrázek 3.2-4 Náhradní schéma Nortonova teorému

Varianta 1: A – B pro $R_Z = 10 \text{ k}\Omega$

Výpočet:

$$I = \frac{U}{R_1 + \left(\frac{R_3(R_4 + R_5)}{R_3 + (R_4 + R_5)} \right)} = 0,4 \text{ mA} \quad (1)$$

$$U_1 = IR_1 = 8 \text{ V} \quad (2)$$

$$U_{AB} = U - U_1 = 2 \text{ V} \quad (3)$$

$$I_0 = \frac{U_{AB}}{\frac{R_3(R_4 + R_5)}{R_3 + (R_4 + R_5)}} = 0,4 \text{ mA} \quad (4)$$

$$I = I_0 \quad (5)$$

$$R_i = 7142,85 \Omega \quad (6)$$

$$U_{RZ} = \frac{R_i R_Z}{R_i + R_Z} I_0 = 1,666 \text{ V} \quad (7)$$

U_{RZ} – naměřená hodnota

U_{RZV} – vypočítaná hodnota

Tabulka 3.2-1 Naměřené a vypočítané hodnoty varianty 1 (A – B)

Varianta 1				
svorky	A - B			
R_Z [k Ω]	U_{RZ} [V]	I_0 [mA]	R_i [Ω]	U_{RZV} [V]
1	0,352	0,400	7142,860	0,351
5	1,177	0,400	7142,860	1,176
10	1,668	0,400	7142,860	1,667
20	2,106	0,400	7142,860	2,105
50	2,501	0,400	7142,860	2,500
100	2,668	0,400	7142,860	2,667

Varianta 1: B – C pro $R_Z = 10$ k Ω

Výpočet:

$$I = I_0 = \frac{U}{R_1 + R_2} = 0,333 \text{ mA} \quad (8)$$

$$I = I_0 \quad (9)$$

$$R_i = 4285,71 \Omega \quad (10)$$

$$U_{RZ} = \frac{R_i R_Z}{R_i + R_Z} I_0 = 0,999 \text{ V} \quad (11)$$

Tabulka 3.2-2 Naměřené a vypočítané hodnoty varianty 1 (B – C)

Varianta 1				
svorky	B - C			
R_Z [k Ω]	U_{RZ} [V]	I_0 [mA]	R_i [Ω]	U_{RZV} [V]
1	0,271	0,333	4285,710	0,270
5	0,770	0,333	4285,710	0,769
10	1,001	0,333	4285,710	1,000
20	1,177	0,333	4285,710	1,176
50	1,317	0,333	4285,710	1,316
100	1,371	0,333	4285,710	1,370

Varianta 1: A – C pro $R_Z = 10 \text{ k}\Omega$

Výpočet:

$$I = I_0 = \frac{U}{R_1} = 0,5 \text{ mA} \quad (12)$$

$$I = I_0 \quad (13)$$

$$R_i = 8571,43 \Omega \quad (14)$$

$$U_{RZ} = \frac{R_i R_Z}{R_i + R_Z} I_0 = 2,307 \text{ V} \quad (15)$$

Tabulka 3.2-3 Naměřené a vypočítané hodnoty varianty 1 (A – C)

Varianta 1				
svorky	A - C			
R_Z [kΩ]	U_{RZ} [V]	I_0 [mA]	R_i [Ω]	U_{RZV} [V]
1	0,448	0,500	8571,430	0,448
5	1,580	0,500	8571,430	1,579
10	2,309	0,500	8571,430	2,308
20	3,001	0,500	8571,430	3,000
50	3,660	0,500	8571,430	3,659
100	3,940	0,500	8571,430	3,947

Varianta 2: A – B, B – C a A – C

Tabulka 3.2-4 Naměřené a vypočítané hodnoty varianty 2 (A – B)

Varianta 2				
svorky	A - B			
R_Z [k Ω]	U_{RZ} [V]	I_o [mA]	R_i [Ω]	U_{RZV} [V]
1	0,229	0,248	12100,000	0,229
5	0,878	0,248	12100,000	0,877
10	1,358	0,248	12100,000	1,357
20	1,870	0,248	12100,000	1,869
50	2,416	0,248	12100,000	2,415
100	2,676	0,248	12100,000	2,676

Tabulka 3.2-5 Naměřené a vypočítané hodnoty varianty 2 (B – C)

Varianta 2				
svorky	B - C			
R_Z [k Ω]	U_{RZ} [V]	I_o [mA]	R_i [Ω]	U_{RZV} [V]
1	1,430	2,000	2500,000	1,429
5	3,337	2,000	2500,000	3,333
10	4,000	2,000	2500,000	4,000
20	4,440	2,000	2500,000	4,444
50	4,760	2,000	2500,000	4,762
100	4,870	2,000	2500,000	4,878

Tabulka 3.2-6 Naměřené a vypočítané hodnoty varianty 2 (A – C)

Varianta 2				
svorky	A - C			
R_Z [k Ω]	U_{RZ} [V]	I_o [mA]	R_i [Ω]	U_{RZV} [V]
1	0,635	0,690	11600,000	0,635
5	2,411	0,690	11600,000	2,410
10	3,705	0,690	11600,000	3,704
20	5,060	0,690	11600,000	5,063
50	6,490	0,690	11600,000	6,494
100	7,160	0,690	11600,000	7,168

Varianta 3: A – B, B – C a A - C

Tabulka 3.2-7 Naměřené a vypočítané hodnoty varianty 3 (A – B)

Varianta 3				
svorky	A - B			
R_Z [k Ω]	U_{RZ} [V]	I_0 [mA]	R_i [Ω]	U_{RZV} [V]
1	0,223	0,286	3500,000	0,222
5	0,589	0,286	3500,000	0,588
10	0,741	0,286	3500,000	0,741
20	0,852	0,286	3500,000	0,851
50	0,935	0,286	3500,000	0,935
100	0,967	0,286	3500,000	0,966

Tabulka 3.2-8 Naměřené a vypočítané hodnoty varianty 3 (B – C)

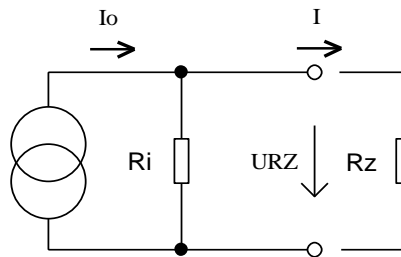
Varianta 3				
svorky	B - C			
R_Z [k Ω]	U_{RZ} [V]	I_0 [mA]	R_i [Ω]	U_{RZV} [V]
1	0,223	0,286	3500,000	0,222
5	0,588	0,286	3500,000	0,588
10	0,741	0,286	3500,000	0,741
20	0,851	0,286	3500,000	0,851
50	0,935	0,286	3500,000	0,935
100	0,966	0,286	3500,000	0,966

Tabulka 3.2-9 Naměřené a vypočítané hodnoty varianty 3 (A – C)

Varianta 3				
svorky	A - C			
R_Z [k Ω]	U_{RZ} [V]	I_0 [mA]	R_i [Ω]	U_{RZV} [V]
1	0,400	0,500	4000,000	0,400
5	1,112	0,500	4000,000	1,111
10	1,429	0,500	4000,000	1,429
20	1,668	0,500	4000,000	1,667
50	1,853	0,500	4000,000	1,852
100	1,924	0,500	4000,000	1,923

3.2.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Nakreslete náhradní schéma Nortonova teorému a popište ho.



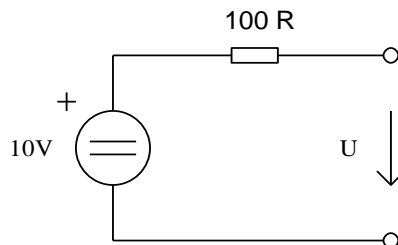
Obrázek 3.2-5 Náhradní schéma Nortonova teorému

Nortonův teorém je odvozen z Théveninova teorému, kde nahrazujeme celý obvod k výstupním svorkám jedním ideálním zdrojem proudu I_0 s paralelně zapojeným rezistorem R_i .

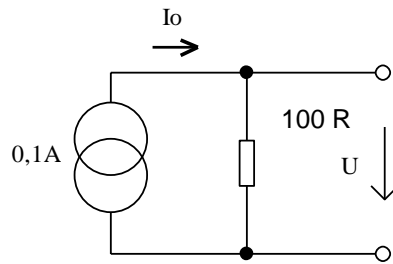
- b. K čemu nám slouží Nortonův teorém?

Nortonův teorém nám slouží k analýze elektrických obvodů, které obsahují pasivní součástky. Pomocí Nortonova teorému můžeme obvod zjednodušit a k libovolným výstupním svorkám vypočítat napětí popř. proud tekoucí přes svorky do zátěže.

- c. Nakreslete ekvivalentní zapojení na obrázku č. 3.2-6 pro Nortonův teorém.



Obrázek 3.2-6 Náhradní schéma dle Théveninova teorému



Obrázek 3.2-7 Náhradní schéma dle Nortonova teorému

3.2.5 ZÁVĚR

Pomocí měření a výpočtů jsme ověřili platnost Nortonova teorému. Naměřené a vypočítané hodnoty se začínají nejdříve u některých hodnot odlišovat v řádu tisíciny. Odlišnost výpočtu a měření je způsobena tolerancí součástek (1%) a chybou měření.

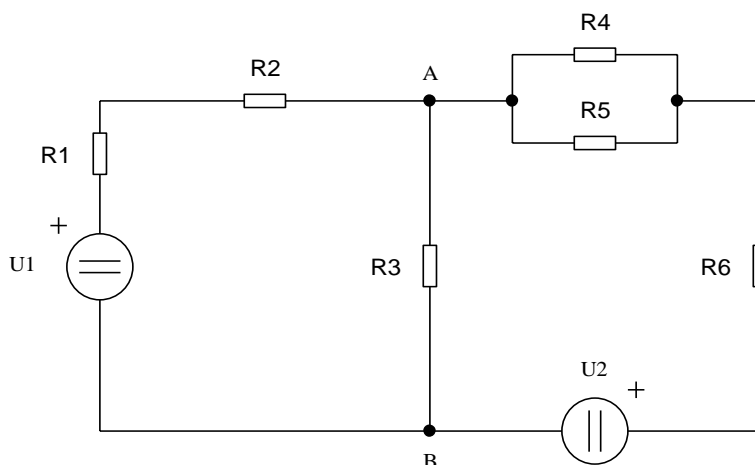
4 ŘEŠENÍ PRACOVNÍ ÚLOHY PRO PRACOVNÍŠTĚ 4

4.1 MĚŘENÍ NA ODPOROVÉ SÍTI A VÝPOČET METODOU SMYČKOVÝCH PROUDŮ A SUPERPOZICE

4.1.1 ÚKOL

Pomocí metody smyčkových proudů a superpozice, proveďte výpočet úbytku napětí U_{R3} a proud I_{R3} tekoucí rezistorem R_3 , mezi body AB. Provedené výpočty ověřte měřením. Uvedené výpočty a měření proveďte pro schéma na obrázku 4.1-1. Vypočítané a naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky 4.1-1 a v závěru mezi sebou porovnejte.

4.1.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 4.1-1 Zapojení víceúrovňového děliče se dvěma zdroji napětí

Legenda:

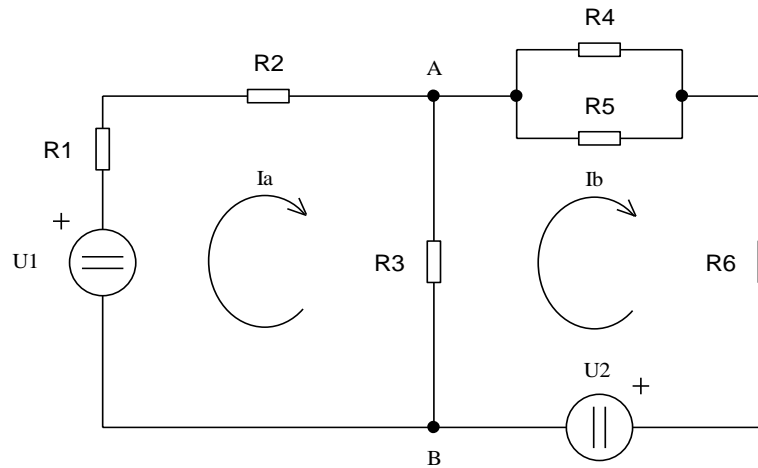
$R_1 = 20 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 15 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 5 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 5 \text{ k}\Omega$ a $R_6 = 5 \text{ k}\Omega$

$U_1 = 10 \text{ V}$, $U_2 = 6 \text{ V}$

4.1.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Varianta smyčkové proudy:

Ve schématu vyznačíme smyčkové proudy I_a a I_b :



Obrázek 4.1-2 Zapojení vícestupňového děliče se dvěma zdroji napětí

Podle 2. Kirchhoffova zákona napíšeme rovnice pro obě smyčky:

$$R_1 I_a + R_2 I_a + R_3 (I_a - I_b) - U_1 = 0 \quad (1)$$

$$\left(\frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5} \right) I_b + R_6 I_b + U_2 + R_3 (I_b - I_a) = 0 \quad (2)$$

Dosadíme hodnoty:

$$20000 I_a + 5000 I_a + 15000 I_a - 15000 I_b = 10 \quad (3)$$

$$2500 I_b + 5000 I_b + 15000 I_b - 15000 I_a = -6 \quad (4)$$

Upravíme rovnice:

$$40000 I_a - 15000 I_b = 10 \quad /1000 \quad (5)$$

$$-15000I_a + 22500I_b = -6 / 1000 \quad (6)$$

$$40I_a - 15I_b = \frac{10}{1000} \quad /* 3 \quad (7)$$

$$-15I_a + 22,5I_b = -\frac{6}{1000} \quad /* 8 \quad (8)$$

$$120I_a - 45I_b = \frac{3}{100} \quad (9)$$

$$-120I_a + 180I_b = -\frac{4,8}{100} \quad (10)$$

$$135I_b = -\frac{1,8}{100} \quad (11)$$

$$I_b = -\frac{1,8}{100} * \frac{1}{135} = -0,133 \text{ mA} \quad (12)$$

$$40I_a = \frac{1}{100} + 15(-0,000133) \quad (13)$$

$$40I_a = 0,008 \quad (14)$$

$$I_a = 0,2 \text{ mA} \quad (15)$$

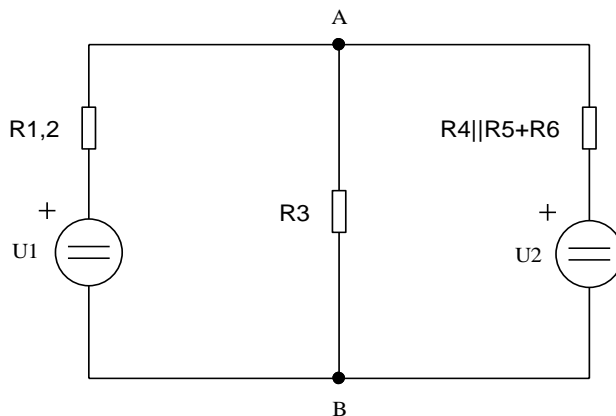
$$U_{R3} = (I_a + I_b)15000 = (0,0002 + 0,000133)15000 = 4,995 \text{ V} \quad (16)$$

$$I_{R3} = \frac{U_{R3}}{R_3} = 0,333 \text{ mA} \quad (17)$$

Pozn. Pokud ve výpočtu máme některý proud záporný, znamená to, že ve skutečnosti proud teče opačným směrem, než jsme ho původně zvolili.

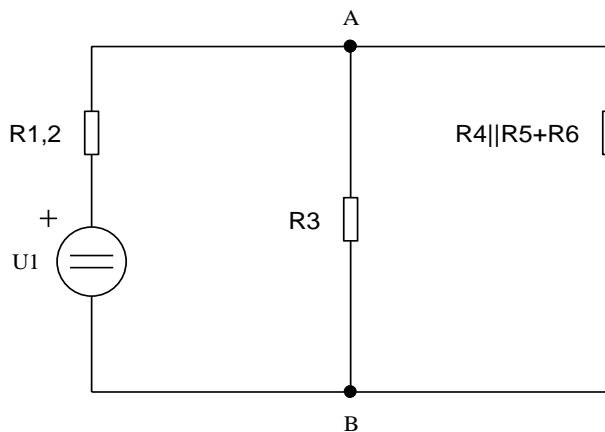
Varianta superpozice:

Nejdříve postupnými úpravami schéma zjednodušíme:



Obrázek 4.1-3 Zjednodušené zapojení víceústupňového děliče se dvěma zdroji napětí

Pro další výpočet vyřadíme zdroj U_2 :

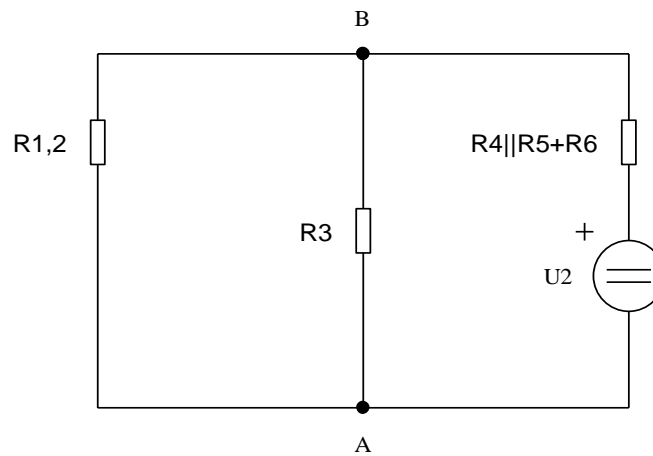


Obrázek 4.1-4 Zjednodušené zapojení víceústupňového děliče s jedním zdrojem napětí U_1

$$\frac{U_{AB}}{U} = \frac{R_3 \left(\frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5} + R_6 \right)}{R_3 + (R_4 + R_5 + R_6)} \Rightarrow U_{AB} = 0,166 * 10 = 1,666 \text{ V} \quad (18)$$

$$R_1 + R_2 + \frac{R_3 \left(\frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5} + R_6 \right)}{R_3 + (R_4 + R_5 + R_6)}$$

Pro další výpočet vyřadíme zdroj U_1 :



Obrázek 4.1-5 Zjednodušené zapojení víceúrovňového děliče s jedním zdrojem napětí U_2

$$\frac{U_{BA}}{U} = \frac{\frac{(R_1 R_2) R_3}{R_1 + R_2 + R_3}}{\left(\frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5} + R_6 \right) + \frac{(R_1 R_2) R_3}{R_1 + R_2 + R_3}} \Rightarrow U_{BA} = 0,555 * 6 = 3,333 \text{ V} \quad (19)$$

$$U_{R3} = U_{AB} + U_{BA} = 1,666 + 3,333 = 4,999 \text{ V} \quad (20)$$

$$I_{R3} = \frac{U_{R3}}{R_3} = 0,333 \text{ mA} \quad (21)$$

Tabulka 4.1-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro smyčkové proudy a superpozici

svorky	A - B	
	U_{R3} [V]	I_{R3} [mA]
smyčkové proudy	4,995	0,333
superpozice	4,999	0,333
naměřené hodnoty	5,000	0,326

4.1.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Jaké prvky můžete použít pro metodu smyčkových proudů a superpozice?

Jedná se o lineární zdroje a lineární součástky (rezistor, kondenzátor a cívka).

- b. Jakou metodu použijete pro řešení složitějších obvodů, pokud si můžete vybrat mezi Kirchhoffovými zákony a metodou smyčkových proudů? Odpověď zdůvodněte.

K výpočtu mohu použít obě metody. U Kirchhoffových zákonů budu muset řešit více rovnic s více neznámými. Výhodnější je tedy metoda smyčkových proudů.

- c. Můžete v uvedeném schématu na obrázku 4.1-1, použít místo napěťového zdroje zdroj proudový?

Ano, ale při výpočtu musíme počítat se zdrojem proudovým. Ideální proudový zdroj zapojený do obvodu představuje nekonečný odpor ve schématu přerušeny spoj.

4.1.5 ZÁVĚR

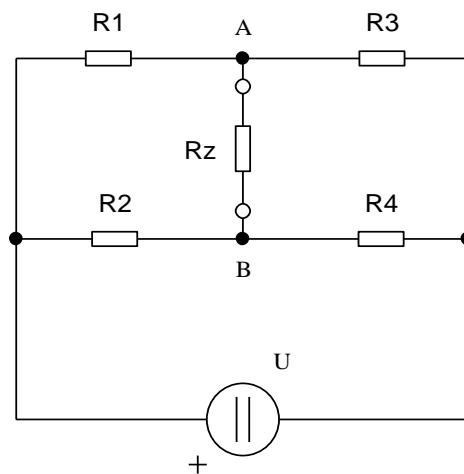
Pomocí měření a výpočtů jsme ověřili platnost metody smyčkových proudů a metody superpozice. Vypočítané hodnoty se odlišují jen v zaokrouhlovaných řádech, v našem případě tisícinách. Proto lze obě metody použít pro řešení složitějších obvodů. Rozdíl mezi hodnotami měřenými a vypočítanými je způsobený 1% tolerancí rezistorů a chybou měření.

4.2 MĚŘENÍ NA ZATÍŽENÉM MŮSTKU A VÝPOČET POMOCÍ THÉVENINOVA TEORÉMU A TRANSFIGURACE

4.2.1 ÚKOL

Pomocí Théveninova teorému a transfigurace trojúhelník - hvězda, proveďte výpočet úbytku napětí U_{RZ} mezi body AB. Do protokolu uveďte postup výpočtu pro Théveninovu metodu a transfiguraci na zátěžovém rezistoru $R_Z = 1 \text{ k}\Omega$. Provedené výpočty ověřte měřením. Uvedené výpočty a měření proveďte pro schéma na obrázku 4.2-4. Vypočítané a naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a v závěru mezi sebou porovnejte.

4.2.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 4.2-1 Zapojení zatíženého můstku

Legenda:

$R_1 = 5 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 50 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 10 \text{ k}\Omega$,

$R_Z = 1 \text{ k}\Omega$, $2 \text{ k}\Omega$, $5 \text{ k}\Omega$, $10 \text{ k}\Omega$, $20 \text{ k}\Omega$, $50 \text{ k}\Omega$ a $100 \text{ k}\Omega$

$U = 10 \text{ V}$

4.2.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

U_{RZ} naměřená hodnota

U_{RZTH} vypočítaná hodnota pro Théveninův teorém

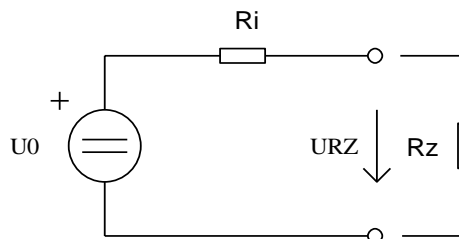
U_{RZTR} vypočítaná hodnota pro transfiguraci

Tabulka 4.2-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro napětí mezi body (A – B)

svorky	A - B			
	R_Z [k Ω]	U_{RZ} [V]	U_{RZTH} [V]	U_{RZTR} [V]
1	0,3883	0,388	0,388	0,388
2	0,708	0,708	0,709	0,709
5	1,404	1,404	1,406	1,406
10	2,089	2,089	2,093	2,093
20	2,763	2,763	2,769	2,769
50	3,427	3,427	3,435	3,435
100	3,726	3,726	3,734	3,734

Uvedené výpočty jsou pro rezistor $R_Z = 1 \text{ k}\Omega$:

Théveninův teorém:



Obrázek 4.2-2 Náhradní schéma Théveninova teorému

Vnitřní odpor obvodu R_i :

$$R_i = \left(\frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} \right) + \left(\frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} \right) = 4545,45 + 5000,00 = 9545,45 \Omega \quad (1)$$

Napětí U_a :

$$\frac{U_a}{U} = \frac{R_3}{R_1+R_3} \Rightarrow U_a = \left(\frac{R_3}{R_1+R_3}\right) U = 9,09 \text{ V} \quad (2)$$

Napětí U_b :

$$\frac{U_b}{U} = \frac{R_4}{R_2+R_4} \Rightarrow U_b = \left(\frac{R_4}{R_2+R_4}\right) U = 5,00 \text{ V} \quad (3)$$

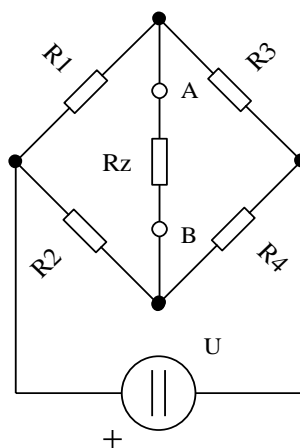
Napětí U_{ab} :

$$U = U_a - U_b = 9,09 - 5,00 = 4,09 \text{ V} \quad (4)$$

Napětí U_{RZ} :

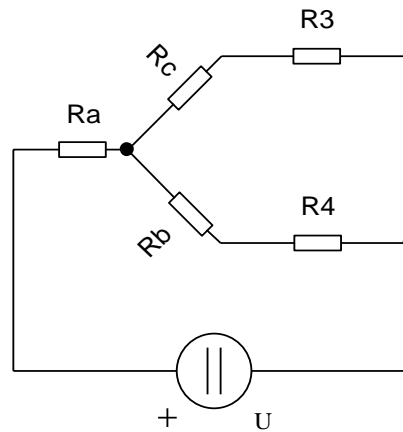
$$\frac{U_{RZ}}{U_{ab}} = \frac{R_Z}{R_Z+R_i} \Rightarrow U_{RZ} = \left(\frac{R_Z}{R_Z+R_i}\right) U_{ab} = 0,388 \text{ V} \quad (5)$$

Transfigurace:



Obrázek 4.2-3 Zapojení zatíženého můstku

Výpočet náhradních rezistorů R_a , R_b a R_c .



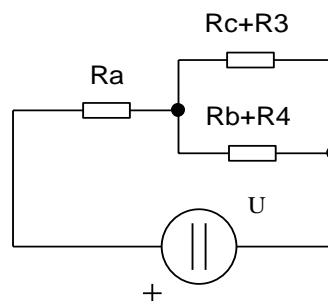
Obrázek 4.2-4 Zjednodušené zapojení do hvězdy

$$R_a = \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_z} \right) = 3125 \, \Omega \quad (6)$$

$$R_b = \left(\frac{R_2 R_z}{R_1 + R_2 + R_z} \right) = 625 \, \Omega \quad (7)$$

$$R_c = \left(\frac{R_1 R_z}{R_1 + R_2 + R_z} \right) = 312,5 \, \Omega \quad (8)$$

Výpočet celkového odporu obvodu R_{celk} :



Obrázek 4.2-5 Zjednodušené zapojení pro výpočet celkového odporu

$$R_{c3} = R_c + R_3 = 50312,5 \, \Omega \quad (9)$$

$$R_{b4} = R_b + R_4 = 10625 \Omega \quad (10)$$

$$R_d = \left(\frac{R_{c3}R_{b4}}{R_{c3}+R_{b4}} \right) = 8772,44 \Omega \quad (11)$$

$$R_{celk} = R_a + \left(\frac{R_{c3}R_{b4}}{R_{c3}+R_{b4}} \right) = 3125 + 8772,44 = 11897,44 \Omega \quad (12)$$

Výpočet celkového proudu a dílčích napětí a proudů:

$$I = \frac{U}{R_{celk}} = \frac{10}{11897,44} = 0,8405 \text{ mA} \quad (13)$$

$$U_a = R_a I = 2,626 \text{ V} \quad (14)$$

$$U_{cb} = R_d I = 7,373 \text{ V} \quad (15)$$

$$I_{c3} = \frac{U_{cb}}{R_{c3}} = 0,1465 \text{ mA} \quad (16)$$

$$I_{b4} = \frac{U_{cb}}{R_{b4}} = 0,6939 \text{ mA} \quad (17)$$

$$U_b = R_b I_{b4} = 0,434 \text{ V} \quad (18)$$

$$U_c = R_c I_{c3} = 0,046 \text{ V} \quad (20)$$

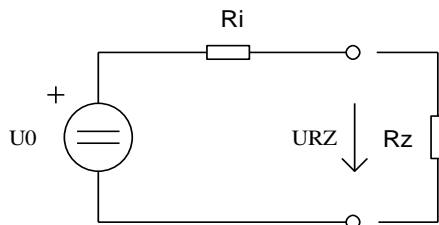
$$U_A = U_a + U_c = 2,672 \text{ V} \quad (21)$$

$$U_B = U_a + U_b = 3,06 \text{ V} \quad (22)$$

$$U_{RZ} = U_B - U_A = 0,388 \text{ V} \quad (23)$$

4.2.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

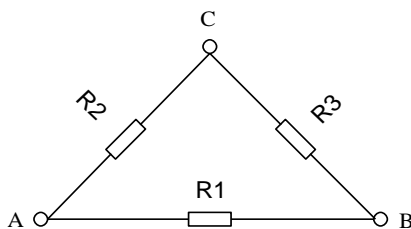
- a. Nakreslete a popište náhradní schéma Théveninova teorému.



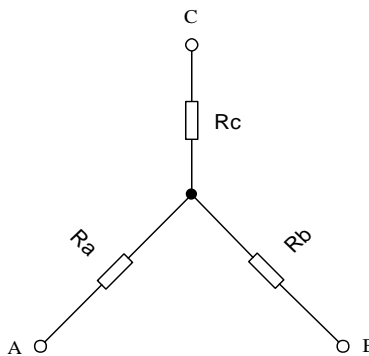
Obrázek 4.2-6 Náhradní schéma Théveninova teorému

- U_0 ideální zdroj napětí
- R_i vnitřní odpor zdroje
- R_Z zatěžovací rezistor (zkoumaný spotřebič)
- U_{RZ} úbytek napětí na rezistoru R_Z

- b. Nakreslete a popište transformaci trojúhelník – hvězda.



Obrázek 4.2-7 Zapojení rezistorů do trojúhelníku



Obrázek 4.2-8 Zapojení rezistorů do hvězdy

$$R_a = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \quad [\Omega] \quad (24)$$

$$R_b = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad [\Omega] \quad (25)$$

$$R_c = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad [\Omega] \quad (26)$$

Při metodě transfigurace trojúhelník – hvězda, nahrazujeme rezistory dle uvedeného výpočtu. Postupným nahrazováním rezistorů R_1 , R_2 , a R_3 zapojených do trojúhelníku, je nahradíme rezistory R_a , R_b , a R_c zapojených do hvězdy. Zapojení do trojúhelníku a do hvězdy musí mít stejné hodnoty mezi body A , B a C .

c. K čemu nám slouží transfigurace?

Transfigurace je další metodou, která nám slouží ke zjednodušení složitějších obvodů. Je to vlastně přeskupení rezistorů, při zachování stejných hodnot mezi třemi body. Po transfiguraci můžeme další výpočty řešit pomocí výpočtů pro sériovou a paralelní kombinaci.

4.2.5 ZÁVĚR

Pomocí měření a výpočtů jsme ověřili platnost dvou metod. Pro Théveninův teorém a pro metodu transfigurace jsou vypočítané hodnoty shodné. Měřené hodnoty se odlišují v našem případě setinách. Proto lze obě metody použít pro řešení složitějších obvodů. Při posuzování obou výpočtů lze říci, že výpočet u metody transfigurace je složitější a obtížnější. Rozdíl mezi hodnotami měřenými a vypočítanými je způsobený 1% tolerancí rezistorů a chybou měření.

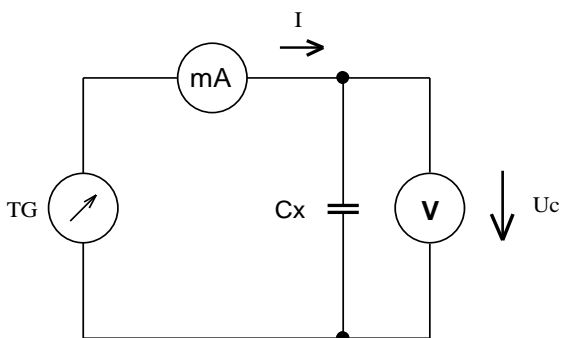
5 ŘEŠENÍ PRACOVNÍ ÚLOHY PRO PRACOVNÍŠTĚ 5

5.1 MĚŘENÍ KAPACITY S VYUŽITÍM REAKTANCE

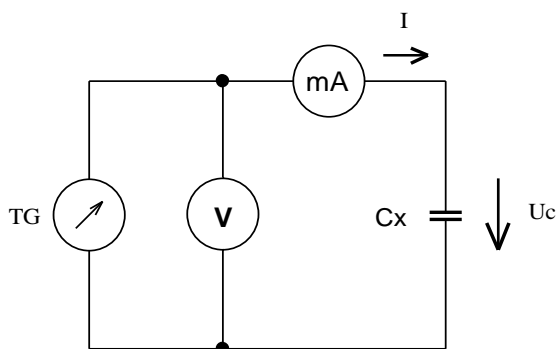
5.1.1 ÚKOL

Změřte kapacity uvedených kondenzátorů pomocí Ohmovy metody pro malé a velké kapacity. Měření proveďte pro hodnoty $C = 3,3 \text{ nF}$, 10 nF , 33 nF , 100 nF a $1 \text{ }\mu\text{F}$. Z naměřených hodnot v grafu znázorněte závislost $I = f(f)$ a $X_C = f(f)$ pro hodnoty kondenzátoru $C = 3,3 \text{ nF}$ a 100 nF , dle vypočítané mezní kapacity C_H vztah (3). Uvedené kondenzátory změřte na digitálním můstku a vypočítejte relativní chybu měření. V závěru mezi sebou jednotlivá měření porovnejte.

5.1.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 5.1-1 Zapojení pro měření velkých hodnot kapacit



Obrázek 5.1-2 Zapojení pro měření malých hodnot kapacit

Legenda:
 $C_X = 3,3 \text{ nF}, 10 \text{ nF}, 33 \text{ nF}, 100 \text{ nF} \text{ a } 1 \text{ } \mu\text{F}$
 $U_{stř} = 6 \text{ V}_{PP}$
5.1.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY**Výpočet mezní kapacity:**Tabulka 5.1-1 Výpočet mezní kapacity C_M

f [Hz]	C_M [F]
50	4,368E-08
100	2,184E-08
200	1,092E-08
400	5,460E-09
600	3,640E-09
800	2,730E-09
1000	2,184E-09
průměr	1,292E-08

 $C_M = 12,92 \text{ nF}$
Výpočet a měření pro velké kapacity:
 $C = 3,3 \text{ nF}$
Tabulka 5.1-2 Naměřené a vypočítané hodnoty pro $C = 3,3 \text{ nF}$

měření velkých kapacit							
f [Hz]	U [V]	I [μ A]	I_K [μ A]	X_C [Ω]	$C_{m\acute{u}s}$ [F]	C [F]	δ [%]
50	2,118	2,200	2,200	962727,365	3,290E-09	3,306E-09	0,509
100	2,120	4,400	4,400	481818,205	3,290E-09	3,303E-09	0,415
200	2,120	8,800	8,800	240909,097	3,290E-09	3,303E-09	0,415
400	2,116	17,600	17,600	120227,274	3,290E-09	3,309E-09	0,603
600	2,112	26,200	26,200	80610,688	3,290E-09	3,291E-09	0,034
800	2,107	34,800	34,800	60545,977	3,290E-09	3,286E-09	-0,112
1000	2,101	43,400	43,400	48410,138	3,290E-09	3,288E-09	-0,057
						průměr	součet
						3,298E-09	2,145

$C = 10 \text{ nF}$

Tabulka 5.1-3 Naměřené a vypočítané hodnoty pro $C = 10 \text{ nF}$

měření velkých kapacit							
f [Hz]	U [V]	I [μA]	I_K [μA]	X_C [Ω]	$C_{m\ddot{u}s}$ [F]	C [F]	δ [%]
50	2,117	6,600	6,600	320757,586	9,970E-09	9,924E-09	-0,465
100	2,119	13,200	13,200	160530,306	9,970E-09	9,914E-09	-0,560
200	2,119	26,600	26,600	79661,655	9,970E-09	9,989E-09	0,197
400	2,116	53,200	53,200	39774,436	9,970E-09	1,000E-08	0,338
600	2,112	79,600	79,600	26532,663	9,970E-09	9,997E-09	0,276
800	2,106	106,200	106,200	19830,509	9,970E-09	1,003E-08	0,622
1000	2,099	132,600	132,600	15829,563	9,970E-09	1,005E-08	0,840
						průměr	součet
						9,988E-09	3,297

$C = 33 \text{ nF}$

Tabulka 5.1-4 Naměřené a vypočítané hodnoty pro $C = 33 \text{ nF}$

měření velkých kapacit							
f [Hz]	U [V]	I [μA]	I_K [μA]	X_C [Ω]	$C_{m\ddot{u}s}$ [F]	C [F]	δ [%]
50	2,117	22,000	22,000	96227,274	3,286E-08	3,308E-08	0,677
100	2,119	43,800	43,800	48378,996	3,286E-08	3,290E-08	0,129
200	2,118	87,600	87,600	24178,082	3,286E-08	3,291E-08	0,176
400	2,114	175,200	175,200	12066,210	3,286E-08	3,298E-08	0,365
600	2,107	262,600	262,600	8023,610	3,286E-08	3,306E-08	0,619
800	2,098	349,400	349,400	6004,579	3,286E-08	3,313E-08	0,836
1000	2,087	418,000	418,000	4992,823	3,286E-08	3,188E-08	-3,069
						průměr	součet
						3,285E-08	5,872

$C = 100 \text{ nF}$

Tabulka 5.1-5 Naměřené a vypočítané hodnoty pro $C = 100 \text{ nF}$

měření velkých kapacit							
f [Hz]	U [V]	I [μA]	I_K [μA]	X_C [Ω]	$C_{m\ddot{u}s}$ [F]	C [F]	δ [%]
50	2,117	66,400	66,400	31882,530	9,972E-08	9,984E-08	0,117
100	2,117	133,000	133,000	15917,293	9,972E-08	9,999E-08	0,267
200	2,114	265,800	265,800	7953,348	9,972E-08	1,001E-07	0,333
400	2,096	522,000	522,000	4015,326	9,972E-08	9,909E-08	-0,636
600	2,067	774,000	774,000	2670,543	9,972E-08	9,933E-08	-0,397
800	2,030	1016,000	1016,000	1998,031	9,972E-08	9,957E-08	-0,153
1000	1,984	1242,000	1242,000	1597,424	9,972E-08	9,963E-08	-0,090
						průměr	součet
						9,964E-08	1,992

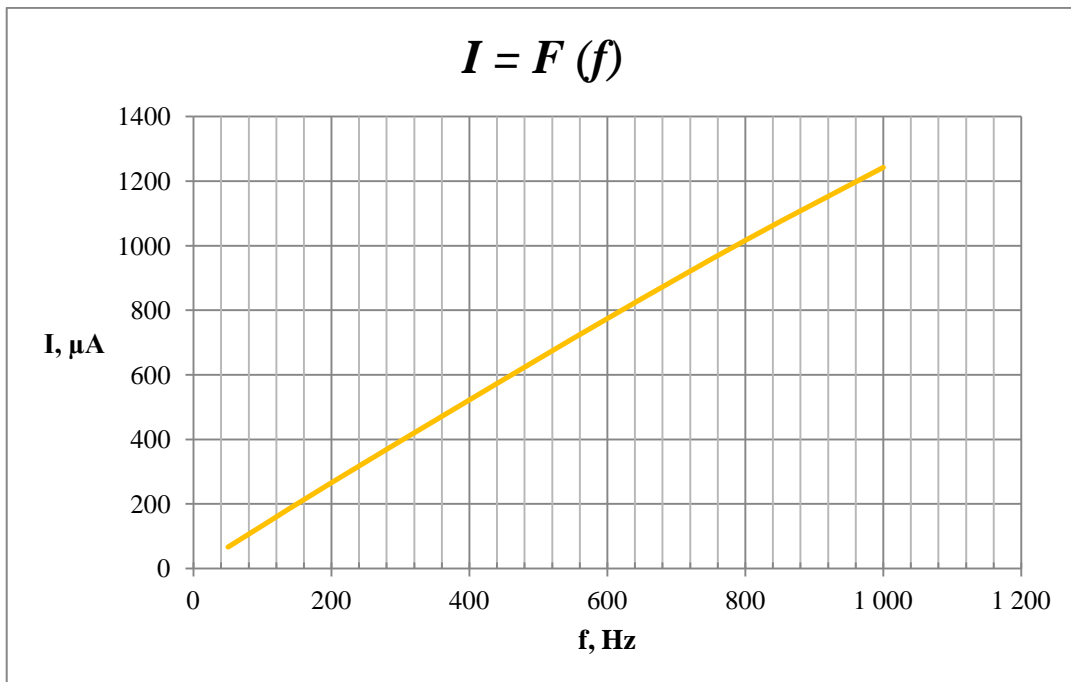
$C = 1 \mu\text{F}$

Tabulka 5.1-6 Naměřené a vypočítané hodnoty pro $C = 1 \mu\text{F}$

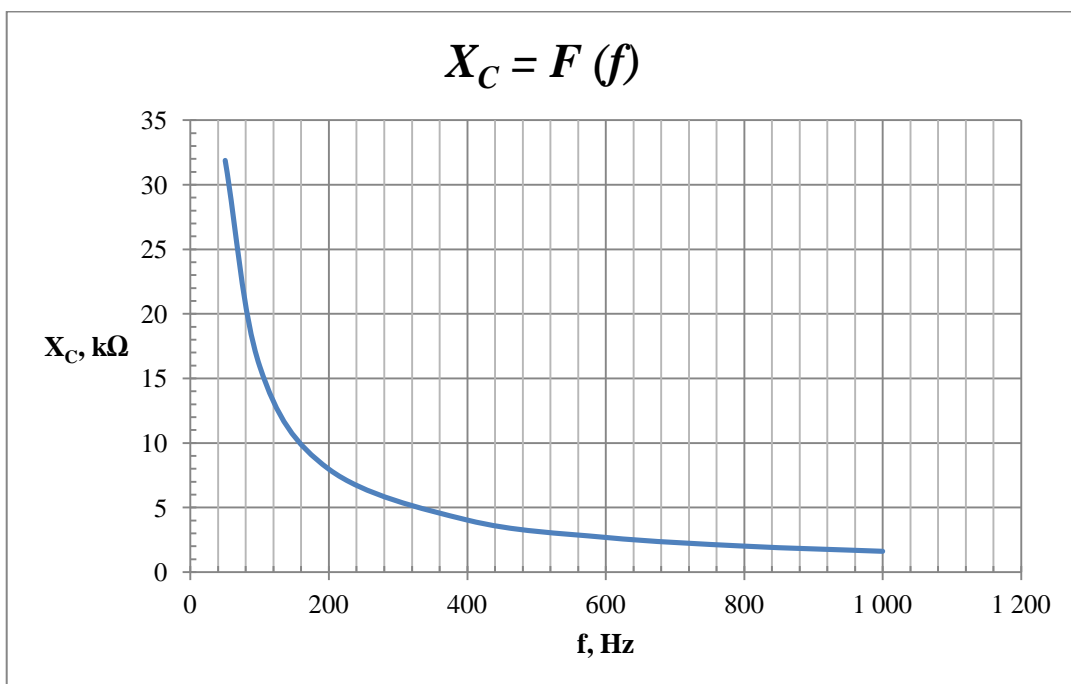
měření velkých kapacit							
f [Hz]	U [V]	I [μA]	I_K [μA]	X_C [Ω]	$C_{m\ddot{u}s}$ [F]	C [F]	δ [%]
50	2,062	710,000	710,000	2904,225	9,745E-07	1,096E-06	11,091
100	1,952	1308,000	1308,000	1492,355	9,745E-07	1,066E-06	8,627
200	1,679	2186,000	2186,000	768,070	9,745E-07	1,036E-06	5,947
400	1,203	3058,000	3058,000	393,394	9,745E-07	1,011E-06	3,654
600	0,901	3398,000	3398,000	265,156	9,745E-07	1,000E-06	2,592
800	0,710	3552,000	3552,000	199,887	9,745E-07	9,953E-07	2,092
1000	0,582	3634,000	3634,000	160,154	9,745E-07	9,938E-07	1,942
						průměr	součet
						1,028E-06	35,942

Výpočet relativní chyby podle vztahu (1):

$$\delta = \frac{C - C_{m\ddot{u}s}}{C} 100 \quad [\%; \text{F, F, F}] \quad (1)$$



Obrázek 5.1-3 Změřená závislost $I = F(f)$ pro kondenzátor $C = 100 \text{ nF}$



Obrázek 5.1-4 Změřená závislost $X_C = F(f)$ pro kondenzátor $C = 100 \text{ nF}$

Výpočet a měření pro malé kapacity:

$$C = 3,3 \text{ nF}$$

Tabulka 5.1-7 Naměřené a vypočítané hodnoty pro $C = 3,3 \text{ nF}$

měření malých kapacit							
f [Hz]	U [V]	I [μ A]	U_V [V]	X_C [Ω]	$C_{m\ddot{u}s}$ [F]	C [F]	δ [%]
50	2,117	2,000	2,116	1057968,963	3,290E-09	3,009E-09	-9,333
100	2,118	4,200	2,116	503754,677	3,290E-09	3,159E-09	-4,119
200	2,118	8,400	2,114	251611,820	3,290E-09	3,163E-09	-4,009
400	2,115	16,800	2,106	125361,820	3,290E-09	3,174E-09	-3,642
600	2,111	25,200	2,098	83238,804	3,290E-09	3,187E-09	-3,225
800	2,106	33,600	2,088	62147,534	3,290E-09	3,201E-09	-2,760
1000	2,099	41,800	2,077	49684,274	3,290E-09	3,203E-09	-2,690
						průměr	součet
						3,157E-09	29,778

$$C = 10 \text{ nF}$$

Tabulka 5.1-8 Naměřené a vypočítané hodnoty pro $C = 10 \text{ nF}$

měření malých kapacit							
f [Hz]	U [V]	I [μ A]	U_V [V]	X_C [Ω]	$C_{m\ddot{u}s}$ [F]	C [F]	δ [%]
50	2,116	6,400	2,113	330093,963	9,970E-09	9,643E-09	-3,389
100	2,118	13,000	2,111	162392,040	9,970E-09	9,801E-09	-1,726
200	2,118	26,200	2,104	80308,657	9,970E-09	9,909E-09	-0,614
400	2,115	52,400	2,087	39831,558	9,970E-09	9,989E-09	0,195
600	2,111	78,600	2,069	26326,469	9,970E-09	1,008E-08	1,051
800	2,106	104,800	2,050	19564,382	9,970E-09	1,017E-08	1,956
1000	2,099	130,800	2,030	15516,363	9,970E-09	1,026E-08	2,802
						průměr	součet
						9,978E-09	11,733

$C = 33 \text{ nF}$

Tabulka 5.1-9 Naměřené a vypočítané hodnoty pro $C = 33 \text{ nF}$

měření malých kapacit							
f [Hz]	U [V]	I [μA]	U_V [V]	X_C [Ω]	$C_{m\ddot{u}s}$ [F]	C [F]	δ [%]
50	2,116	21,800	2,104	96533,183	3,286E-08	3,297E-08	0,361
100	2,118	43,600	2,095	48046,944	3,286E-08	3,312E-08	0,815
200	2,118	87,400	2,072	23702,372	3,286E-08	3,357E-08	2,140
400	2,115	174,600	2,022	11582,365	3,286E-08	3,435E-08	4,360
600	2,110	261,400	1,971	7540,883	3,286E-08	3,518E-08	6,598
800	2,104	347,800	1,919	5518,416	3,286E-08	3,605E-08	8,865
1000	2,097	416,000	1,890	4542,963	3,286E-08	3,503E-08	6,218
						průměr	součet
						3,433E-08	29,358

$C = 100 \text{ nF}$

Tabulka 5.1-10 Naměřené a vypočítané hodnoty pro $C = 100 \text{ nF}$

měření malých kapacit							
f [Hz]	U [V]	I [μA]	U_V [V]	X_C [Ω]	$C_{m\ddot{u}s}$ [F]	C [F]	δ [%]
50	2,116	66,200	2,081	31432,709	9,972E-08	1,013E-07	1,526
100	2,118	132,800	2,047	15417,758	9,972E-08	1,032E-07	3,397
200	2,118	265,400	1,977	7449,370	9,972E-08	1,068E-07	6,649
400	2,112	522,000	1,852	3548,075	9,972E-08	1,121E-07	11,075
600	2,103	772,000	1,719	2226,191	9,972E-08	1,192E-07	16,308
800	2,093	1014,000	1,588	1566,200	9,972E-08	1,270E-07	21,493
1000	2,080	1240,000	1,463	1179,517	9,972E-08	1,349E-07	26,095
						průměr	součet
						1,149E-07	86,542

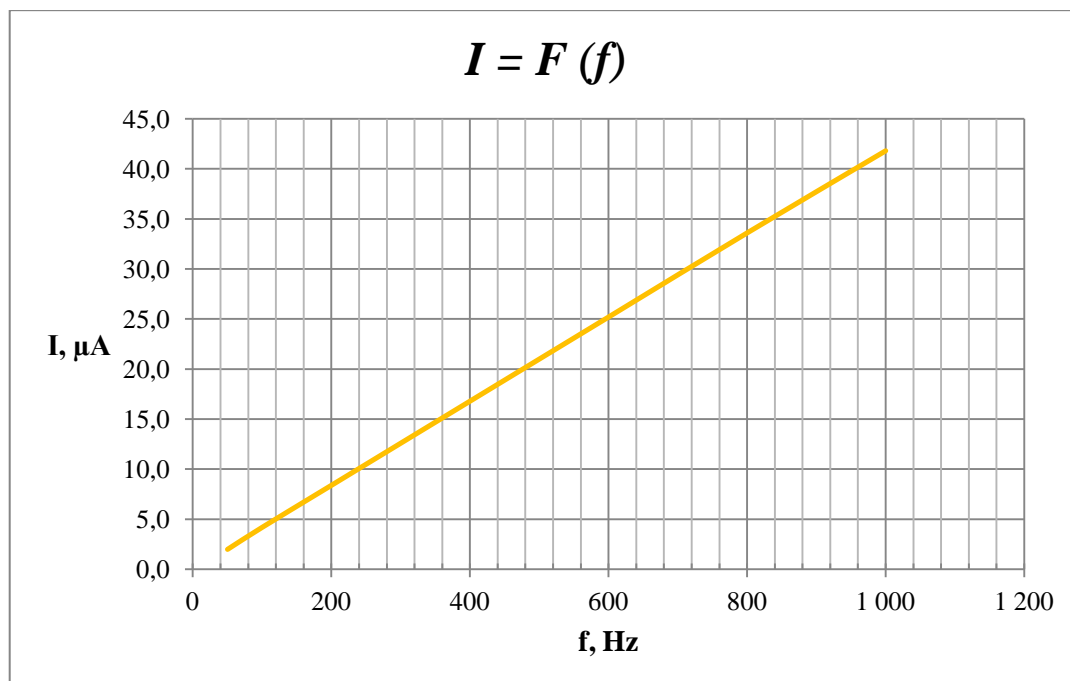
$$C = 1 \mu\text{F}$$

Tabulka 5.1-11 Naměřené a vypočítané hodnoty pro $C = 1 \mu\text{F}$

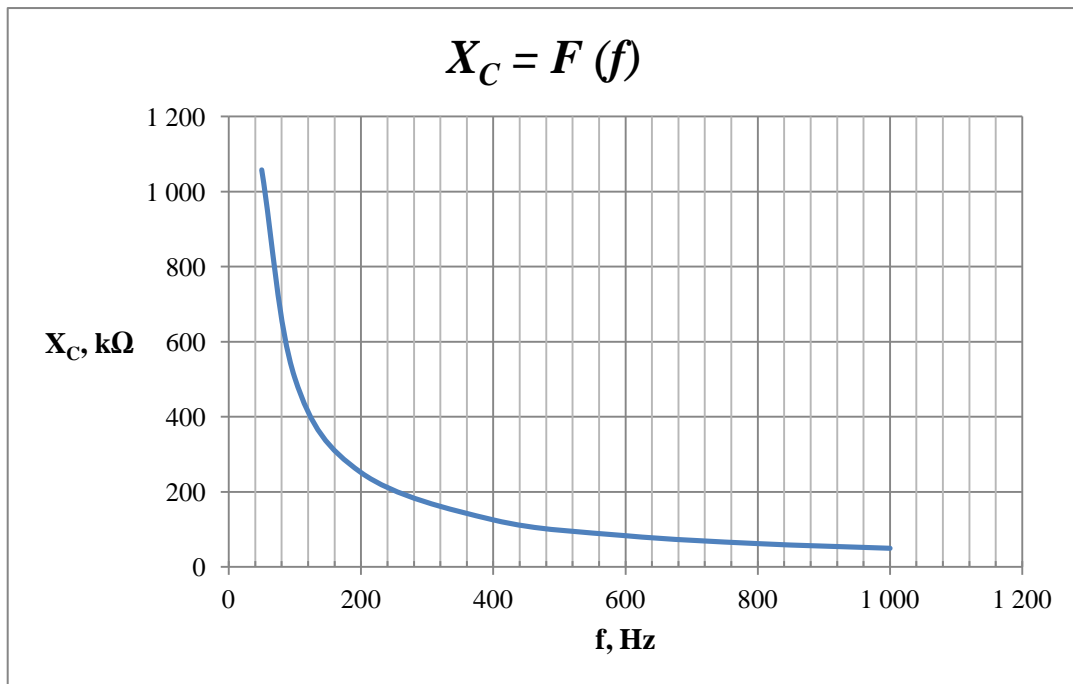
měření malých kapacit							
f [Hz]	U [V]	I [μA]	U_V [V]	X_C [Ω]	$C_{m\acute{u}s}$ [F]	C [F]	δ [%]
50	2,108	710,000	1,754	2471,112	9,745E-07	1,288E-06	24,350
100	2,093	1310,000	1,441	1099,808	9,745E-07	1,447E-06	32,662
200	2,053	2186,000	0,965	441,256	9,745E-07	1,803E-06	45,966
400	1,991	3058,000	0,468	153,177	9,745E-07	2,598E-06	62,486
600	1,958	3398,000	0,266	78,319	9,745E-07	3,387E-06	71,229
800	1,938	3552,000	0,169	47,706	9,745E-07	4,170E-06	76,633
1000	1,925	3632,000	0,117	32,109	9,745E-07	4,957E-06	80,341
						průměr	součet
						2,807E-06	393,667

Výpočet relativní chyby podle vztahu (2):

$$\delta = \frac{C - C_{m\acute{u}s}}{C} 100 \quad [\%; \text{F}, \text{F}, \text{F}] \quad (2)$$



Obrázek 5.1-5 Změřená závislost $I = F(f)$ pro kondenzátor $C = 3,3 \text{ nF}$



Obrázek 5.1-6 Změřená závislost $X_C = F(f)$ pro kondenzátor $C = 3,3 \text{ nF}$

5.1.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Co je to kondenzátor a na čem závisí jeho kapacita?

Kondenzátor je pasivní součástka, která má základní vlastnost uchovávat elektrický náboj. Pokud kondenzátor připojíme na stejnosměrný zdroj napětí, je schopný přijmout na své elektrody určitý elektrický náboj. Kondenzátor má tzv. kapacitu, což je veličina udávající schopnost pojmout tento náboj. Konstrukčně je kondenzátor sestaven ze dvou vodivých těles, které jsou od sebe odizolovány nevodivým materiálem tzv. dielektrikem. Kapacita kondenzátoru závisí na velikosti desek a vzdálenosti mezi nimi. Tato kapacita kondenzátoru je větší, čím jsou větší rozměry těchto dvou desek a menší vzdálenost mezi nimi. Základní jednotkou kapacity je F Farad. Tato jednotka pro používání v běžné praxi je značně velká, proto se používají dílčí jednotky $1 \text{ F} = 10^6 \mu\text{F}$, 10^9 nF a 10^{12} pF .

b. Jak se chová kondenzátor ve střídavém obvodu?

Pokud je kondenzátor zapojený do střídavého obvodu chová se jako jalový odpor, uplatňuje se tzv. reaktance X_C . Reaktance je závislá na použité frekvenci. Ve střídavém obvodu se kondenzátor podle změny polarity napětí musí neustále nabíjet a vybíjet. Obvodem protéká nabíjecí a vybíjecí proud. Čím je kmitočet zdroje vyšší, tím musí téci větší proud do kondenzátoru, aby se nabil na napětí zdroje (3).

$$I = \frac{U}{X_C} = \frac{U}{\frac{1}{2\pi f C}} = 2\pi U f C \text{ [A; V, Hz, F]} \quad (3)$$

S rostoucím kmitočtem klesá hodnota reaktance u kondenzátoru. Vyjádřeno vztahem (4):

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \text{ [\Omega; Hz, F]} \quad (4)$$

c. Podle čeho dělíme kondenzátory?

Kondenzátory dělíme:

Podle změny kapacity

- pevné
- laditelné
- kapacitní trimry

Podle technologie výroby:

- keramické
- elektrolytické
- svítkové
- slídové

- s papírovým dielektrikem
- tantalové

5.1.5 ZÁVĚR

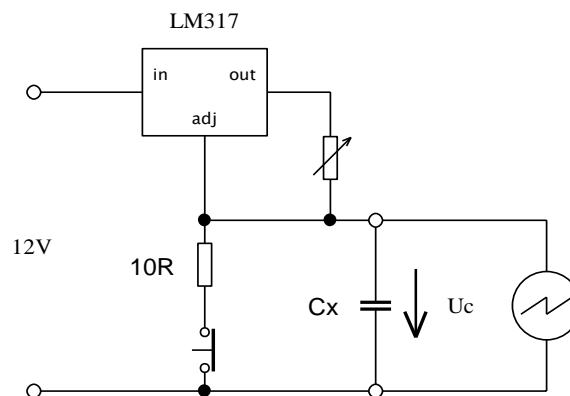
Obě nepřímé metody pro měření kondenzátorů ukázaly, že rozdíl v naměřených hodnotách se uplatňuje u mezní kapacity $C_M = 12,92$ nF, kromě hodnoty $C = 3,3$ nF. Naměřené hodnoty napětí a proudu se téměř neliší. Větší chyba, by nastala u měření vyšších kapacit. Z hlediska výpočtu celkové relativní chyby měření vyšla lépe metoda pro měření velkých kapacit. Dále se potvrdila závislost reaktance kondenzátoru na frekvenci $X_C = F(f)$, která je hyperbolická a závislost proudu na frekvenci $I = F(f)$, kde proud je přímo úměrný frekvenci.

5.2 MĚŘENÍ KAPACITY KONDENZÁTORU OSCILOSKOPEM

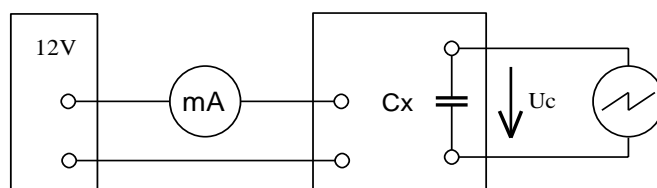
5.2.1 ÚKOL

Změřte kapacity uvedených kondenzátorů pomocí osciloskopu, zdroje proudu a přípravku pro měření kondenzátoru. Pro kondenzátor $C = 10 \text{ nF}$ uložte měření z osciloskopu do souboru a jako obrázek vložte do protokolu. Měření proveďte pro hodnoty $C_X = 1 \text{ nF}$, 10 nF , 33 nF , 100 nF a $1 \text{ }\mu\text{F}$. Uvedené kondenzátory změřte na digitálním můstku a vypočítejte relativní chybu měření.

5.2.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 5.2-1 Schéma zapojení přípravku pro měření kapacit kondenzátorů



Obrázek 5.2-2 Zapojení přípravku pro měření kapacit kondenzátorů

Legenda:

$C_X = 1 \text{ nF}$, 10 nF , 33 nF , 100 nF a $1 \text{ }\mu\text{F}$

$U = 12 \text{ V}$

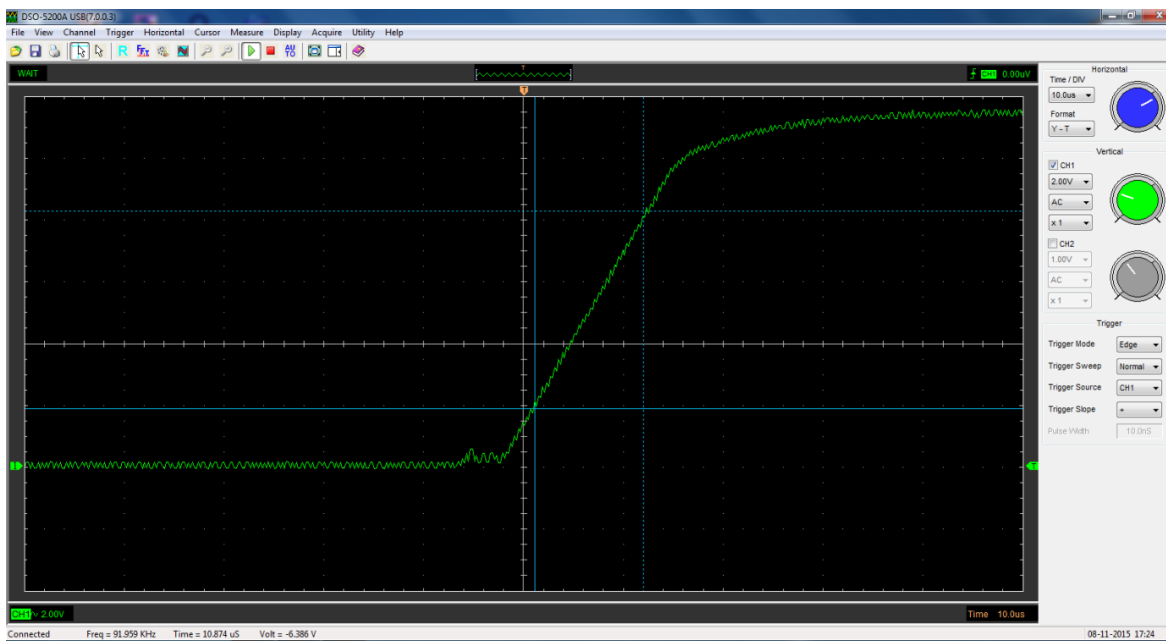
5.2.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabulka 5.2-1 Naměřené a vypočítané hodnoty kapacit a metody pomocí osciloskopu

C [nF]	I [mA]	Δt [μ s]	ΔU [V]	C_{VYP} [F]	$C_{m\acute{u}s}$ [F]	δ [%]
1	6,170	0,367	2,208	1,026E-09	1,001E-09	2,364
10	5,970	10,874	6,386	1,017E-08	9,970E-09	1,926
33	11,450	20,132	6,694	3,444E-08	3,286E-08	4,590
100	50,810	11,976	6,006	1,013E-07	9,972E-08	1,573
1000	144,800	40,118	5,318	1,092E-06	9,745E-07	10,792

Příklad výpočtu pro $C = 10$ nF:

$$C = \frac{I \cdot \Delta t}{\Delta U} = \frac{5,97 \cdot 10^{-3} \cdot 10,874 \cdot 10^{-6}}{6,386} = 10,16 \text{ nF} \quad (1)$$



Obrázek 5.2-3 Znáznorněné měření pro kapacitu $C = 10$ nF

5.2.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Vysvětlete a popište paralelní zapojení kondenzátorů.

Celková kapacita paralelně zapojených kondenzátorů je dána součtem všech kapacit zapojených kondenzátorů. Pro paralelní zapojení platí vztah (2).

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad [\text{F}] \quad (2)$$

Pro paralelní zapojení kondenzátorů platí:

- na všech kondenzátorech je stejné napětí
- celkový náboj je součtem dílčích nábojů na kondenzátorech

- b. Vysvětlete a popište sériové zapojení kondenzátorů.

Celková kapacita sériově zapojených kondenzátorů je rovna součtu převrácených hodnot kapacit jednotlivých kondenzátorů. Pro sériové zapojení platí vztah (3).

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad [\text{F}] \quad (3)$$

Pro sériové zapojení kondenzátorů platí:

- na každém kondenzátoru je dílčí napětí, které je nepřímo úměrné kapacitě daného kondenzátoru
- celková kapacita je menší než kapacita jakéhokoliv zapojeného kondenzátoru

- c. Jak se chová kondenzátor ve stejnosměrném obvodu?

Ve stejnosměrném obvodu kondenzátorem neprochází stejnosměrný proud. Kondenzátor přerušuje obvod stejnosměrného proudu.

5.2.5 ZÁVĚR

U této metody je jednoduchý výpočet podle jednoho vzorce. Pokud máme k dispozici přípravky a program MS Excel, lze tuto metodu měření kapacit zařadit mezi plnohodnotnou a rychlou s porovnáním ostatních měřících metod.

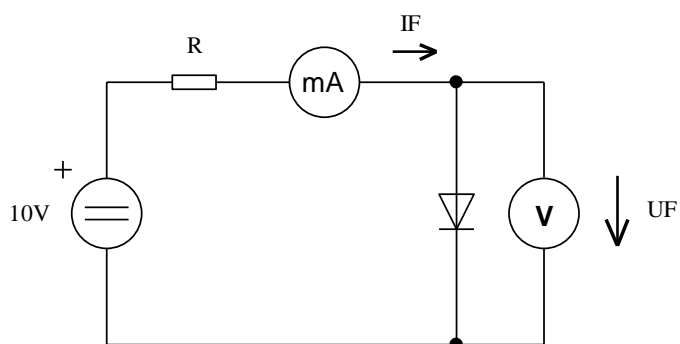
6 ŘEŠENÍ PRACOVNÍ ÚLOHY PRO PRACOVIŠTĚ 6

6.1 MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK KŘEMÍKOVÝCH, GERMANIOVÝCH A SCHOTKYHO DIOD

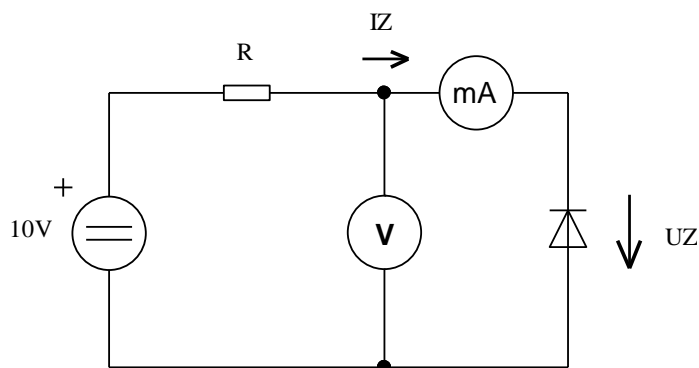
6.1.1 ÚKOL

Změřte voltampérovou charakteristiku zadaných diod (*KA262*, *IN4007*, *GA202* a *BXZ83*). Charakteristiku změřte v propustném i závěrném směru. Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a znázorněte graf $I = F(U)$ - VA charakteristiku diod. V závěru mezi sebou jednotlivá měření porovnejte.

6.1.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 6.1-1 Zapojení pro měření charakteristiky diody v propustném směru



Obrázek 6.1-2 Zapojení pro měření charakteristiky diody v závěrném směru

Legenda:

$R = 1 \text{ k}\Omega$

$U = 10 \text{ V}$

6.1.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY**Výpočet ochranného rezistoru:**

Pro výpočet ochranného rezistoru použijte následující výpočet. Hodnoty najdeme v katalogových listech. Diodami může maximální proud $I_{F \max} = 100 \text{ mA}$. Pro náš výpočet použijeme 1/10 hodnoty proudu.

$$R = \frac{U_0 - U_F}{1/10 I_{F \max}} = \frac{10 - 0,7}{0,01} = 930 \Omega \quad (1)$$

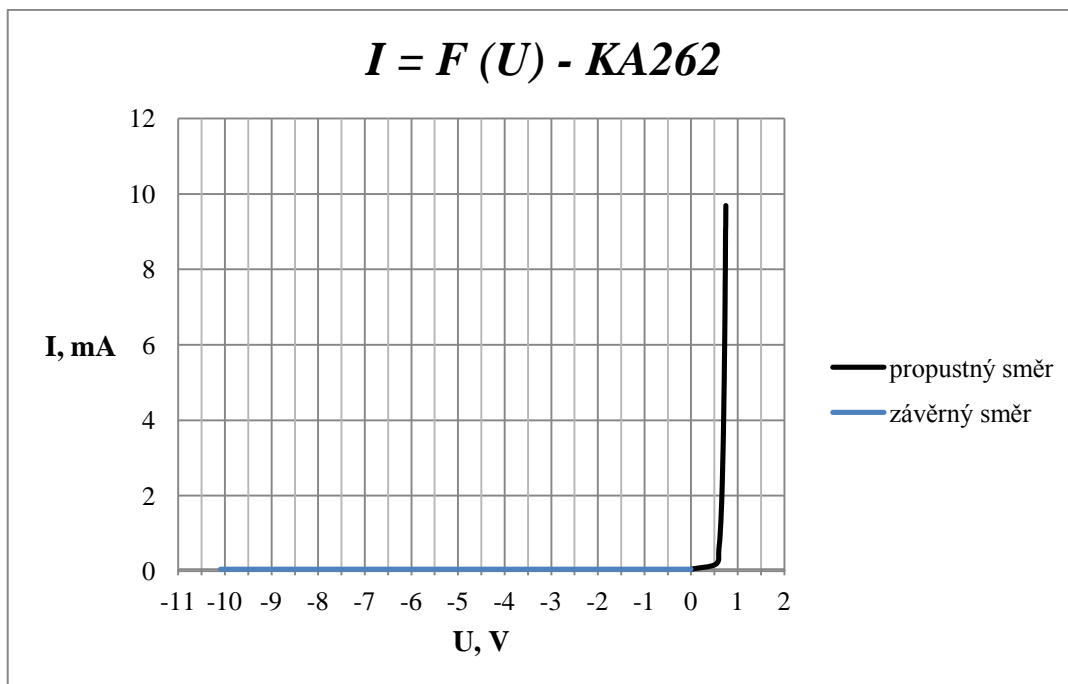
Použijeme nejbližší hodnotu:

$R = 1000 \Omega$

KA262

Tabulka 6.1-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro diodu KA262

U [V]	U_F [V]	I_F [mA]	U_Z [V]	I_Z [mA]	U [V]	U_F [V]	I_F [mA]	U_Z [V]	I_Z [mA]
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	5,5	0,711	4,998	5,589	0,003
0,5	0,533	0,136	0,669	0,003	6,0	0,716	5,536	6,104	0,003
1,0	0,596	0,521	1,136	0,003	6,5	0,721	6,032	6,673	0,003
1,5	0,629	1,034	1,612	0,003	7,0	0,725	6,501	7,144	0,003
2,0	0,648	1,505	2,143	0,003	7,5	0,729	7,022	7,653	0,003
2,5	0,662	1,979	2,604	0,003	8,0	0,732	7,552	8,159	0,003
3,0	0,673	2,468	3,093	0,003	8,5	0,736	8,068	8,682	0,003
3,5	0,684	3,039	3,667	0,003	9,0	0,739	8,886	9,107	0,003
4,0	0,693	3,542	4,087	0,003	9,5	0,743	9,112	9,633	0,003
4,5	0,699	4,042	4,617	0,003	10,0	0,746	9,643	10,099	0,003
5,0	0,705	4,531	5,125	0,003					

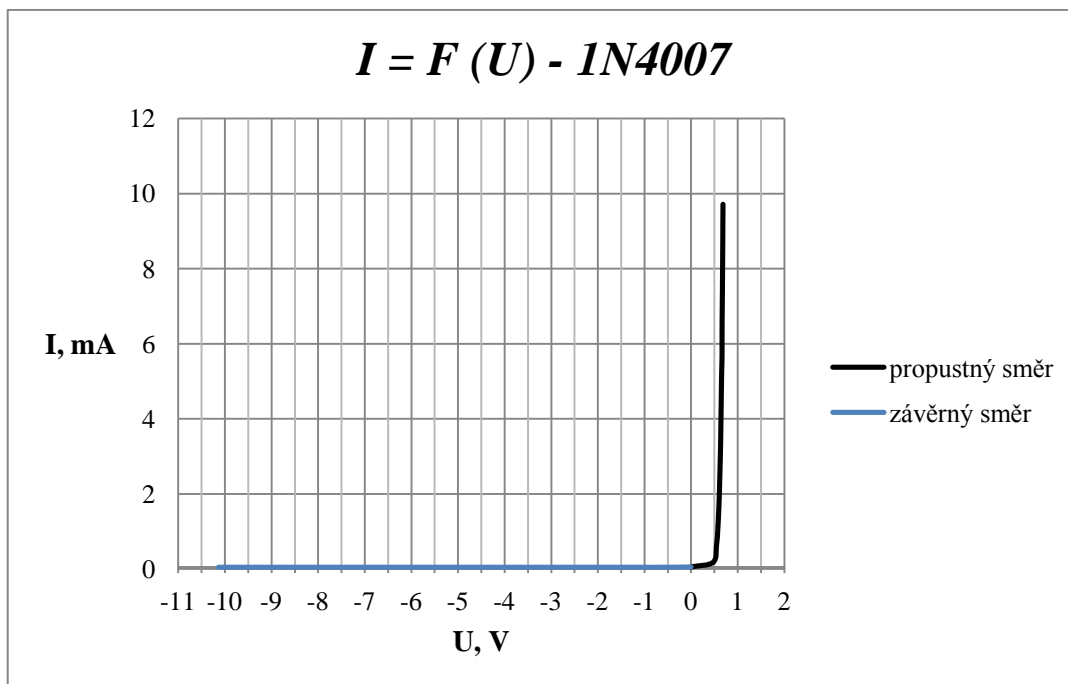


Obrázek 6.1-3 $I = F(U)$ – VA charakteristika diody KA262

1N4007

Tabulka 6.1-2 Naměřené a vypočítané hodnoty pro diodu 1N4007

U [V]	U_F [V]	I_F [mA]	U_Z [V]	I_Z [mA]	U [V]	U_F [V]	I_F [mA]	U_Z [V]	I_Z [mA]
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	5,5	0,652	5,123	5,637	0,003
0,5	0,472	0,126	0,598	0,003	6,0	0,661	5,603	6,127	0,003
1,0	0,544	0,587	1,149	0,003	6,5	0,661	6,127	6,585	0,003
1,5	0,572	1,028	1,631	0,003	7,0	0,663	6,569	7,081	0,003
2,0	0,594	1,597	2,095	0,003	7,5	0,667	7,082	7,631	0,003
2,5	0,607	2,092	2,638	0,003	8,0	0,671	7,683	8,139	0,003
3,0	0,617	2,563	3,129	0,003	8,5	0,674	8,155	8,595	0,003
3,5	0,627	3,077	3,627	0,003	9,0	0,677	8,694	9,162	0,003
4,0	0,634	3,537	4,117	0,003	9,5	0,679	9,186	9,666	0,003
4,5	0,639	4,027	4,611	0,003	10,0	0,681	9,662	10,141	0,003
5,0	0,646	4,601	5,143	0,003					

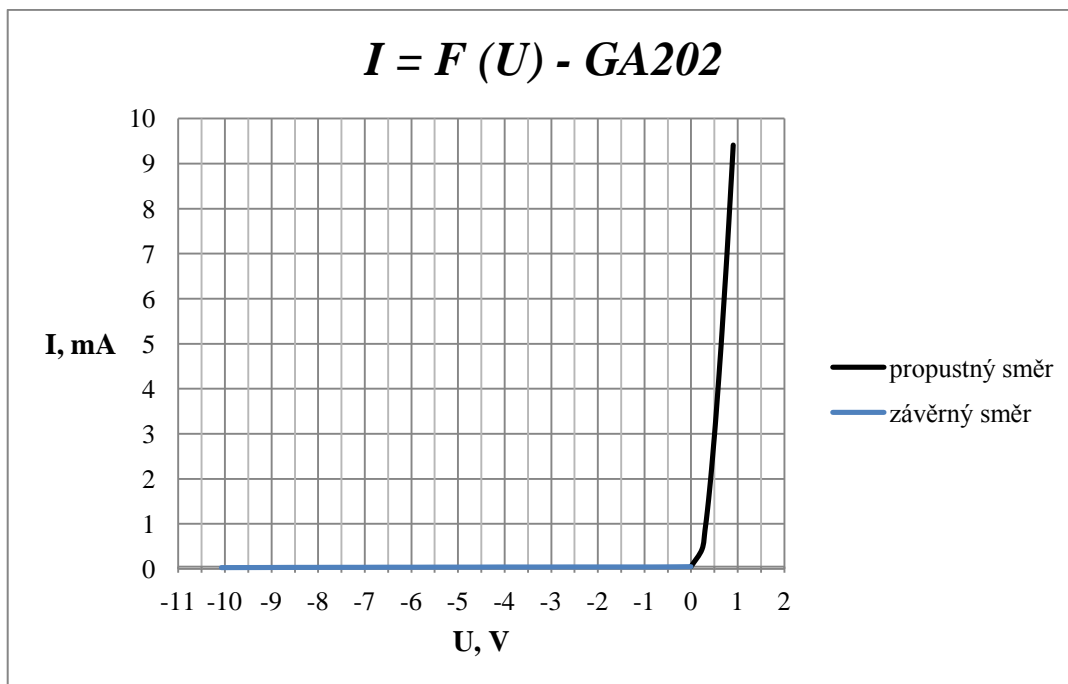


Obrázek 6.1-4 $I = F(U)$ – VA charakteristika diody 1N4007

GA202

Tabulka 6.1-3 Naměřené a vypočítané hodnoty pro diodu GA202

U [V]	U_F [V]	I_F [mA]	U_Z [V]	I_Z [mA]	U [V]	U_F [V]	I_F [mA]	U_Z [V]	I_Z [mA]
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	5,5	0,651	4,981	5,652	0,010
0,5	0,236	0,384	0,591	0,005	6,0	0,681	5,468	6,104	0,011
1,0	0,301	0,808	1,093	0,006	6,5	0,709	5,912	6,629	0,011
1,5	0,355	1,268	1,609	0,006	7,0	0,741	6,427	7,126	0,013
2,0	0,399	1,706	2,102	0,006	7,5	0,771	6,918	7,581	0,013
2,5	0,441	2,161	2,616	0,006	8,0	0,797	7,371	8,123	0,014
3,0	0,483	2,665	3,161	0,007	8,5	0,825	7,867	8,669	0,015
3,5	0,521	3,136	3,576	0,007	9,0	0,854	8,397	9,151	0,017
4,0	0,551	3,544	4,127	0,007	9,5	0,882	8,898	9,645	0,018
4,5	0,586	4,035	4,639	0,009	10,0	0,906	9,359	10,074	0,019
5,0	0,618	4,495	5,161	0,009					

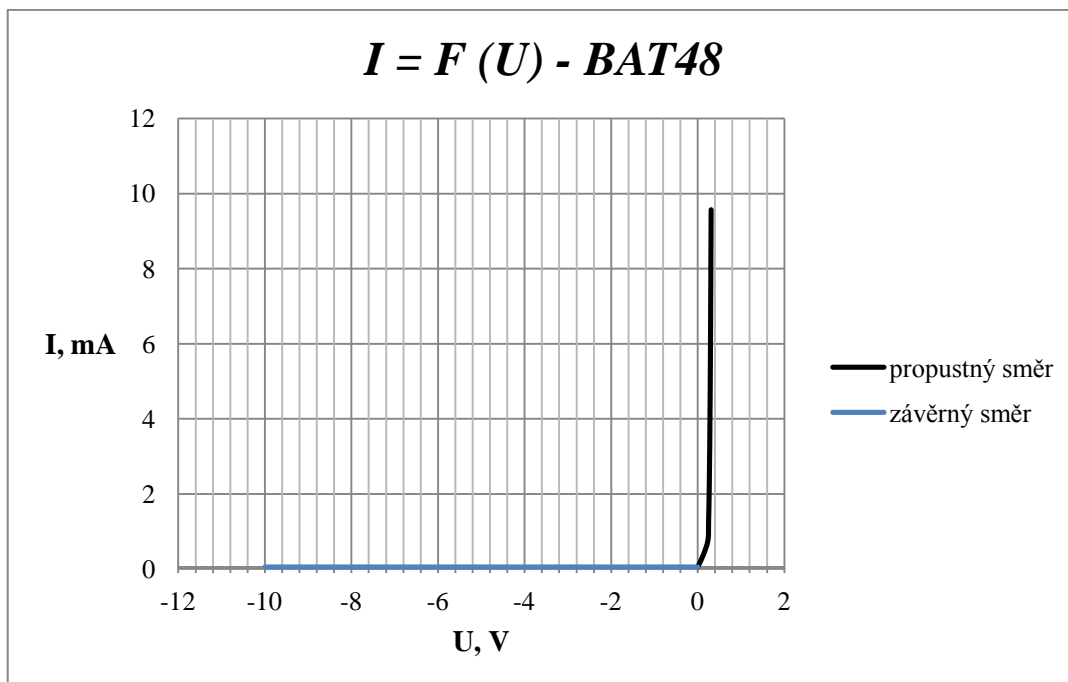


Obrázek 6.1-5 $I = F(U)$ – VA charakteristika diody GA202

BAT48

Tabulka 6.1-4 Naměřené a vypočítané hodnoty pro diodu BAT48

U [V]	U_F [V]	I_F [mA]	U_Z [V]	I_Z [mA]	U [V]	U_F [V]	I_F [mA]	U_Z [V]	I_Z [mA]
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	5,5	0,293	5,110	5,500	0,000
0,5	0,131	0,322	0,500	0,000	6,0	0,295	5,590	6,000	0,000
1,0	0,239	0,720	1,000	0,000	6,5	0,298	6,100	6,500	0,000
1,5	0,253	1,220	1,500	0,000	7,0	0,300	6,610	7,000	0,000
2,0	0,262	1,700	2,000	0,000	7,5	0,302	7,090	7,500	0,000
2,5	0,269	2,190	2,500	0,000	8,0	0,305	7,630	8,000	0,000
3,0	0,274	2,680	3,000	0,000	8,5	0,306	8,070	8,500	0,000
3,5	0,279	3,160	3,500	0,000	9,0	0,308	8,580	9,000	0,000
4,0	0,283	3,660	4,000	0,000	9,5	0,310	9,050	9,500	0,000
4,5	0,286	4,130	4,500	0,000	10,0	0,312	9,520	10,000	0,000
5,0	0,290	4,630	5,000	0,000					



Obrázek 6.1-6 $I = F(U)$ – VA charakteristika diody BAT48

6.1.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Jak se chová dioda v propustném a závěrném směru?

Polovodičová dioda je aktivní součástka, která je založena na principu jednoho polovodičového přechodu PN. Proto záleží na připojení polaritu napájecího napětí. Pokud je anoda diody připojena ke kladnému pólu zdroje a katoda k zápornému pólu zdroje, tak diodou při prahovém napětí začne procházet proud. Dioda je zapojena v propustném směru. Pokud diodu zapojíme obráceně, dioda proud nevede.

- b. Jaké znáte druhy diod?

Základní dělení diod podle typu použití:

- usměrňovací
- spínací
- Zenerovy
- Schotkyho

- kapacitní (varikap)

Podle druhu polovodičového materiálu:

- germániové
- křemíkové
- selenové (používané dříve)

Podle provedení:

- hrotové
- plošné
- vakuové diody (používané dříve)

Podle technologie výroby:

- klasické (axiální nebo radiální)
- SMD (Surface Mount Device)

c. Uveďte některé důležité parametry diod?

Některé důležité parametry diod pro naše měření:

- U_P prahové napětí
- U_{Fmax} maximální propustné napětí
- U_{Zmax} maximální závěrné napětí
- I_Z závěrný proud
- f_M mezní kmitočet
- r_Z dynamický odpor

6.1.5 ZÁVĚR

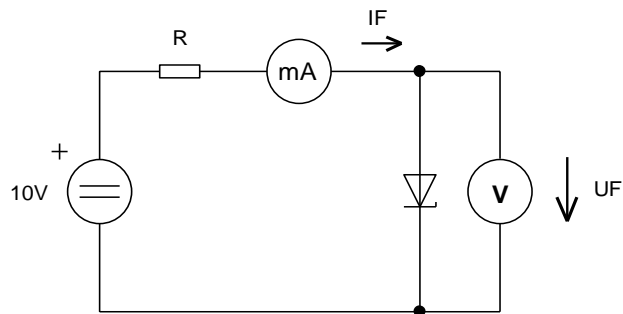
U této metody jsme zanedbali chybu měření, která vznikla při měření vlivem působení ampérmetru a voltmetru. Voltampérové charakteristiky vyšly dle předpokladu.

6.2 MĚŘENÍ VA CHARAKTERISTIKY ZENEROVÝCH DIOD

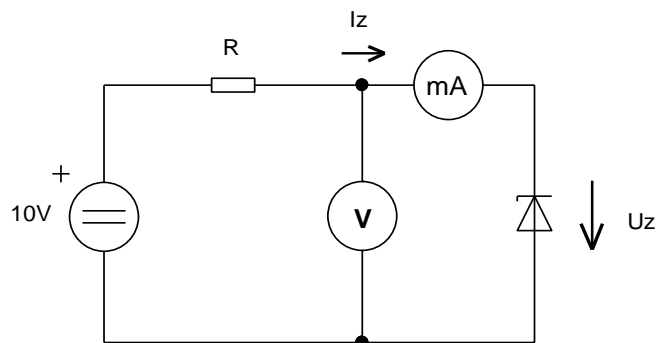
6.2.1 ÚKOL

Změřte voltampérovou charakteristiku Zenerových diod (*BXZ55C 3V0* a *4NZ70*). Charakteristiku změřte v propustném i závěrném směru. Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a znázorněte graf $I = F(U)$ - VA charakteristiku diod. Z VA charakteristiky a pomocí výpočtu vypočítejte diferenciální odpor r_z . V tabulce naměřených hodnot, označte červeně hodnoty, které jste použili pro výpočet. Dále vypočítejte maximální ztrátový výkon P_D . Hodnoty porovnejte s katalogovým listem Zenerovy diody. V závěru mezi sebou jednotlivá měření porovnejte.

6.2.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 6.2-1 Zapojení pro měření charakteristiky diody v propustném směru



Obrázek 6.2-2 Zapojení pro měření charakteristiky Zenerovy diody v závěrném směru

Legenda:

$$R = 1000 \Omega \text{ a } 600 \Omega$$

$$U = 20 \text{ V}$$

$$ZD = \text{BXZ55C } 3\text{V0 a } 4\text{NZ70}$$

6.2.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY**Výpočet ochranného rezistoru:**

Pro výpočet ochranného rezistoru použijte následující výpočet. Hodnoty najdeme v katalogových listech. Diodami může v propustném směru protékat maximální proud $I_{Fmax} = 100 \text{ mA}$. Pro náš výpočet použijeme 1/5 hodnoty proudu.

$$R = \frac{U_0 - U_F}{0,2 I_{Fmax}} = \frac{20 - 1}{0,02} = 950 \Omega \quad (1)$$

Použijeme nejbližší hodnotu:

$$R = 1000 \Omega \quad (2)$$

Pro výpočet v závěrném směru, použijeme dva následující výpočty. Hodnoty závěrného proudu volíme do 20 mA.

BXZ55C 3V0

$$R = \frac{U_0 - U_Z}{I_Z} = \frac{20 - 3}{0,02} = 850 \Omega \quad (3)$$

Použijeme nejbližší hodnotu:

$$R = 1000 \Omega \quad (4)$$

4NZ70

$$R = \frac{U_0 - U_Z}{I_Z} = \frac{10 - 8}{0,02} = 600 \Omega \quad (5)$$

Použijeme nejbližší hodnotu:

$$R = 500 + 100 = 600 \Omega \quad (6)$$

Výpočet diferenciálního odporu:

$I_{Z \min}$ volíme: $I_{Z \min} > 5 \text{ mA}$

BXZ55C 3V0

$$r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z} = \frac{3,62 - 3,07}{0,01642 - 0,00541} = \frac{0,55}{0,01101} = 49,95 \Omega \quad (7)$$

4NZ70

$$r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z} = \frac{8,37 - 8,14}{0,01941 - 0,00646} = \frac{0,23}{0,01295} = 17,76 \Omega \quad (8)$$

Výpočet maximálního ztrátového výkonu P_D :

BXZ55C 3V0

$$P_D = U_Z \cdot I_{Z \max} = 3 \cdot 0,125 = 0,375 \text{ W} \quad (9)$$

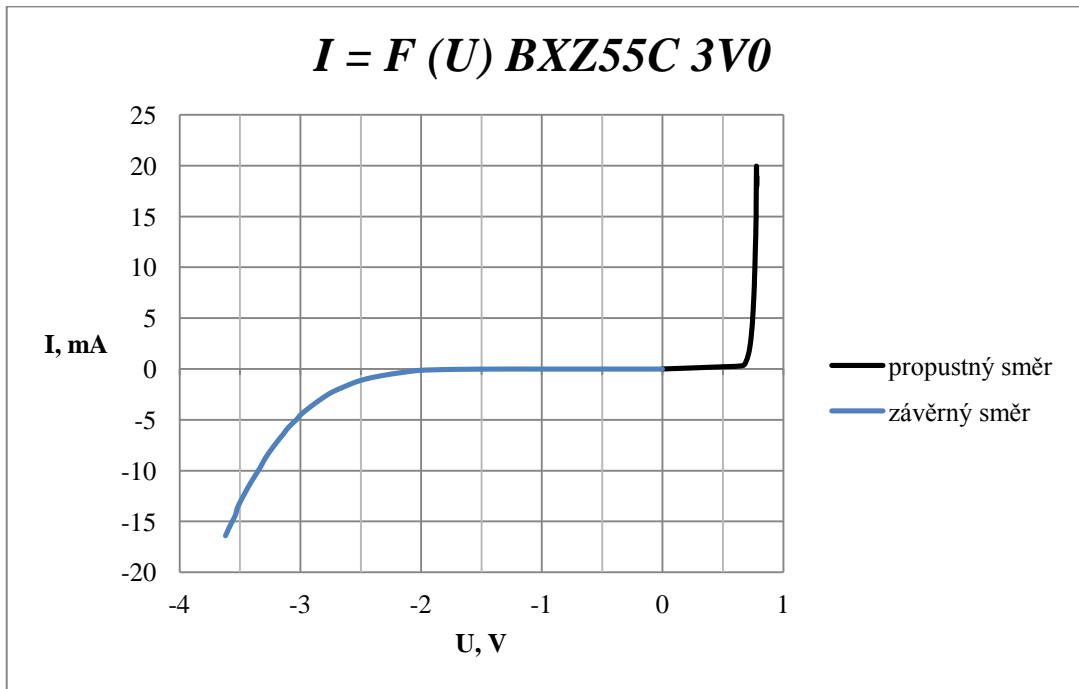
4NZ70

$$P_D = U_Z \cdot I_{Z \max} = 8 * 0,170 = 1,36 \text{ W} \quad (10)$$

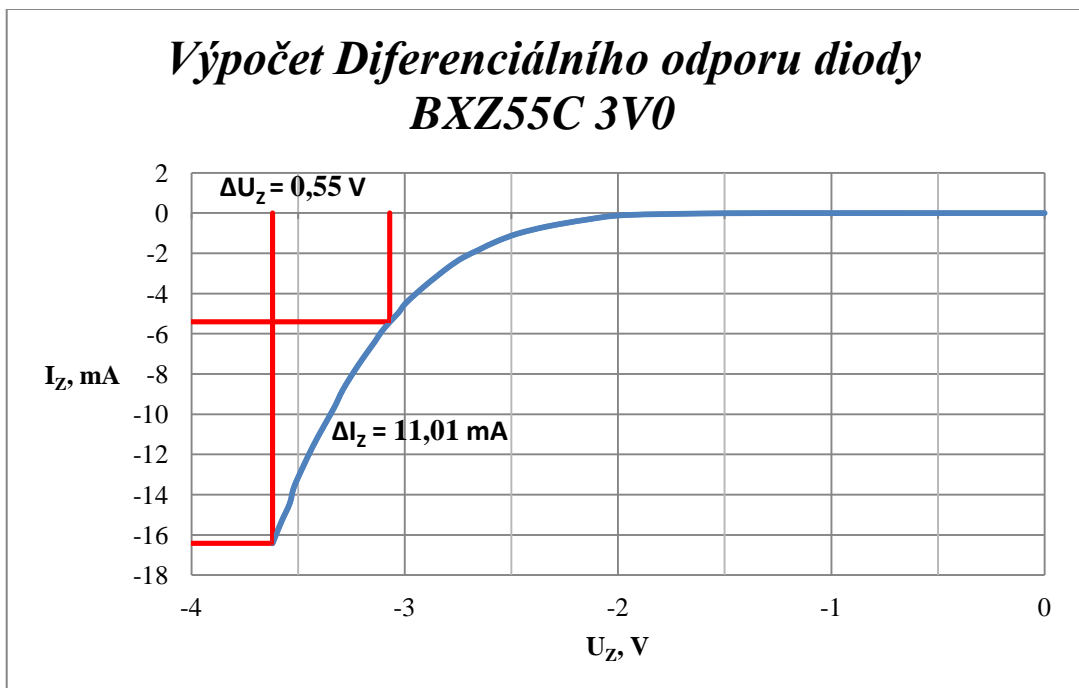
BXZ55C 3V0

Tabulka 6.2-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro Zenerovu diodu BXZ55C 3V0

U_0 [V]	U_F [V]	I_F [mA]	U_z [V]	I_z [mA]	U_0 [V]	U_F [V]	I_F [mA]	U_z [V]	I_z [mA]
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	8,0	0,755	7,110	3,030	4,960
0,5	0,420	0,180	0,440	0,000	8,5	0,757	7,640	3,070	5,410
1,0	0,662	0,330	1,000	0,001	9,0	0,759	8,180	3,110	5,910
1,5	0,692	0,790	1,500	0,009	9,5	0,760	8,610	3,140	6,390
2,0	0,706	1,260	1,968	0,100	10,0	0,761	9,080	3,170	6,830
2,5	0,716	1,730	2,150	0,330	11,0	0,764	10,110	3,230	7,750
3,0	0,723	2,230	2,330	0,660	12,0	0,766	11,070	3,290	8,780
3,5	0,729	2,730	2,470	1,020	13,0	0,768	12,100	3,330	9,650
4,0	0,733	3,200	2,570	1,410	14,0	0,771	13,120	3,380	10,600
4,5	0,737	3,710	2,650	1,810	15,0	0,772	14,010	3,430	11,580
5,0	0,741	4,200	2,730	2,230	16,0	0,774	15,000	3,480	12,680
5,5	0,744	4,670	2,790	2,650	17,0	0,774	16,000	3,520	13,640
6,0	0,746	5,160	2,850	3,140	18,0	0,777	19,960	3,540	14,450
6,5	0,749	5,690	2,900	3,570	19,0	0,778	17,940	3,580	15,380
7,0	0,751	6,120	2,950	4,030	20,0	0,780	18,930	3,620	16,420
7,5	0,753	6,620	3,000	4,530					



Obrázek 6.2-3 Změřená $I = F(U)$ - VA charakteristika pro Zenerovu diodu BXZ55C 3V0

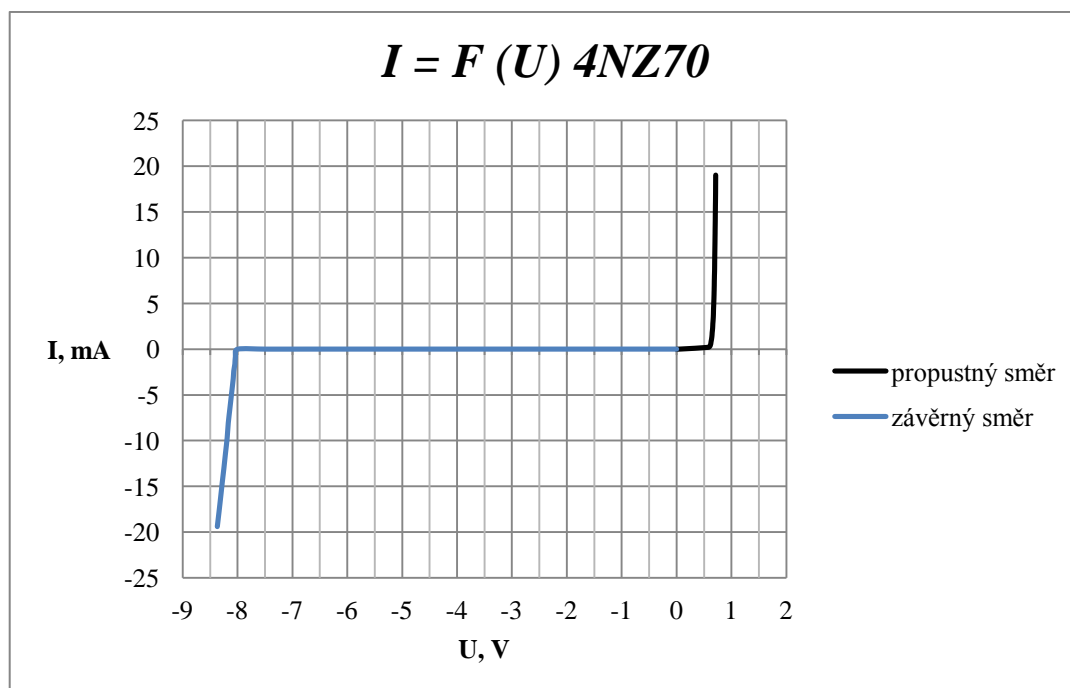


Obrázek 6.2-4 Výpočet Diferenciálního odporu Zenerovy diody BXZ55C 3V0

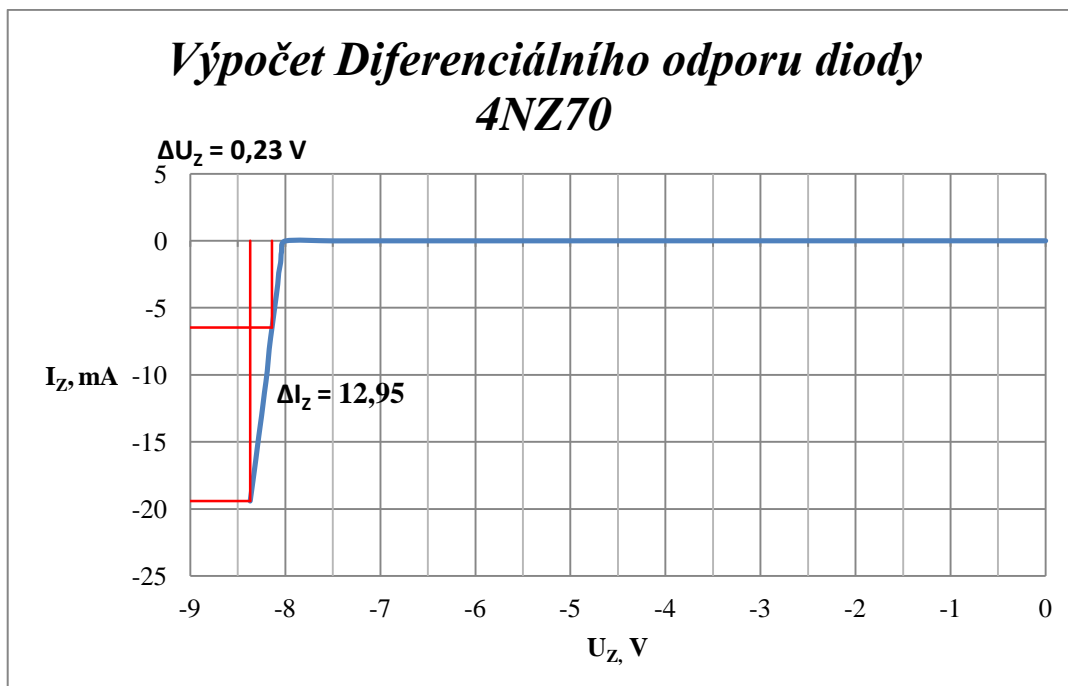
4NZ70

Tabulka 6.2-2 Naměřené a vypočítané hodnoty pro Zenerovu diodu 4NZ70

U_o [V]	U_F [V]	I_F [mA]	U_z [V]	I_z [mA]	U_o [V]	U_F [V]	I_F [mA]	U_z [V]	I_z [mA]
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	8,0	0,686	7,200	8,000	0,012
0,5	0,578	0,210	0,500	0,000	8,5	0,688	7,800	8,040	0,810
1,0	0,612	0,390	1,000	0,000	9,0	0,690	8,240	8,050	1,630
1,5	0,628	0,830	1,500	0,000	9,5	0,692	8,670	8,070	2,400
2,0	0,642	1,350	2,000	0,000	10,0	0,693	9,180	8,080	3,240
2,5	0,648	1,810	2,500	0,000	11,0	0,695	10,180	8,110	4,860
3,0	0,656	2,300	3,000	0,000	12,0	0,698	11,300	8,140	6,460
3,5	0,660	2,800	3,500	0,000	13,0	0,700	12,170	8,170	8,080
4,0	0,666	3,260	4,000	0,000	14,0	0,702	13,110	8,190	9,700
4,5	0,670	3,810	4,500	0,000	15,0	0,704	14,070	8,220	11,330
5,0	0,672	4,290	5,000	0,000	16,0	0,706	15,240	8,250	13,040
5,5	0,675	4,740	5,500	0,000	17,0	0,708	16,120	8,280	14,590
6,0	0,678	5,240	6,000	0,001	18,0	0,710	17,120	8,310	16,270
6,5	0,681	5,740	6,500	0,001	19,0	0,711	18,160	8,340	17,860
7,0	0,683	6,220	7,000	0,002	20,0	0,712	19,040	8,370	19,410
7,5	0,685	6,720	7,500	0,004					



Obrázek 6.2-5 Změřená $I = F(U)$ - VA charakteristika pro Zenerovu diodu 4NZ70



Obrázek 6.2-6 Výpočet Diferenciálního odporu Zenerovy diody 4NZ70

6.2.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Jak se chová Zenerova dioda v propustném a závěrném směru?

V propustném směru se Zenerova dioda chová obdobně jako normální křemíková spínací nebo usměrňovací dioda. Při tomto zapojení a napětí cca $U_F = 0,6$ V diodou začne stoupat proud v propustném směru I_F . Pro zabránění zničení diody je vždy potřeba do obvodu zařadit ochranný rezistor pro omezení proudu. Oproti běžným diodám mají Zenerovy diody menší závěrné napětí U_Z . Se zvětšujícím proudem I_Z se Zenerovo napětí U_Z nemění.

- b. Při jakém napětí u Zenerovy diody nastává Zenerův jev a lavinový jev?

U Zenerových diod rozlišujeme dva rozdílné fyzikální jevy. Rozdílné jevy jsou dány Zenerovým napětím U_Z . Pokud je Zenerovo napětí $U_Z < 5$ V dochází v diodě k tzv. Zenerovu jevu. Zenerův jev se projevuje tak, že vlivem elektrického pole dochází k vnitřní emisi elektronů. Pokud máme Zenerovu diodu, která má $U_Z > 6$ V, tak u takových to diod dochází k tzv. lavinovému jevu. Lavinový jev

má oproti Zenerovu jevu ostřejší zlom voltampérové charakteristiky v závěrném směru. Pokud máme Zenerovo napětí v rozsahu $5 \text{ V} < U_Z < 6 \text{ V}$, tak se jevy vzájemně překrývají.

- c. Kde se používají Zenerovy diody? Uveďte příklady.

Zenerova dioda se používá jako stabilizační prvek, stabilizátor napětí, omezovač napětí a ochrana přepětí.

6.2.5 ZÁVĚR

U této metody jsme zanedbali chybu, která vznikla při měření vlivem působení ampérmetru a voltmetru. U Zenerových diod lze rozeznat rozdílné fyzikální jevy Zenerův jev u diody *BXZ55C 3V0* a lavinový jev u diody *4NZ70*.

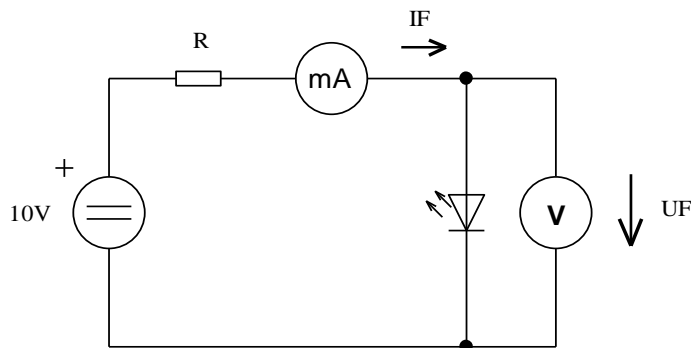
7 ŘEŠENÍ PRACOVNÍ ÚLOHY PRO PRACOVNÍŠTĚ 7

7.1 MĚŘENÍ VA CHARAKTERISTIK LED DIOD

7.1.1 ÚKOL

Změřte voltampérovou charakteristiku zadaných LED (Light Emitting Diode) diod (červená, zelená, žlutá a modrá). Charakteristiku změřte v propustném směru pro každou diodu. Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a znázorněte graf $I = F(U)$ - VA charakteristiku diod pro každou diodu a v závěrečném grafu pro všechny LED diody. Do grafu vyznačte prahové napětí U_P a určete jeho hodnotu. Prahové napětí U_P určete přibližně a to jako průsečík prodloužením lineární části VA charakteristiky a osy pro napětí U_F . V závěru mezi sebou jednotlivá měření porovnejte.

7.1.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 7.1-1 Zapojení pro měření charakteristiky LED diody v propustném směru

Legenda:

$R = 1 \text{ k}\Omega$

$U = 10 \text{ V}$

$D = \text{LED dle měření}$

7.1.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Výpočet ochranného rezistoru:

Pro výpočet ochranného rezistoru použijte následující výpočet. Hodnoty najdeme v katalogových listech. Diodami může protékat maximální proud $I_{F\ max} = 20\ \text{mA}$. Pro náš výpočet použijeme 1/2 hodnoty proudu.

$$R = \frac{U_0 - U_F}{0,5 I_F} = \frac{10 - 1,5}{0,01} = 850\ \Omega \quad (1)$$

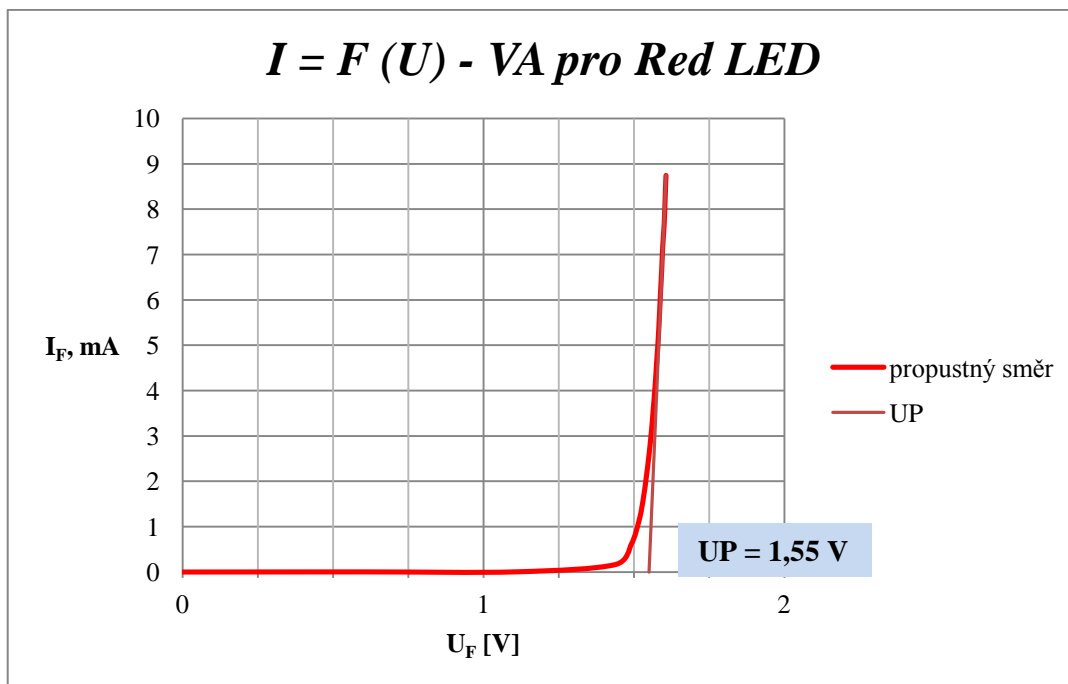
Použijeme nejbližší hodnotu:

$$R = 1000\ \Omega$$

Červená (Red) LED:

Tabulka 7.1-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro Red LED

U [V]	U_F [V]	I_F [mA]	U [V]	U_F [V]	I_F [mA]
0,0	0	0	5,5	1,571	4,119
0,5	0,606	0,003	6,0	1,576	4,631
1,0	1,109	0,004	6,5	1,581	5,122
1,5	1,439	0,165	7,0	1,585	5,631
2,0	1,492	0,617	7,5	1,589	6,186
2,5	1,519	1,178	8,0	1,593	6,701
3,0	1,532	1,636	8,5	1,596	7,168
3,5	1,542	2,118	9,0	1,601	7,677
4,0	1,551	2,616	9,5	1,604	8,211
4,5	1,559	3,137	10,0	1,607	8,746
5,0	1,565	3,618			

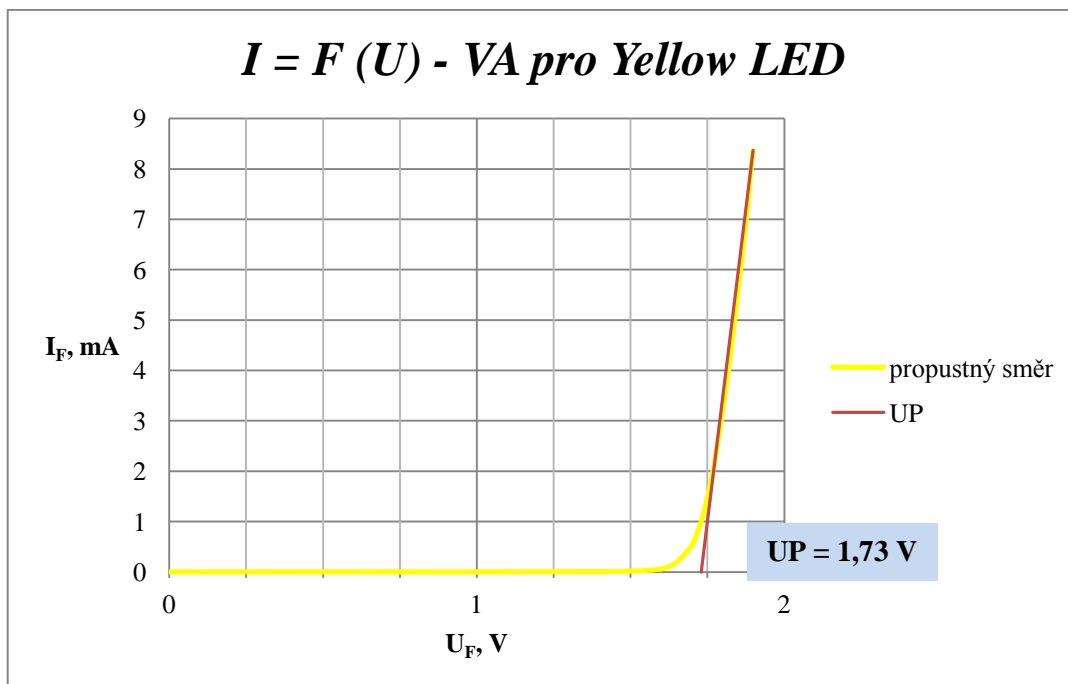


Obrázek 7.1-2 $I = F(U)$ – VA charakteristika pro Red LED

Žlutá (Yellow) LED:

Tabulka 7.1-2 Naměřené a vypočítané hodnoty pro Yellow LED

U [V]	U_F [V]	I_F [mA]	U [V]	U_F [V]	I_F [mA]
0,0	0	0	5,5	1,815	3,863
0,5	0,656	0,003	6,0	1,825	4,346
1,0	1,091	0,003	6,5	1,835	4,843
1,5	1,592	0,051	7,0	1,844	5,314
2,0	1,689	0,448	7,5	1,854	5,831
2,5	1,725	0,923	8,0	1,864	6,362
3,0	1,745	1,355	8,5	1,873	6,838
3,5	1,764	1,883	9,0	1,881	7,291
4,0	1,777	2,336	9,5	1,889	7,838
4,5	1,791	2,871	10,0	1,898	8,363
5,0	1,803	3,349			

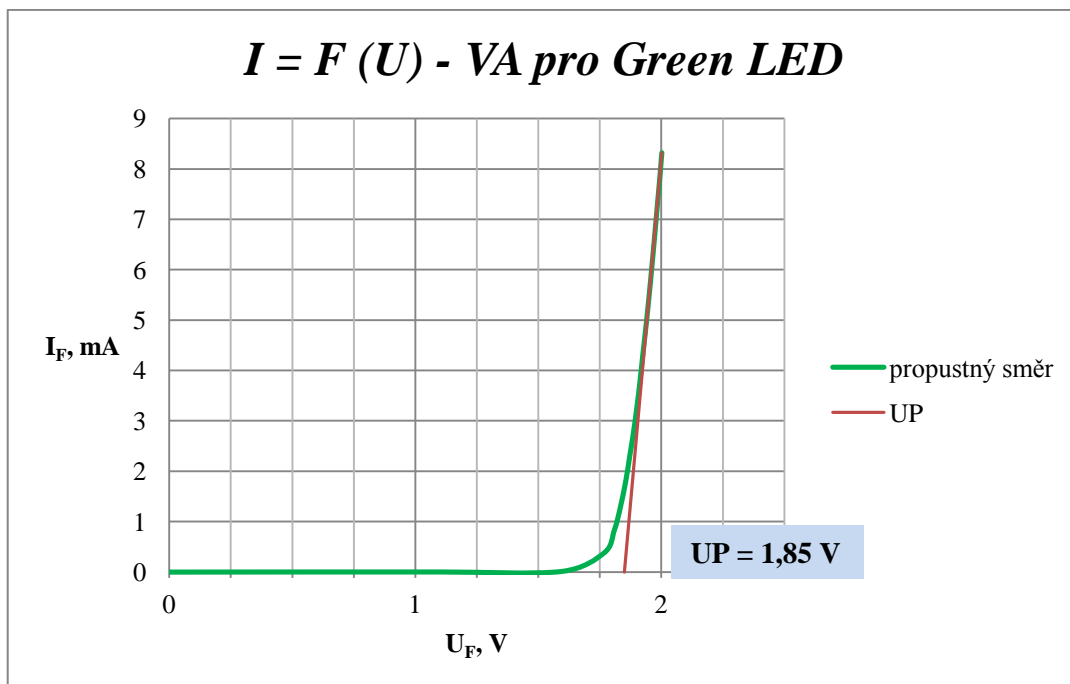


Obrázek 7.1-3 $I = F(U) - VA$ charakteristika pro Yellow LED

Zelená (Green) LED:

Tabulka 7.1-3 Naměřené a vypočítané hodnoty pro Green LED

U [V]	U_F [V]	I_F [mA]	U [V]	U_F [V]	I_F [mA]
0,0	0	0	5,5	1,913	3,771
0,5	0,602	0,003	6,0	1,924	4,275
1,0	1,102	0,003	6,5	1,936	4,805
1,5	1,593	0,012	7,0	1,946	5,272
2,0	1,767	0,379	7,5	1,956	5,771
2,5	1,809	0,833	8,0	1,966	6,297
3,0	1,833	1,275	8,5	1,976	6,844
3,5	1,856	1,822	9,0	1,985	7,341
4,0	1,871	2,285	9,5	1,994	7,833
4,5	1,887	2,775	10,0	2,002	8,319
5,0	1,901	3,285			

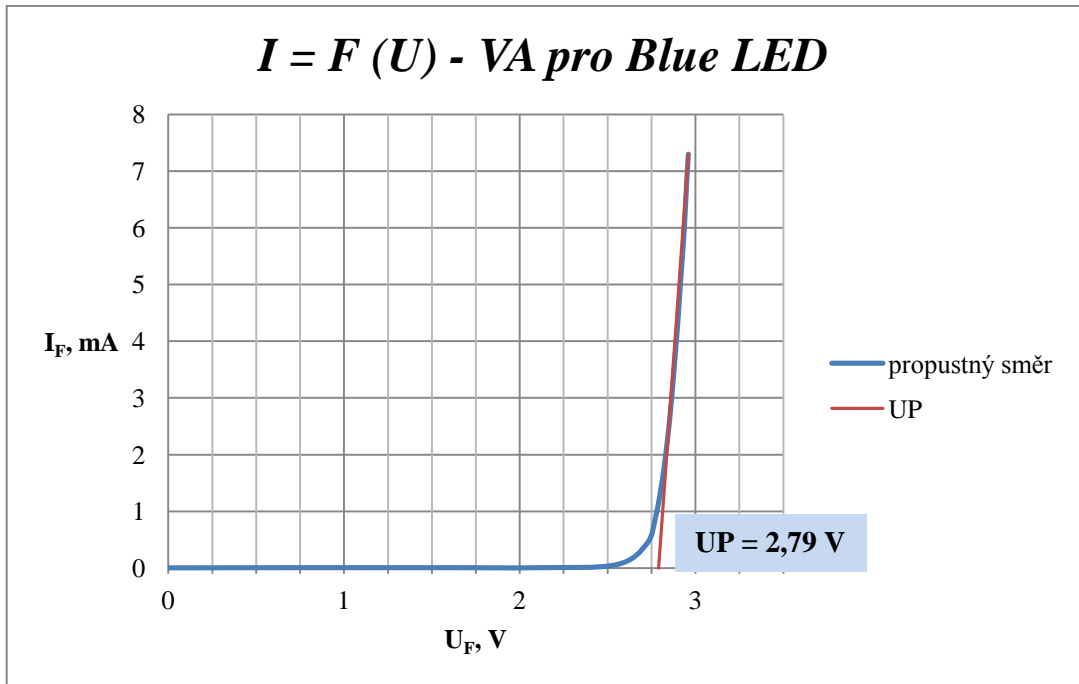


Obrázek 7.1-4 $I = F(U) - VA$ charakteristika pro Green LED

Modrá (Blue) LED:

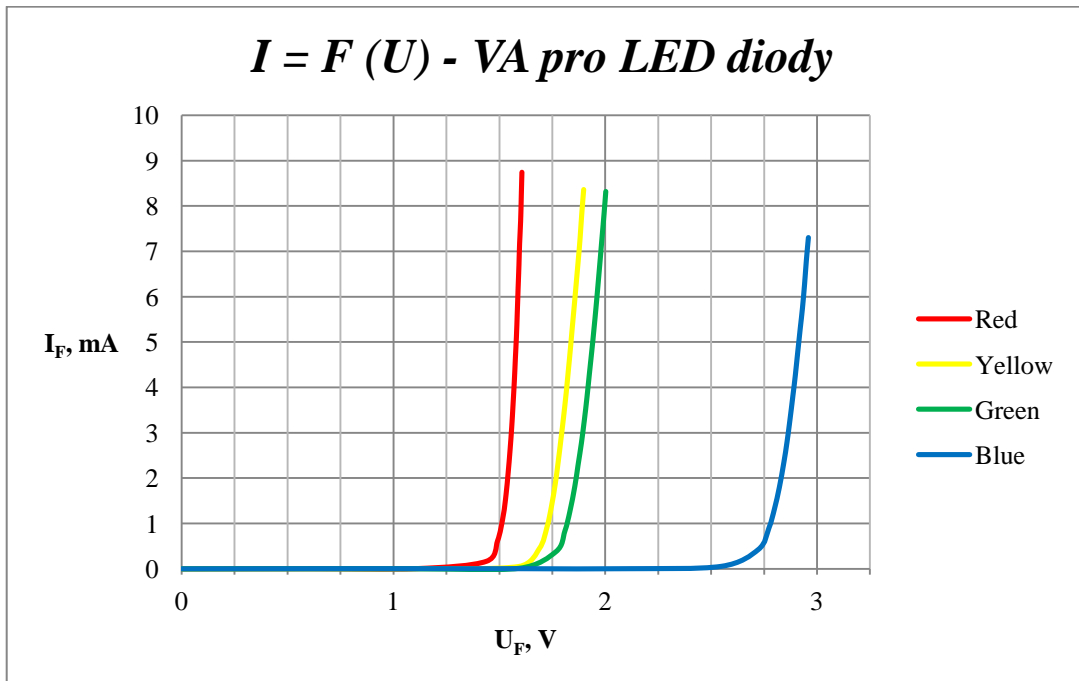
Tabulka 7.1-4 Naměřené a vypočítané hodnoty pro Blue LED

U [V]	U_F [V]	I_F [mA]	U [V]	U_F [V]	I_F [mA]
0,0	0	0	5,5	2,858	2,795
0,5	0,672	0,003	6,0	2,871	3,251
1,0	1,106	0,003	6,5	2,886	3,822
1,5	1,614	0,003	7,0	2,897	4,257
2,0	2,103	0,003	7,5	2,908	4,749
2,5	2,548	0,055	8,0	2,921	5,321
3,0	2,723	0,427	8,5	2,931	5,752
3,5	2,773	0,905	9,0	2,941	6,281
4,0	2,799	1,327	9,5	2,949	6,782
4,5	2,822	1,799	10,0	2,959	7,303
5,0	2,843	2,342			



Obrázek 7.1-5 $I = F(U) - VA$ charakteristika pro Blue LED

VA charakteristiky měřených LED diod:



Obrázek 7.1-6 $I = F(U) - VA$ charakteristiky měřených LED diod

Prahová napětí U_P jsou určena přibližně a to jako průsečík prodloužením lineární části VA charakteristiky a osy pro napětí U_F .

Prahová napětí U_P :

LED Red: $U_P = 1,55 \text{ V}$

LED Yellow: $U_P = 1,73 \text{ V}$

LED Green: $U_P = 1,85 \text{ V}$

LED Blue: $U_P = 2,79 \text{ V}$

7.1.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

a. Co je LED dioda?

LED dioda je polovodičová součástka, která obsahuje přechod P-N jako běžná dioda. Při průchodu proudem LED diodou v propustném směru, přechod vyzařuje nekoherentní světlo v určitém spektru. LED dioda svítí. LED diody jsou vyráběny ve spektrech od ultrafialového, přes viditelné až po infračervené. Spektrum LED diody závisí na chemickém složení použitého polovodiče.

b. Jak se chová LED dioda v propustném a závěrném směru?

LED dioda se v propustném směru chová stejně jako běžná dioda. Podle jejího složení a barvy má různá prahová napětí.

c. Jaké znáte rozdělení LED diod?

Základní dělení LED diod je podle vlnové délky:

- infračervená
- viditelné spektrum (červená, oranžová, žlutá, zelená, modrá a bílá)
- ultrafialová

Podle technologie výroby:

- klasické

- SMD
- blikající LED
- LED s ochranným rezistorem

7.1.5 ZÁVĚR

U této metody jsme zanedbali chybu měření, která vznikla vlivem působení ampérmetru a voltmetru. Na voltampérových charakteristikách je vidět rozdílnost prahových napětí U_P pro odlišná spektra vyzařování LED diod.

Prahová napětí U_P :

LED Red: $U_P = 1,55 \text{ V}$

LED Yellow: $U_P = 1,73 \text{ V}$

LED Green: $U_P = 1,85 \text{ V}$

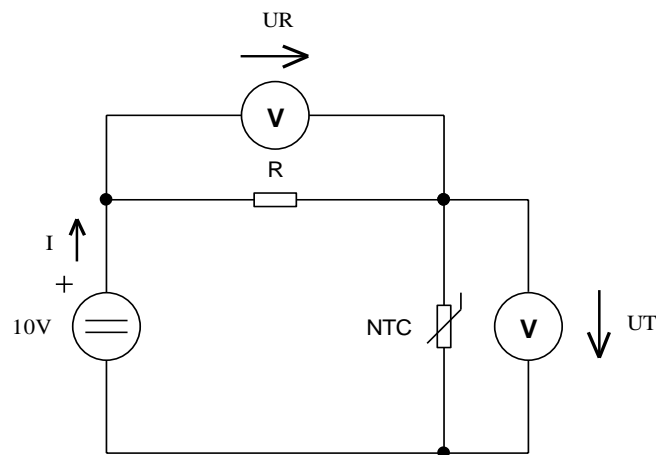
LED Blue: $U_P = 2,79 \text{ V}$

7.2 MĚŘENÍ VA CHARAKTERISTIKY NTC A PTC TERMISTORU

7.2.1 ÚKOL

Změřte voltampérovou charakteristiku zadaného NTC a PTC termistoru. Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a znázorněte graf $I = f(U)$ - VA charakteristiku termistoru. Do grafu zaznamenejte teplotu, při kterém proběhlo měření. V závěru mezi sebou jednotlivé termistory a jejich měření porovnejte.

7.2.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



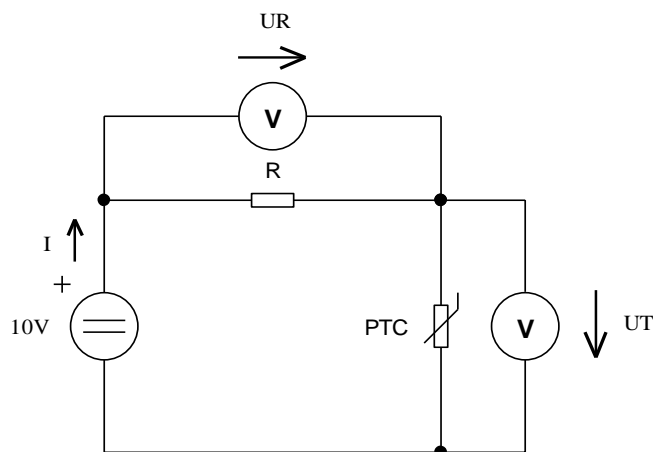
Obrázek 7.2-1 Zapojení pro měření VA charakteristiky NTC termistoru

Legenda:

$R = 200 \Omega$

$U = 10 \text{ V}$

NTC termistor



Obrázek 7.2-2 Zapojení pro měření VA charakteristiky PTC termistoru

Legenda:

$R = 2 \Omega$

$U = 10 \text{ V}$

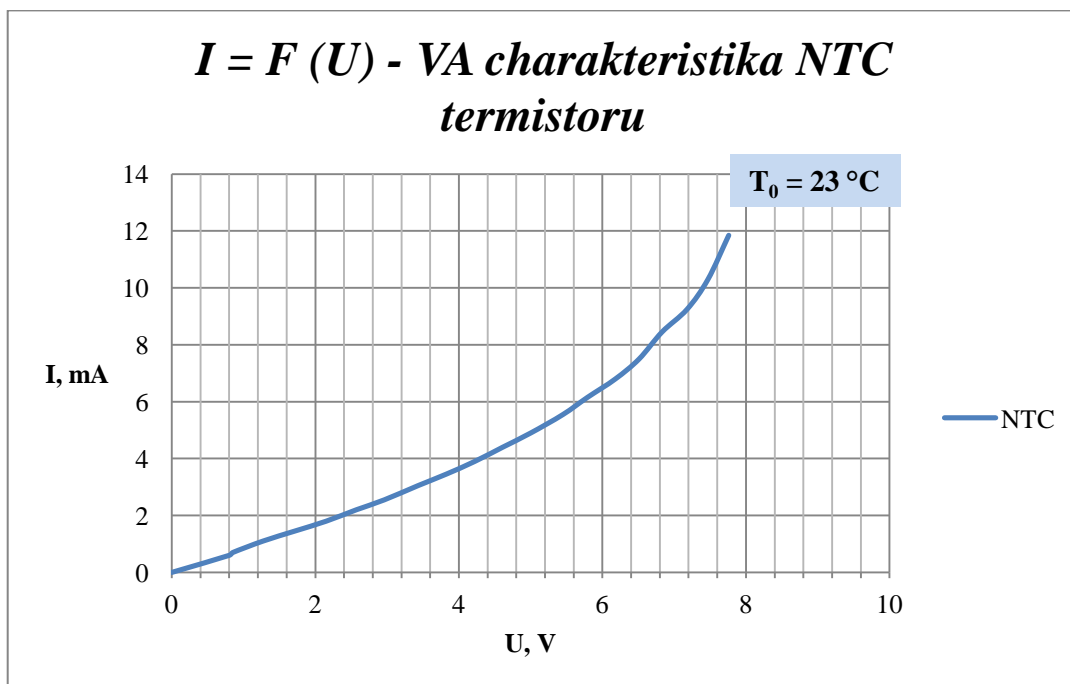
PTC termistor

7.2.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

NTC termistor:

Tabulka 7.2-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro NTC termistor

U [V]	U_{NTC} [V]	U_R [V]	I [mA]	U [V]	U_{NTC} [V]	U_R [V]	I [mA]
0,0	0,00	0,00	0,00	5,5	4,61	0,88	4,40
0,5	0,80	0,12	0,60	6,0	5,00	0,98	4,90
1,0	0,85	0,14	0,70	6,5	5,45	1,11	5,55
1,5	1,27	0,22	1,10	7,0	5,79	1,23	6,15
2,0	1,71	0,29	1,45	7,5	6,18	1,36	6,80
2,5	2,15	0,36	1,80	8,0	6,51	1,50	7,50
3,0	2,57	0,44	2,20	8,5	6,83	1,69	8,45
3,5	2,96	0,51	2,55	9,0	7,18	1,85	9,25
4,0	3,43	0,61	3,05	9,5	7,47	2,06	10,30
4,5	3,82	0,69	3,45	10,0	7,76	2,37	11,85
5,0	4,22	0,78	3,90				

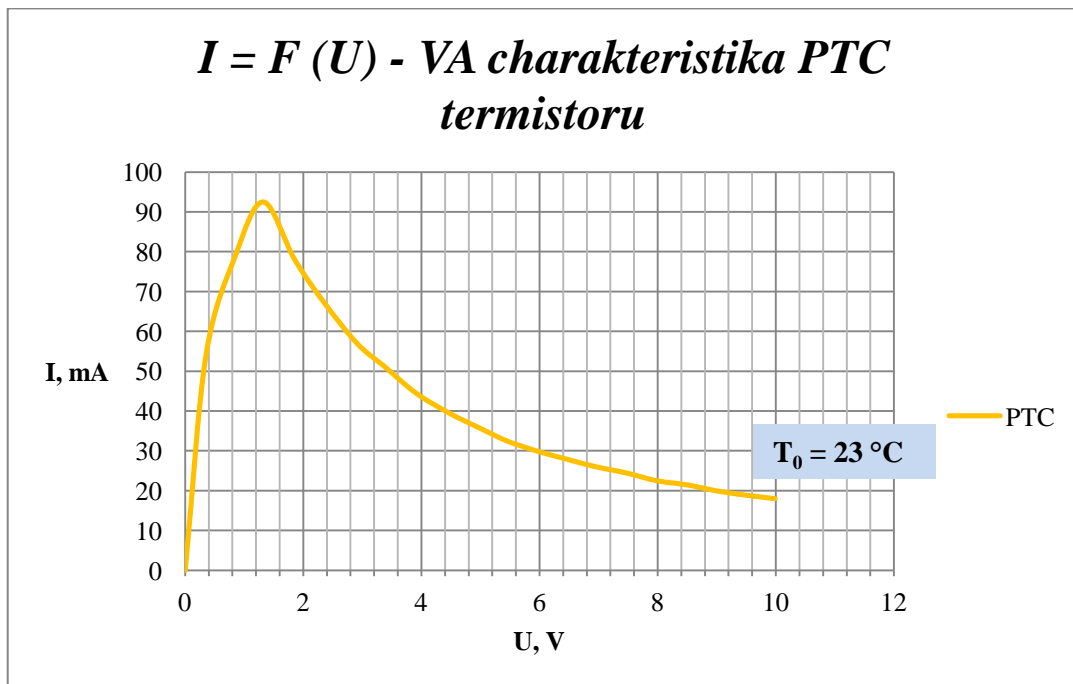


Obrázek 7.2-3 Změřená VA charakteristika $I = F(U)$ NTC termistoru

PTC termistor:

Tabulka 7.2-2 Naměřené a vypočítané hodnoty pro PTC termistor

U [V]	U_{PTC} [V]	U_R [V]	I [mA]	U [V]	U_{PTC} [V]	U_R [V]	I [mA]
0,0	0,00	0,00	0,00	5,5	5,45	0,07	32,50
0,5	0,35	0,11	54,00	6,0	5,95	0,06	30,00
1,0	0,85	0,16	79,00	6,5	6,44	0,06	28,00
1,5	1,32	0,19	92,50	7,0	6,96	0,05	26,00
2,0	1,86	0,16	78,00	7,5	7,46	0,05	24,50
2,5	2,34	0,14	67,50	8,0	7,99	0,05	22,50
3,0	2,91	0,11	57,00	8,5	8,49	0,04	21,50
3,5	3,39	0,10	51,00	9,0	8,99	0,04	20,00
4,0	3,91	0,09	44,50	9,5	9,44	0,04	19,00
4,5	4,47	0,08	39,50	10,0	9,99	0,04	18,00
5,0	4,95	0,07	36,00				



Obrázek 7.2-4 Změřená VA charakteristika $I = F(U)$ PTC termistoru

7.2.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Co je to termistor?

Termistor řadíme mezi polovodičové rezistory. Odpor termistorů můžeme ovlivňovat působením nějaké fyzikální veličiny např., tepla.

- b. Jak se mění odpor u termistoru NTC a PTC?

Termistor NTC (negastor) je teplotně závislý rezistor, který má záporný teplotní součinitel odporu, což odpovídá, že se zvyšující teplotou elektrický odpor se zmenšuje.

Termistor PTC (pozistor) je teplotně závislý rezistor, který má kladný teplotní koeficient odporu. PTC termistor má nelineární závislost odporu na teplotě. V úzkém rozmezí teplot má termistor PTC velký kladný teplotní součinitel odporu.

Odpor s rostoucí teplotou mírně klesá a po překročení Curieho bodu prudce stoupne.

c. Jaké použití mají termistory NTC a PTC?

NTC termistory se uplatňují jako kompenzační a měřicí termistory, pro rychlé měření změny teploty a jako rozběhové termistory. Naopak PTC termistory se uplatňují jako nadproudová ochrana obvodu, hladinová čidla a jako termostat.

7.2.5 ZÁVĚR

U této úlohy neměl velký vstupní odpor voltmetru vliv na naměřené hodnoty ($R_V = 10 \text{ M}\Omega$). Voltampérové charakteristiky byly změřeny pouze pro jednu teplotu okolí 23°C . Z naměřených charakteristik je možné určit, o jaký typ termistoru se jedná.

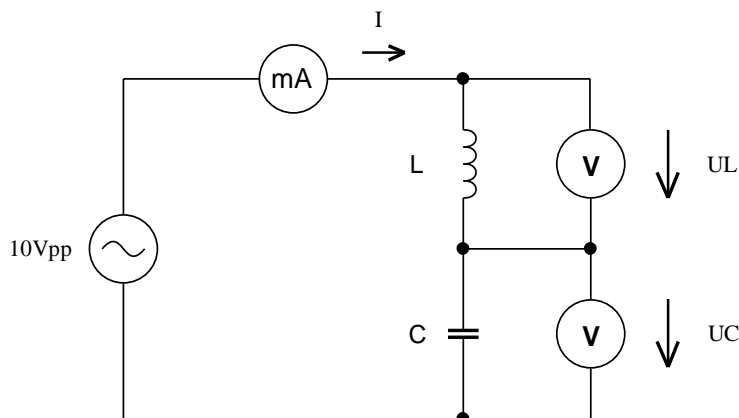
8 ŘEŠENÍ PRACOVNÍ ÚLOHY PRO PRACOVNÍŠTĚ 8

8.1 MĚŘENÍ REZONANČNÍ CHARAKTERISTIKY PRO SÉRIOVÝ LC OBVOD

8.1.1 ÚKOL

Pro sériový LC obvod, vypočítejte a změřte rezonanční kmitočet f_r . Měření, proveďte pomocí jednoho ampérmetru a dvou voltmetrů. Pro určení frekvenčního rozsahu měřených charakteristik, použijte vypočítaný rezonanční kmitočet a zaokrouhlete ho na celé desítkové číslo. Od tohoto výsledku zvolte deset hodnot pod a deset hodnot nad rezonančním kmitočtem s krokem ± 100 Hz. Naměřené hodnoty napětí a proudů zaznamenejte do tabulky. Výsledek porovnejte s výpočtem. Dále vypočítejte reaktanci a impedanci X_L , X_C , a Z . Znázorněte grafy $U_L = F(f)$, $U_C = F(f)$, $X_L = F(f)$, $X_C = F(f)$, $I = F(f)$ a $Z = F(f)$. V závěru mezi sebou porovnejte výpočty a měření.

8.1.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 8.1-1 Zapojení pro měření sériového LC obvodu

Legenda:

$$L = 100 \text{ mH}$$

$$C = 100 \text{ nF}$$

$$U = 10 \text{ Vpp}$$

8.1.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Výpočet rezonančního kmitočtu:

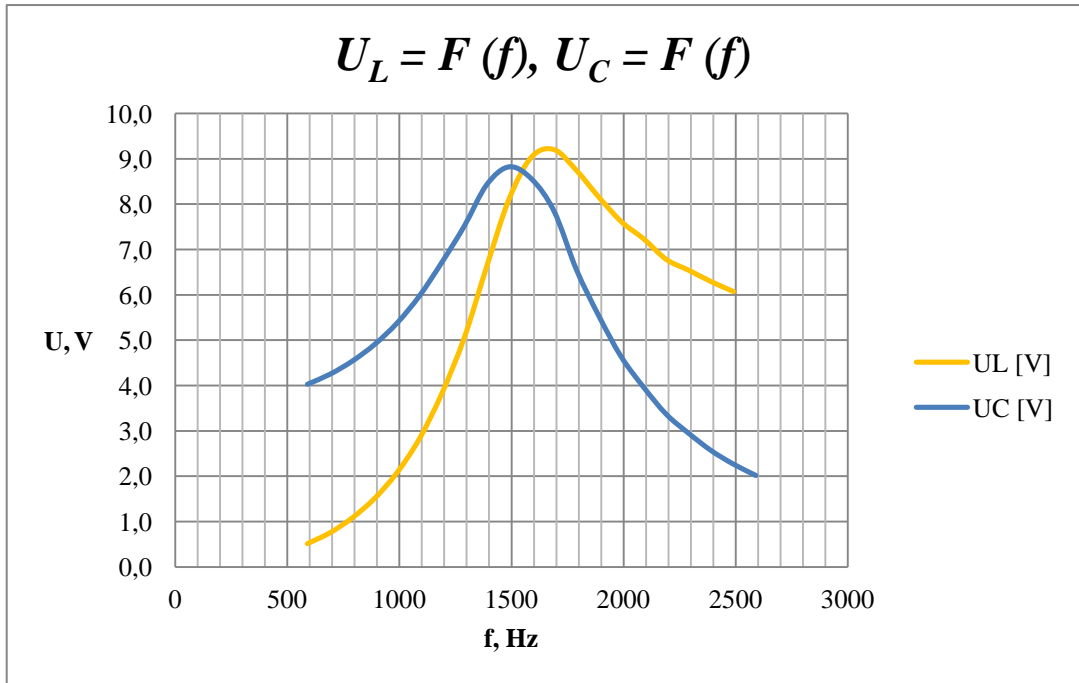
$$L = 100 \text{ mH}$$

$$C = 100 \text{ nF}$$

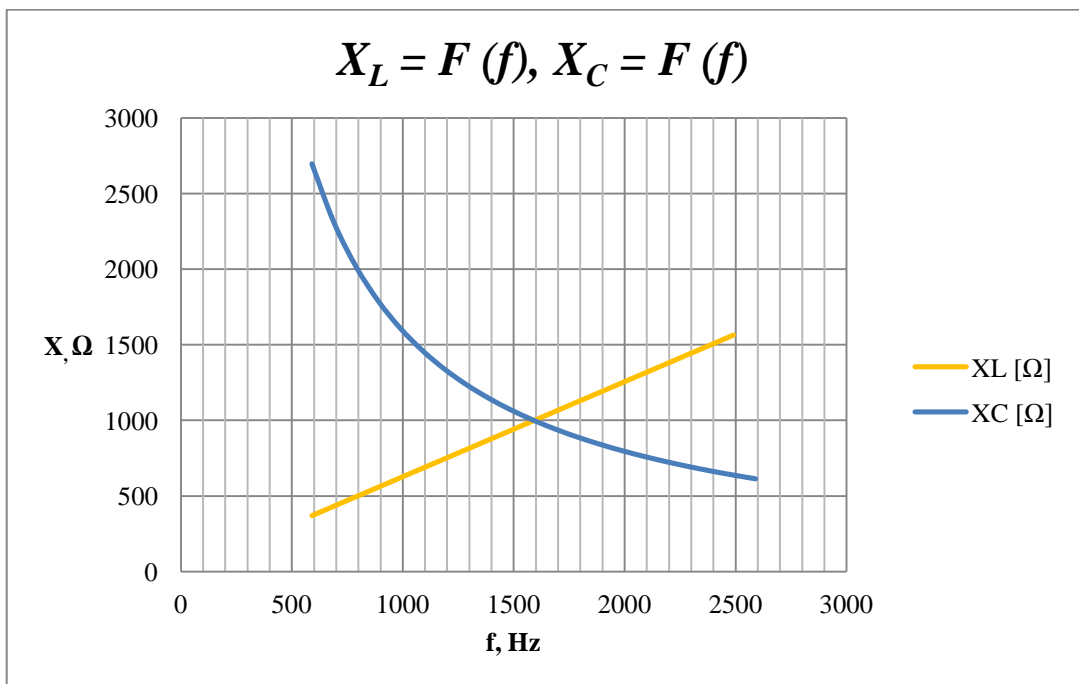
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 * 3,14 * \sqrt{0,1 * 0,0000001}} = 1592 \text{ Hz}$$

Tabulka 8.1-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro sériový LC obvod

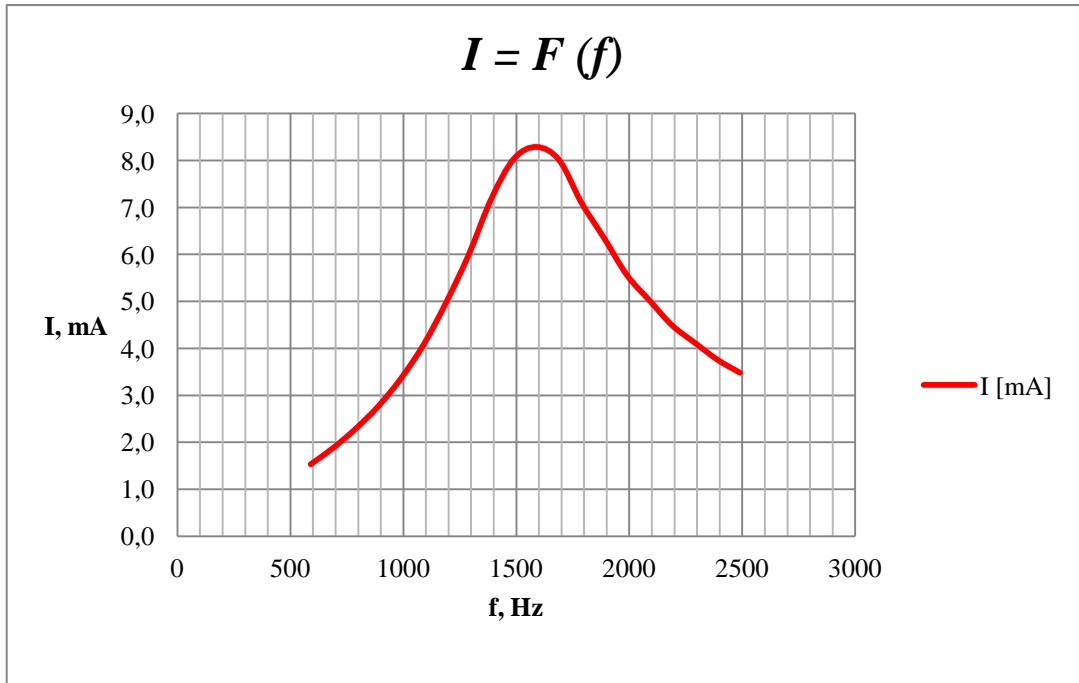
f [Hz]	U_L [V]	U_C [V]	I [mA]	X_L [Ω]	X_C [Ω]	Z [Ω]
590	0,510	4,030	1,530	370,708	2697,541	2329,791
690	0,750	4,250	1,880	433,540	2306,593	1876,727
790	1,080	4,540	2,290	496,372	2014,620	1522,777
890	1,510	4,910	2,770	559,203	1788,258	1234,645
990	2,080	5,380	3,360	622,035	1607,626	992,553
1090	2,830	5,980	4,080	684,867	1460,137	784,103
1190	3,830	6,720	4,980	747,699	1337,436	601,302
1290	5,060	7,520	6,000	810,531	1233,759	439,199
1390	6,630	8,430	7,190	873,363	1145,000	295,905
1490	8,120	8,820	8,040	936,195	1068,154	176,597
1590	9,040	8,550	8,290	999,026	1000,974	117,376
1690	9,200	7,840	8,010	1061,858	941,745	167,930
1790	8,740	6,550	7,090	1124,690	889,134	263,173
1890	8,150	5,530	6,340	1187,522	842,090	364,824
1990	7,610	4,630	5,560	1250,354	799,774	465,614
2090	7,230	3,960	5,020	1313,186	761,507	564,024
2190	6,780	3,370	4,490	1376,018	726,735	659,804
2290	6,540	2,950	4,120	1438,849	695,000	753,051
2390	6,290	2,570	3,760	1501,681	665,920	843,961
2490	6,070	2,270	3,480	1564,513	639,176	932,749
2590	5,900	2,020	3,240	1627,345	614,498	1019,624



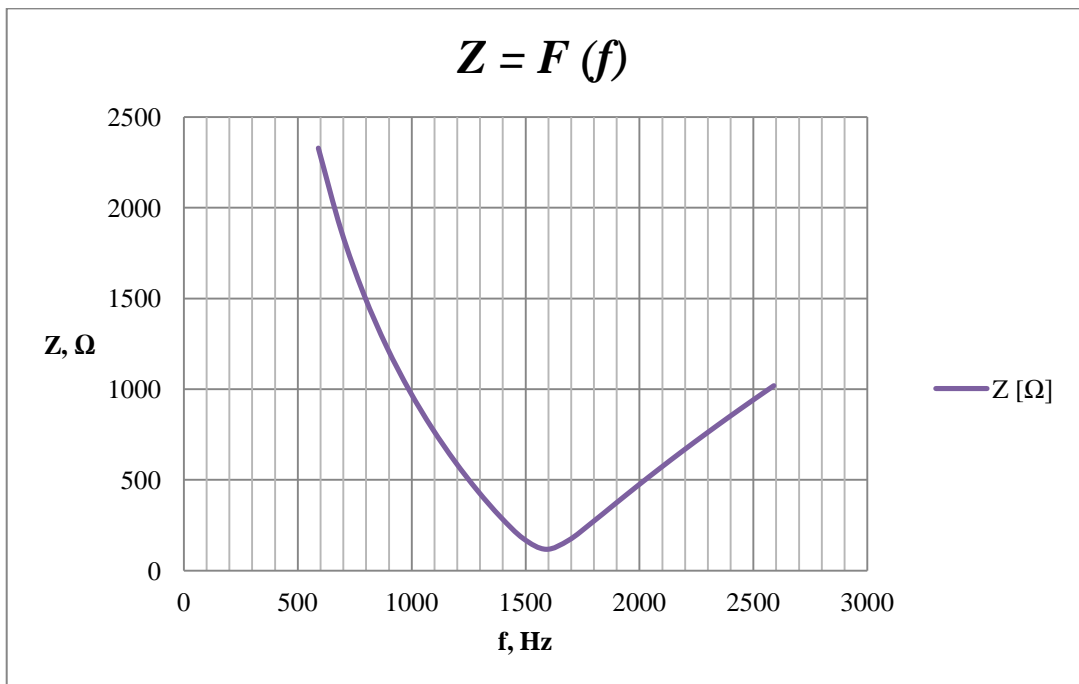
Obrázek 8.1-2 Naměřené hodnoty napětí $U_L = F(f)$, $U_C = F(f)$ pro sériový LC obvod



Obrázek 8.1-3 Vypočítané hodnoty reaktance $X_L = F(f)$, $X_C = F(f)$ pro sériový LC obvod



Obrázek 8.1-4 Naměřené hodnoty proudu $I = F(f)$ pro sériový LC obvod



Obrázek 8.1-5 Vypočítané hodnoty impedance $Z = F(f)$ pro sériový LC obvod

8.1.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Z jakých součástí se skládá sériový rezonanční obvod?

Rezonanční obvod je složený z cívky (indukčnost) a kondenzátoru (kapacita). U cívky se uplatňuje ohmický odpor, u kondenzátoru jeho svodový proud. Součástky jsou zapojeny do série.

- b. Odvoďte vztah pro rezonanční kmitočet sériového obvodu.

Pro rezonanční kmitočet platí:

$$X_L = X_C \Rightarrow \omega_r L = \frac{1}{\omega_r C} \Rightarrow \omega_r^2 = \frac{1}{LC} \Rightarrow 2\pi f_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (1)$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ [Hz; H, F]} \quad (2)$$

- c. Jaké vlastnosti má sériový rezonanční obvod?

Sériový rezonanční obvod má v rezonanci:

- nejmenší impedanci
- obvodem protéká největší proud
- pro ideální cívku a kondenzátor platí, že na cívce a kondenzátoru je poloviční napětí zdroje

8.1.5 ZÁVĚR

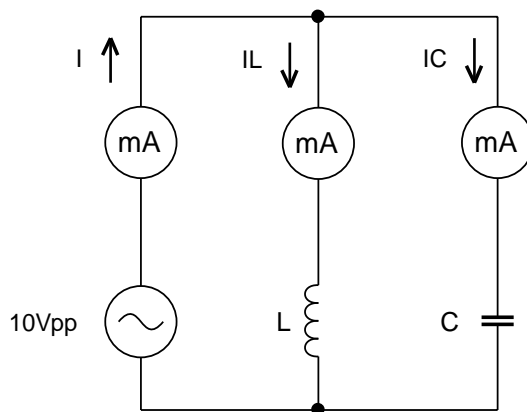
Pro kombinaci $L = 100 \text{ mH}$ a $C = 100 \text{ nF}$ byl vypočítán rezonanční kmitočet $f_r = 1592 \text{ Hz}$. Největší proud protékající obvodem byl naměřen $8,41 \text{ mA}$ na kmitočtu $f_r = 1585 \text{ Hz}$.

8.2 MĚŘENÍ REZONANČNÍ CHARAKTERISTIKY PRO PARALELNÍ LC OBVOD

8.2.1 ÚKOL

Pro paralelní LC obvod, vypočítejte a změřte rezonanční kmitočet f_r . Měření, proveďte pomocí tří ampérmetrů. Pro určení frekvenčního rozsahu měřených charakteristik, použijte vypočítaný rezonanční kmitočet a zaokrouhlete ho na celé desítkové číslo. Od tohoto výsledku zvolte deset hodnot pod a dvacet pět hodnot nad rezonančním kmitočtem s krokem ± 100 Hz. Naměřené hodnoty proudů zaznamenejte do tabulky. Pro změřený rezonanční kmitočet uveďte hodnoty proudů I_C a I_L . Výsledek porovnejte s výpočtem. Dále vypočítejte susceptanci, admitanci a impedanci B_L , B_C , Y a Z . Znázorněte grafy $I = F(f)$, $I_L = F(f)$, $I_C = F(f)$, $B_L = F(f)$, $B_C = F(f)$, $Y = F(f)$ a $Z = F(f)$. V závěru mezi sebou porovnejte výpočty a měření.

8.2.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 8.2-1 Zapojení pro měření paralelního LC obvodu

Legenda:

$L = 100$ mH

$C = 100$ nF

$U = 10$ Vpp

8.2.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Výpočet rezonančního kmitočtu:

$$L = 100 \text{ mH}$$

$$C = 100 \text{ nF}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{0,1 \cdot 0,0000001}} = 1592 \text{ Hz} \quad (1)$$

Naměřené hodnoty:

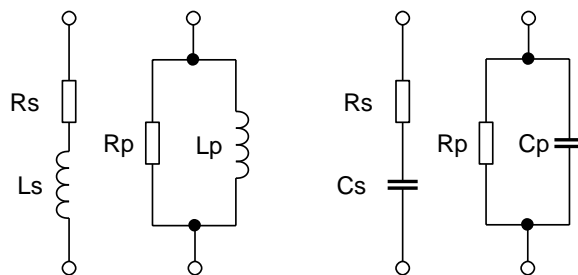
$$I_C = 3,22 \text{ mA}$$

$$I_L = 3,22 \text{ mA}$$

$$f_r = 1586 \text{ Hz}$$

Při výpočtu musíme brát ohled na přepočítání mezi sériovými a paralelními kombinacemi ztrátového ohmického odporu u cívky a reaktancí cívky pro každou měřenou frekvenci (duální obvody).

Tzv. duální obvody jsou obvody, které mají při stejné frekvenci stejnou impedanci, kde pro paralelní kombinaci platí vztahy (2 a 3):



Obrázek 8.2-2 Náhradní schéma pro kombinace duálních obvodů R , L a C

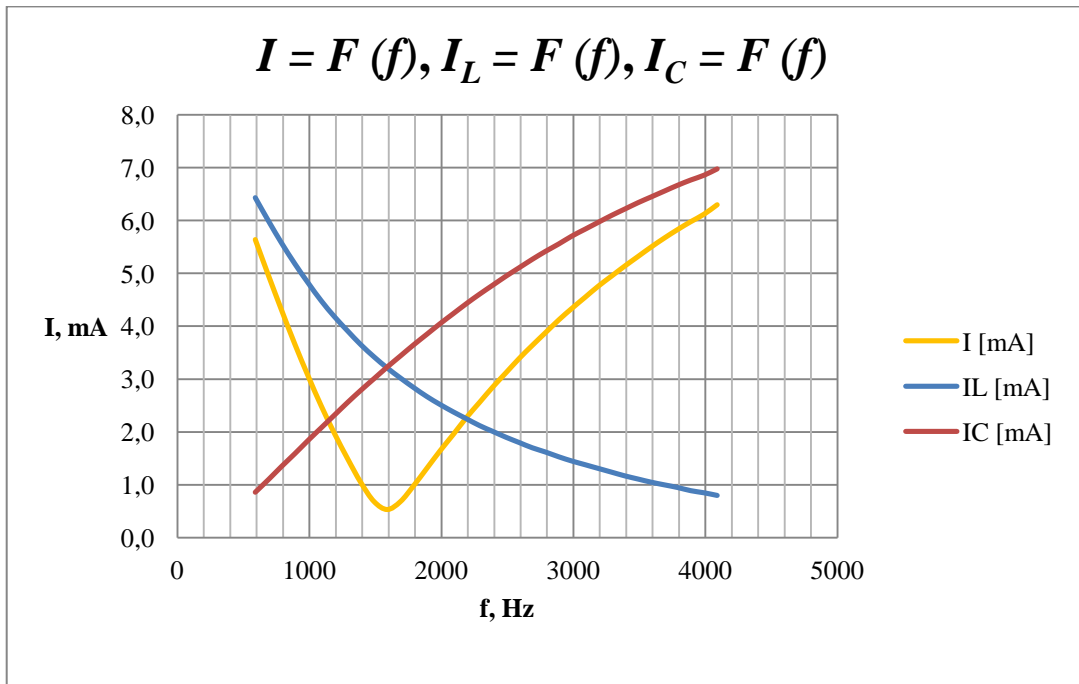
$$R_p = \frac{R_s^2 + X_s^2}{X_s} \quad [\Omega] \quad (2)$$

$$X_p = \frac{R_s^2 + X_L^2}{X_L} \quad [\Omega] \quad (3)$$

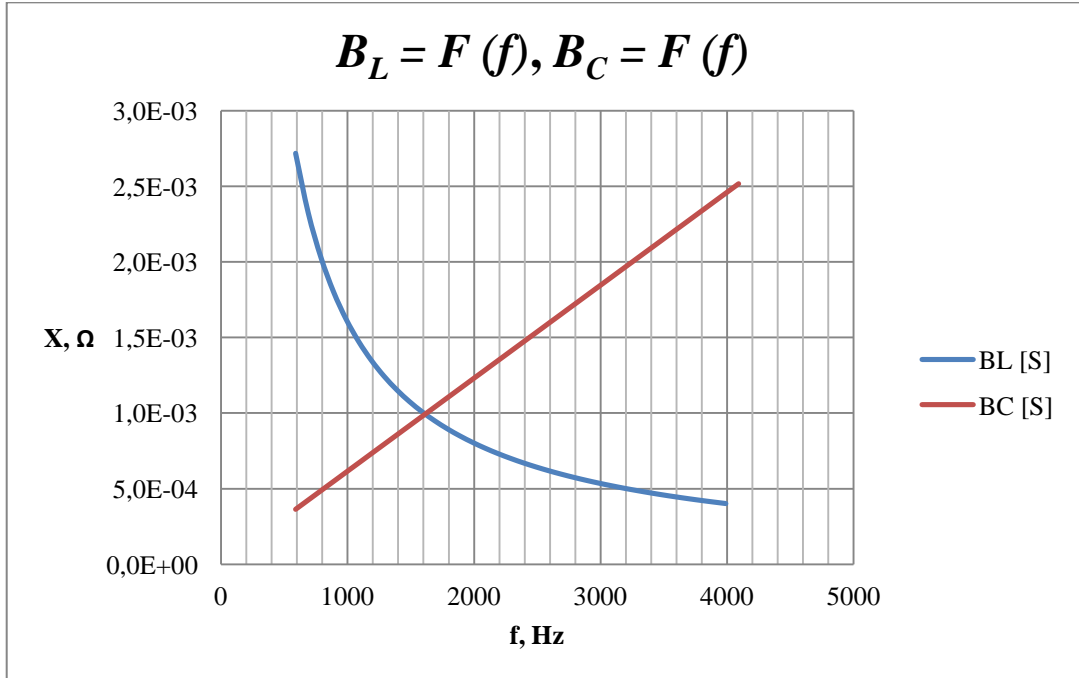
Při výpočtech uvažujeme ideální bezeztrátový kondenzátor.

Tabulka 8.2-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro paralelní LC obvod

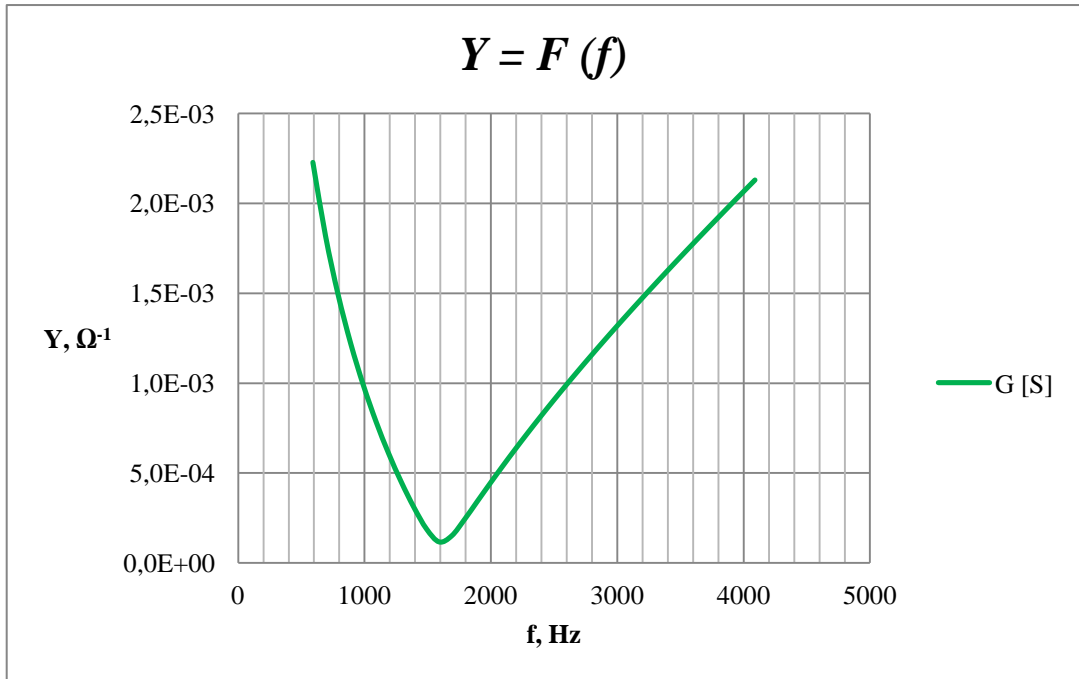
f [Hz]	I [mA]	I_L [mA]	I_C [mA]	G [S]	B_L [S]	B_C [S]	Y [S]	Z [Ω]
590	5,640	6,430	0,860	7,762E-04	2,452E-03	3,633E-04	2,228E-03	448,815
690	4,960	5,990	1,100	5,818E-04	2,149E-03	4,249E-04	1,820E-03	549,529
790	4,300	5,570	1,350	4,511E-04	1,908E-03	4,864E-04	1,491E-03	670,521
890	3,660	5,180	1,590	3,595E-04	1,713E-03	5,480E-04	1,219E-03	820,342
990	3,060	4,820	1,840	2,929E-04	1,552E-03	6,096E-04	9,872E-04	1012,946
1090	2,490	4,480	2,080	2,431E-04	1,418E-03	6,712E-04	7,859E-04	1272,505
1190	1,970	4,180	2,320	2,049E-04	1,305E-03	7,327E-04	6,081E-04	1644,502
1290	1,490	3,910	2,560	1,750E-04	1,208E-03	7,943E-04	4,496E-04	2224,434
1390	1,040	3,650	2,790	1,511E-04	1,125E-03	8,559E-04	3,084E-04	3242,858
1490	0,680	3,420	3,010	1,318E-04	1,052E-03	9,175E-04	1,881E-04	5316,634
1590	0,530	3,210	3,230	1,160E-04	9,873E-04	9,790E-04	1,163E-04	8599,563
1690	0,680	3,020	3,440	1,028E-04	9,304E-04	1,041E-03	1,508E-04	6633,322
1790	0,980	2,840	3,650	9,178E-05	8,796E-04	1,102E-03	2,408E-04	4152,555
1890	1,310	2,670	3,850	8,242E-05	8,339E-04	1,164E-03	3,400E-04	2941,452
1990	1,640	2,520	4,050	7,441E-05	7,928E-04	1,225E-03	4,389E-04	2278,364
2090	1,950	2,380	4,240	6,752E-05	7,555E-04	1,287E-03	5,357E-04	1866,644
2190	2,270	2,250	4,430	6,154E-05	7,215E-04	1,348E-03	6,300E-04	1587,244
2290	2,560	2,120	4,610	5,631E-05	6,904E-04	1,410E-03	7,219E-04	1385,299
2390	2,850	2,010	4,780	5,173E-05	6,619E-04	1,472E-03	8,114E-04	1232,407
2490	3,120	1,900	4,950	4,768E-05	6,356E-04	1,533E-03	8,989E-04	1112,485
2590	3,390	1,800	5,110	4,409E-05	6,113E-04	1,595E-03	9,845E-04	1015,778
2690	3,640	1,700	5,270	4,089E-05	5,888E-04	1,656E-03	1,068E-03	936,031
2790	3,880	1,620	5,420	3,802E-05	5,679E-04	1,718E-03	1,151E-03	869,056
2890	4,120	1,530	5,560	3,544E-05	5,484E-04	1,780E-03	1,232E-03	811,942
2990	4,340	1,450	5,710	3,312E-05	5,302E-04	1,841E-03	1,311E-03	762,604
3090	4,550	1,380	5,840	3,102E-05	5,132E-04	1,903E-03	1,390E-03	719,512
3190	4,760	1,310	5,970	2,911E-05	4,972E-04	1,964E-03	1,467E-03	681,512
3290	4,950	1,240	6,100	2,738E-05	4,822E-04	2,026E-03	1,544E-03	647,724
3390	5,140	1,170	6,220	2,579E-05	4,681E-04	2,087E-03	1,620E-03	617,458
3490	5,320	1,110	6,340	2,434E-05	4,547E-04	2,149E-03	1,694E-03	590,172
3590	5,500	1,050	6,450	2,300E-05	4,421E-04	2,211E-03	1,769E-03	565,429
3690	5,670	1,000	6,560	2,178E-05	4,302E-04	2,272E-03	1,842E-03	542,876
3790	5,830	0,950	6,670	2,065E-05	4,189E-04	2,334E-03	1,915E-03	522,222
3890	5,980	0,890	6,770	1,960E-05	4,082E-04	2,395E-03	1,987E-03	503,227
3990	6,120	0,850	6,860	1,863E-05	3,980E-04	2,457E-03	2,059E-03	485,691
4090	6,300	0,800	6,980	1,773E-05	3,883E-04	2,518E-03	2,130E-03	469,444



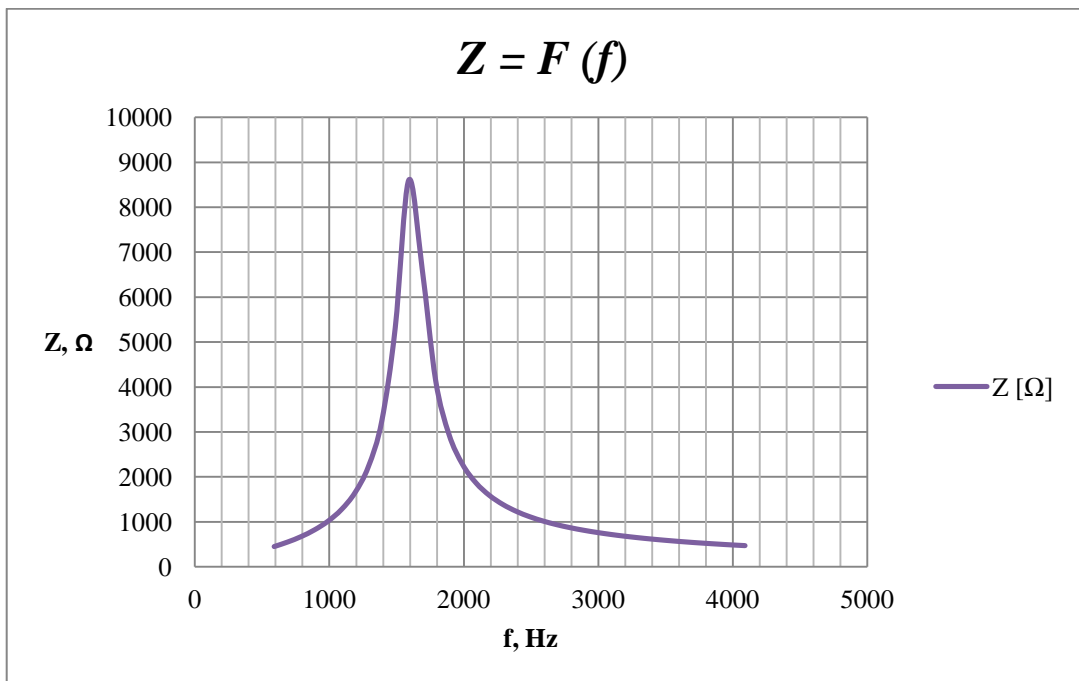
Obrázek 8.2-3 Naměřené hodnoty proudů $I = F(f)$, $I_L = F(f)$ a $I_C = F(f)$ pro paralelní LC obvod



Obrázek 8.2-4 Vypočítané hodnoty reaktance $B_L = F(f)$, $B_C = F(f)$ pro paralelní LC obvod



Obrázek 8.2-5 Vypočítané hodnoty Admittance $Y = F(f)$ pro paralelní LC obvod



Obrázek 8.2-6 Vypočítané hodnoty impedance $Z = F(f)$ pro paralelní LC obvod

8.2.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Z jakých prvků se skládá paralelní rezonanční obvod?

Rezonanční obvod je složený z cívky (indukčnost) a kondenzátoru (kapacita). U cívky se uplatňuje ohmický odpor, u kondenzátoru jeho svodový proud. Součástky jsou zapojeny paralelně.

- b. Odvoďte vztah pro rezonanční kmitočet paralelního obvodu?

Pro rezonanční kmitočet platí:

$$B_C - B_L = 0 \Rightarrow B_C = B_L \quad (2)$$

$$\omega_r C = \frac{1}{\omega_r L} \Rightarrow \omega_r^2 = \frac{1}{LC} \Rightarrow 2\pi f_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3)$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ [Hz; H, F]} \quad (4)$$

- c. Jaké vlastnosti má paralelní rezonanční obvod?

Paralelní rezonanční obvod má v rezonanci:

- největší impedanci a nejmenší admitanci
- obvodem protéká nejmenší proud
- pro ideální cívku a kondenzátor platí, že cívku a kondenzátorem protéká stejný proud

8.2.5 ZÁVĚR

Pro kombinaci $L = 100$ mH a $C = 100$ nF byl vypočítán rezonanční kmitočet $f_r = 1592$ Hz. Pro ideální paralelní rezonanční obvod platí $I_C = I_L$.

Naměřené hodnoty:

$$I_C = 3,22 \text{ mA}$$

$$I_L = 3,22 \text{ mA}$$

$$f_r = 1586 \text{ Hz}$$

U této metody jsme zanedbali chybu, která vznikla při měření vlivem působení ampérmetrů. Porovnáním naměřených a vypočítaných hodnot, charakteristiky pro paralelní obvod vyšly dle předpokladu.

9 ŘEŠENÍ PRACOVNÍ ÚLOHY PRO PRACOVIŠTĚ 9

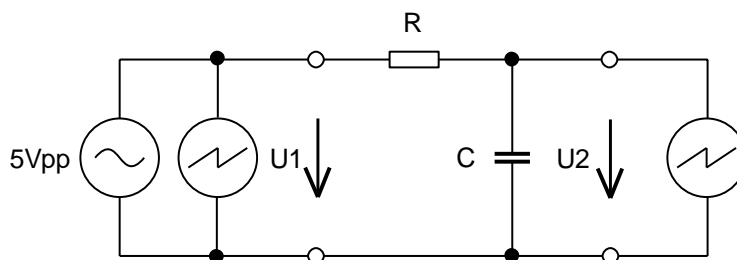
9.1 MĚŘENÍ NA RC ČLÁNKU – DOLNÍ PROPUST, INTEGRAČNÍ ČLÁNEK

9.1.1 ÚKOL

Pomocí generátoru se sinusovým průběhem, změřte pro RC článek (dolní propust) amplitudovou frekvenční charakteristiku a fázovou charakteristiku. Určete frekvenci zlomu (pokles U_2 o 3 dB). Podle vztahu (5, 7 a 10) ze zadání úlohy, vypočítejte hodnoty pro konstantu τ , zlomovou frekvenci f_Z a amplitudovou frekvenční charakteristiku A_{dB} . Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a znázorněte grafy $A_{dB} = F(f)$, $A_{dB_{vyp}} = F(f)$ a $\varphi = F(f)$. Z grafů určete frekvenci zlomu f_Z (-3 dB). V tabulce naměřených hodnot, označte červeně hodnoty, které jste použili pro výpočet. V závěru mezi sebou jednotlivá měření porovnejte.

Dále pomocí generátoru s obdélkovým průběhem a osciloskopu, zobrazte pro integrační RC článek vstupní a výstupní napětí pro hodnoty konstanty $\tau = RC$, $\tau = \frac{1}{2}\tau$ a $\tau = 2\tau$. Proveďte výpočet a měření pro $t = \tau = RC$. Průběhy z osciloskopu vložte do protokolu.

9.1.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 9.1-1 Zapojení pro měření frekvenční charakteristiky dolní propusti RC čláнку

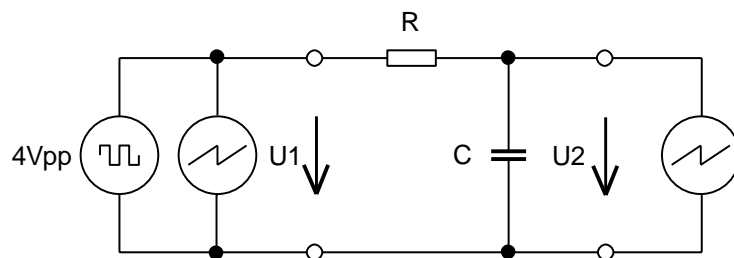
Legenda:

$R = 10 \text{ k}\Omega$

$C = 10 \text{ nF}$

$$U = 5 \text{ Vpp}$$

$f =$ dle tabulky typ Sine



Obrázek 9.1-2 Zapojení pro měření s konstantou τ integračního RC článku

Legenda:

$$R = 5 \text{ k}\Omega, 10 \text{ k}\Omega \text{ a } 20 \text{ k}\Omega$$

$$C = 10 \text{ nF}$$

$$U = 4 \text{ Vpp}$$

$$f = 1 \text{ kHz typ Square}$$

9.1.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Výpočet konstanty τ :

$$\tau = RC \quad [\text{s}; \Omega, \text{F}] \tag{1}$$

$$\tau = RC = 10000 * 0,00000001 = 0,0001 \text{ s} \tag{2}$$

$$\frac{1}{2}\tau = RC = 5000 * 0,00000001 = 0,00005 \text{ s} \tag{3}$$

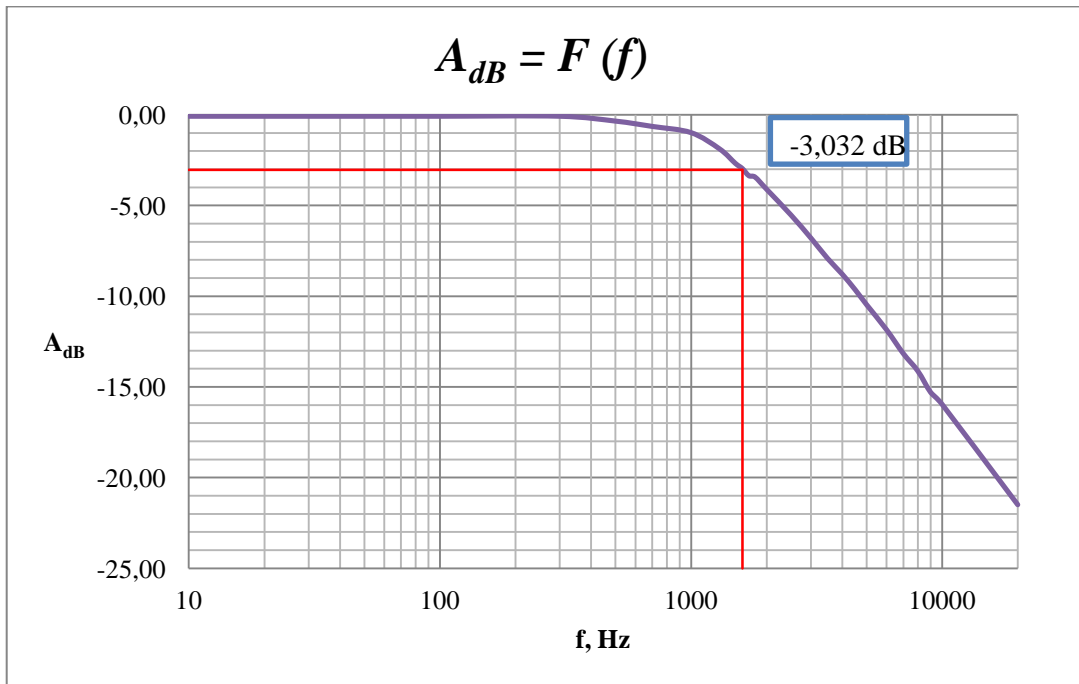
$$2\tau = RC = 20000 * 0,00000001 = 0,0002 \text{ s} \tag{4}$$

Výpočet mezního kmitočtu f_Z :

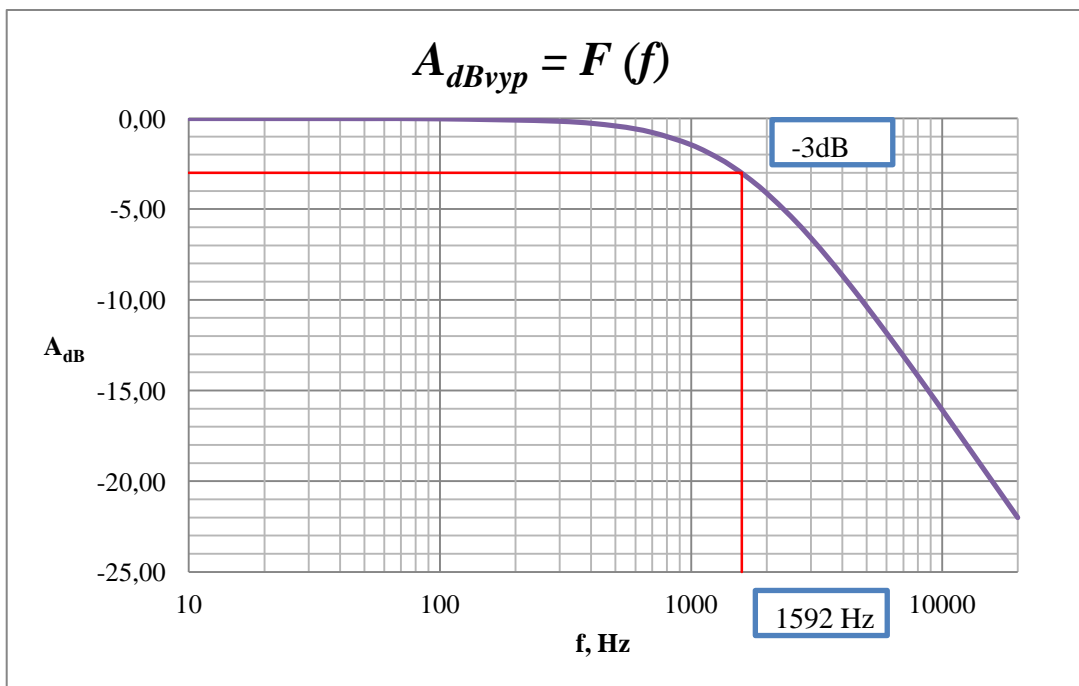
$$f_Z = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2*\pi*0,0001} = 1592 \text{ Hz} \quad (5)$$

Tabulka 9.1-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro RC článek dolní propust

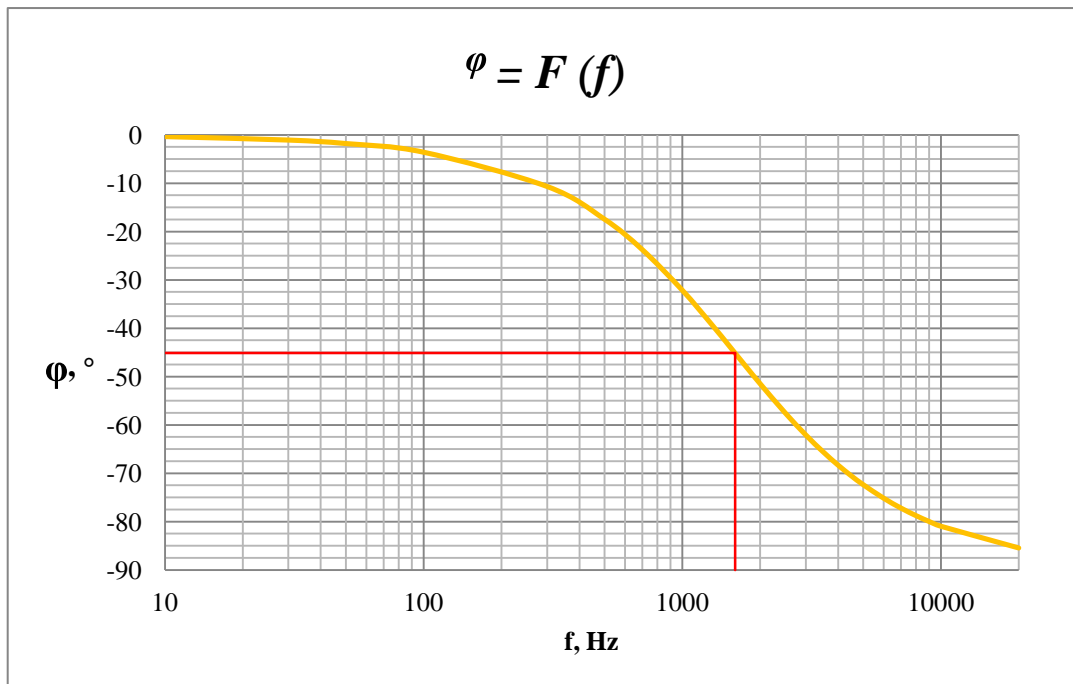
f [Hz]	U_1 [V]	U_2 [V]	U_2/U_1	A_{dB}	A_{dBvyp}	φ [°]
10	5,000	4,960	0,992	-0,070	0,000	-0,360
30	5,000	4,960	0,992	-0,070	-0,002	-1,080
50	5,000	4,960	0,992	-0,070	-0,004	-1,799
100	5,000	4,960	0,992	-0,070	-0,017	-3,594
300	5,000	4,960	0,992	-0,070	-0,152	-10,672
500	5,000	4,810	0,962	-0,336	-0,409	-17,436
700	5,000	4,650	0,930	-0,630	-0,768	-23,735
1000	5,000	4,470	0,894	-0,973	-1,444	-32,135
1300	5,000	4,030	0,806	-1,873	-2,219	-39,234
1500	5,000	3,680	0,736	-2,662	-2,759	-43,296
1600	5,000	3,560	0,712	-2,950	-3,032	-45,144
1700	5,000	3,400	0,680	-3,350	-3,305	-46,879
1800	5,000	3,370	0,674	-3,427	-3,576	-48,509
2000	5,000	3,120	0,624	-4,096	-4,113	-51,480
2500	5,000	2,650	0,530	-5,514	-5,398	-57,511
3000	5,000	2,290	0,458	-6,783	-6,581	-62,047
3500	5,000	2,010	0,402	-7,915	-7,659	-65,541
4000	5,000	1,820	0,364	-8,778	-8,641	-68,297
4500	5,000	1,650	0,330	-9,630	-9,538	-70,517
5000	5,000	1,500	0,300	-10,458	-10,360	-72,339
6000	5,000	1,280	0,256	-11,835	-11,820	-75,140
7000	5,000	1,100	0,220	-13,152	-13,082	-77,187
8000	5,000	0,984	0,197	-14,119	-14,192	-78,745
9000	5,000	0,859	0,172	-15,300	-15,180	-79,969
10000	5,000	0,796	0,159	-15,961	-16,070	-80,954
20000	5,000	0,421	0,084	-21,494	-22,009	-85,449



Obrázek 9.1-3 Změřená A_{dB} charakteristika RC článku



Obrázek 9.1-4 Vypočítaná A_{dB} charakteristika RC článku



Obrázek 9.1-5 Změřená fázová charakteristika RC článku

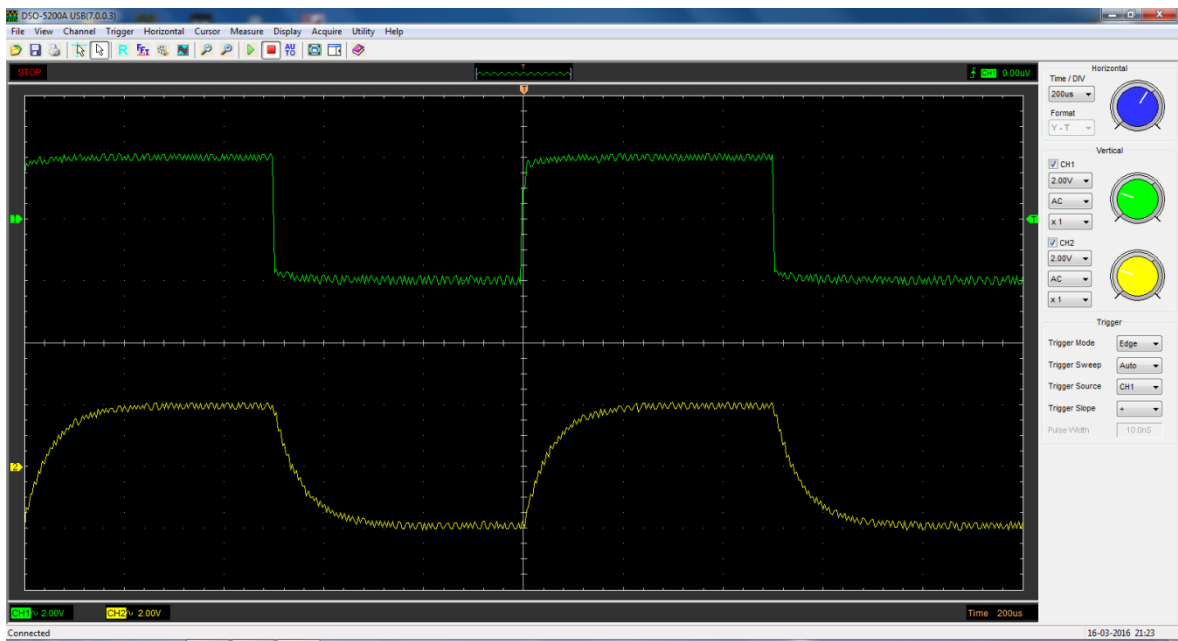
Výpočet napětí U_2 na integračním článku pro $t = \tau = RC$:

$$U_{2nab} = U_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = 4 \left(1 - e^{-\frac{0,0001}{0,0001}}\right) = 2,53 \text{ V} \quad (6)$$

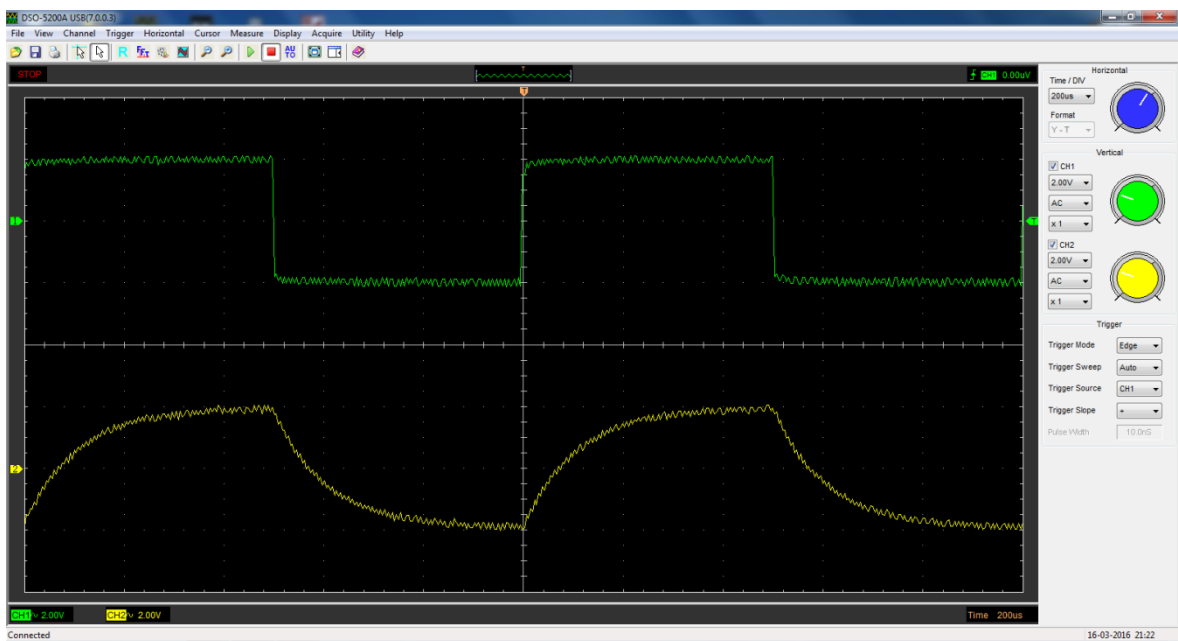
$$U_{2vyb} = U_1 e^{-\frac{t}{\tau}} = 4 e^{-\frac{0,0001}{0,0001}} = 1,47 \text{ V} \quad (7)$$

Tabulka 9.1-2 Naměřené a vypočítané hodnoty pro integrační RC článek

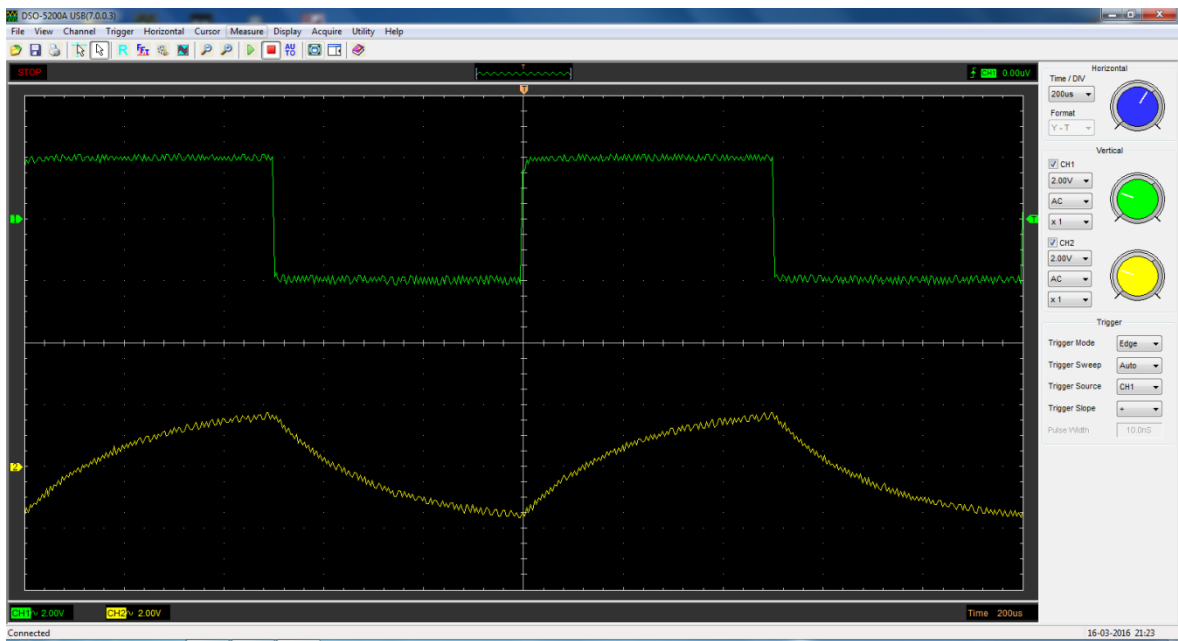
hodnoty	U_{2nab} [V]	U_{2vyb} [V]
vypočítané	2,530	1,470
změřené	2,516	1,472



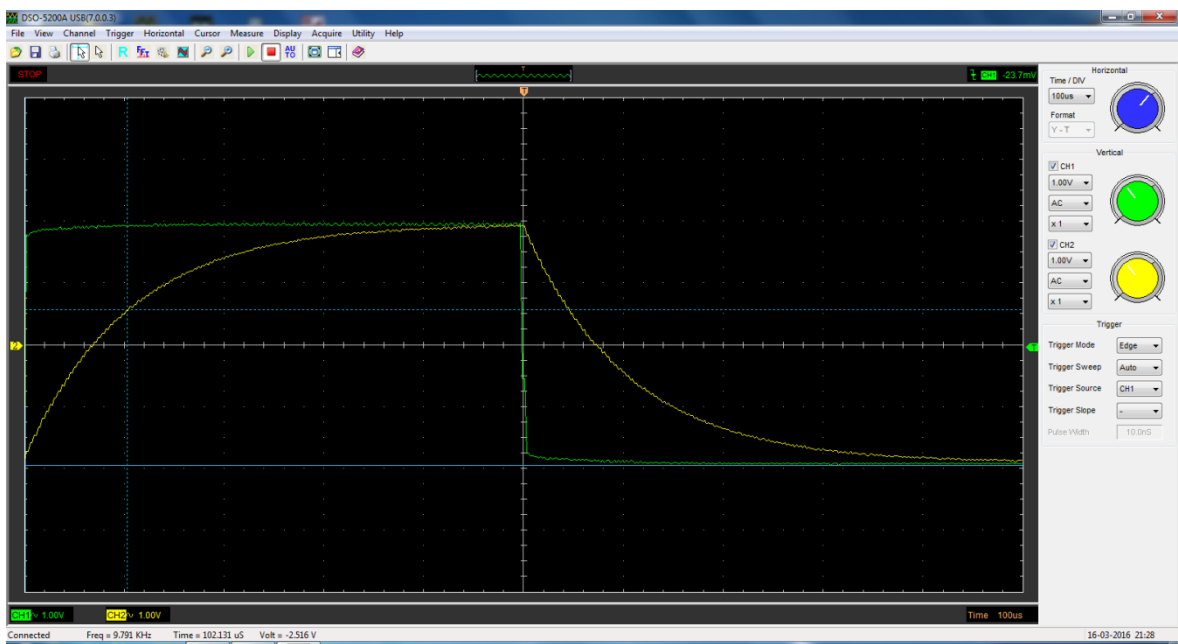
Obrázek 9.1-6 Zobrazení měření pro konstantu $\tau/2$



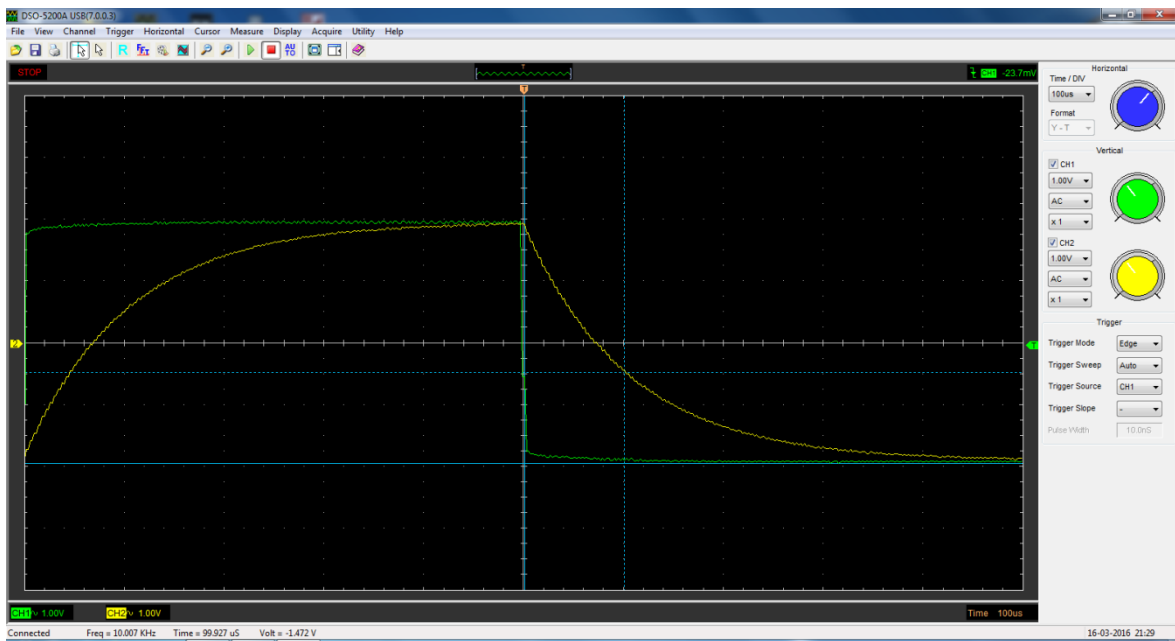
Obrázek 9.1-7 Zobrazení měření pro konstantu τ



Obrázek 9.1-8 Zobrazení měření pro konstantu 2τ



Obrázek 9.1-9 Zobrazení měření pro napětí U_{2nab}



Obrázek 9.1-10 Zobrazení měření pro napětí U_{2vyb}

9.1.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Jak se chová integrační RC článek v obvodu střídavého napětí a proudu?

Integrační RC článek pro periodický signál se chová jako dolní propust. Skládá se ze dvou pasivních součástek a jejich dvou vzájemných kombinací (rezistor, kondenzátor).

- b. Při jakém kmitočtu nastane rovnost napětí $U_R = U_C$?

Jedná se tzv. mezní kmitočet f_Z , který vypočítáme podle vztahu:

$$f_Z = \frac{1}{2\pi\tau} \quad [\text{Hz}; \text{s}] \quad (8)$$

- c. Kde se používají *RC* články? Uveďte příklady.

RC články se používají jako dolní propust v audio technice např. při oddělení nízkých kmitočtů do basového reproduktoru. Dále se používají v elektronických obvodech pro zpracování *nf* signálu např. propust k odfiltrování stejnosměrné složky popř. nízkofrekvenční složky od vysokofrekvenčního signálu.

9.1.5 ZÁVĚR

U této metody jsme si zopakovali měření na osciloskopu. Změřená amplitudově frekvenční charakteristika má do 300 Hz konstantní přenos A_{dB} oproti vypočítanému přenosu A_{dBvyp} . Rozdíl mohl být způsobený vnitřním odporem osciloskopu. Další menší rozdíly mezi měřením a výpočtem, mohly být způsobeny výpočtem, ve kterém byly použity nominální hodnoty použitých součástek.

Výpočet mezního kmitočtu: $f_Z = 1592$ Hz.

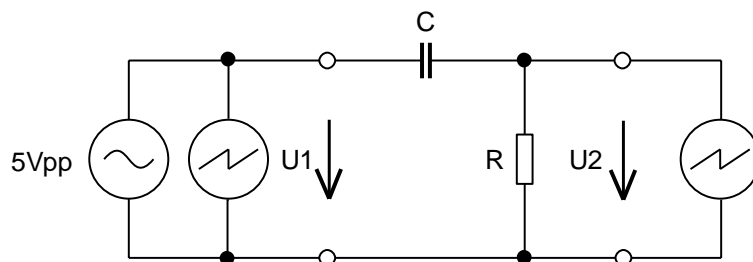
9.2 MĚŘENÍ NA CR ČLÁNKU – HORNÍ PROPUST, DERIVAČNÍ ČLÁNEK

9.2.1 ÚKOL

Pomocí generátoru se sinusovým průběhem, změřte pro CR článek (horní propust) amplitudovou frekvenční charakteristiku a fázovou charakteristiku. Určete frekvenci zlomu (pokles U_2 o 3 dB). Podle vztahu (5, 7 a 10) ze zadání úlohy, vypočítejte hodnoty pro konstantu τ , zlomovou frekvenci f_Z a amplitudovou frekvenční charakteristiku. Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a znázorněte grafy $A_{dB} = F(f)$, $A_{dBvyp} = F(f)$ a $\varphi = F(f)$. Z grafů určete frekvenci zlomu f_Z (-3 dB). V tabulce naměřených hodnot, označte červeně hodnoty, které jste použili pro výpočet. V závěru mezi sebou jednotlivá měření porovnejte.

Dále pomocí generátoru s obdélníkovým průběhem a osciloskopu, zobrazte pro derivační CR článek vstupní a výstupní napětí pro hodnoty konstanty $\tau = CR$, $\tau = \frac{1}{2}\tau$ a $\tau = 2\tau$. Proveďte výpočet a měření pro $t = \tau = CR$. Průběhy z osciloskopu vložte do protokolu.

9.2.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 9.2-1 Zapojení pro měření frekvenční charakteristiky horní propusti CR článku

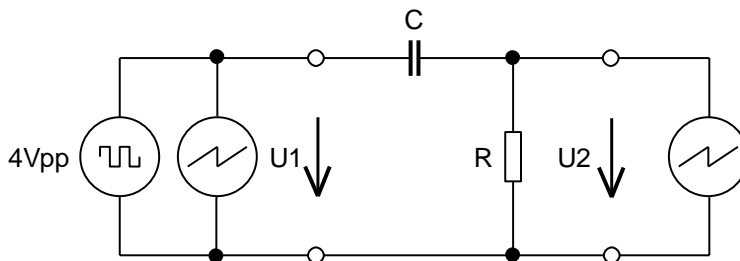
Legenda:

$R = 10 \text{ k}\Omega$

$C = 10 \text{ nF}$

$U = 5 \text{ Vpp}$

$f =$ dle tabulky Sine



Obrázek 9.2-2 Zapojení pro měření s konstantou τ derivačního CR článku

Legenda:

$R = 5 \text{ k}\Omega, 10 \text{ k}\Omega \text{ a } 20 \text{ k}\Omega$

$C = 10 \text{ nF}$

$U = 4 \text{ Vpp}$

$f = 1 \text{ kHz Square}$

9.2.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Výpočet konstanty τ :

$$\tau = RC \quad [\text{s}; \Omega, \text{F}] \tag{1}$$

$$\tau = RC = 10000 * 0,00000001 = 0,0001 \text{ s} \tag{2}$$

$$\frac{1}{2}\tau = RC = 5000 * 0,00000001 = 0,00005 \text{ s} \tag{3}$$

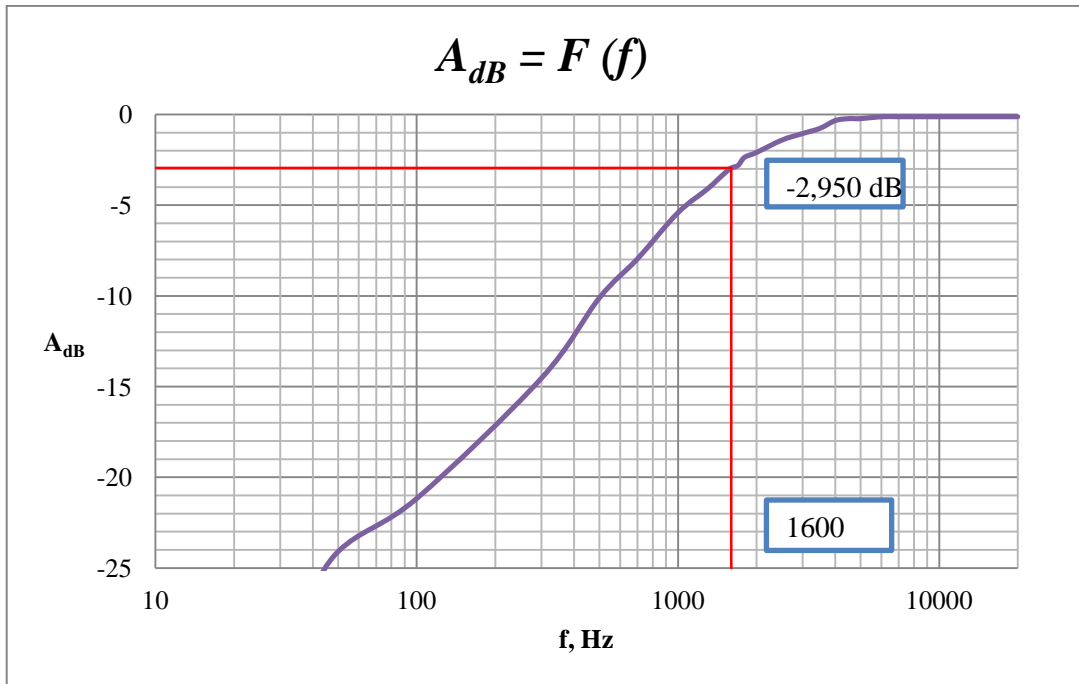
$$2\tau = RC = 20000 * 0,00000001 = 0,0002 \text{ s} \tag{4}$$

Výpočet mezního kmitočtu f_Z :

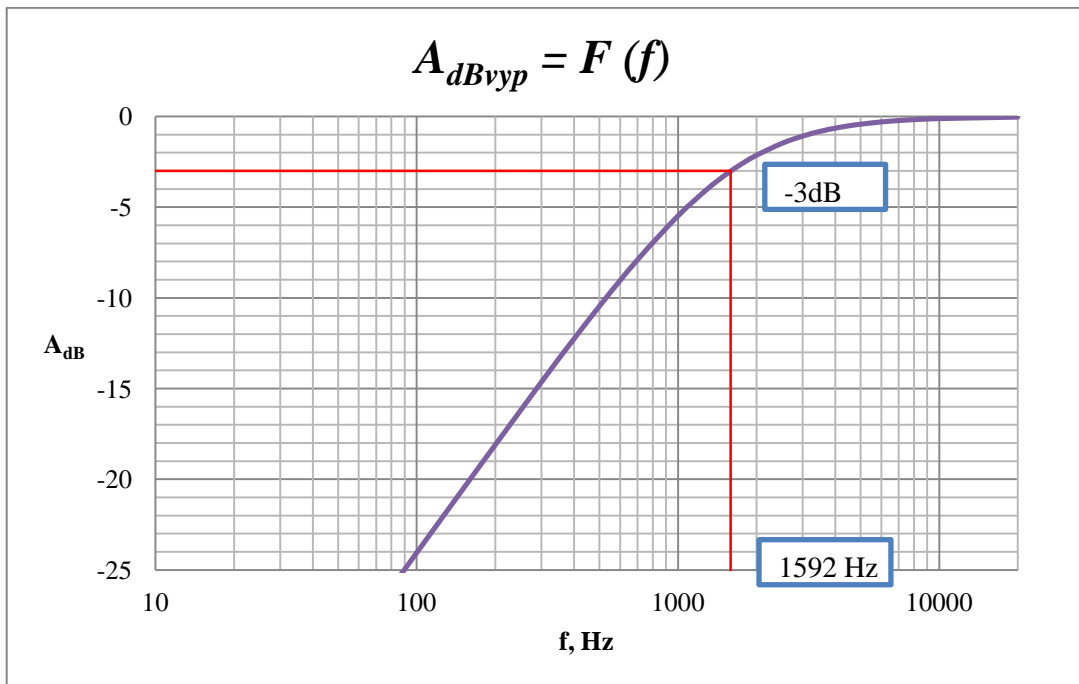
$$f_Z = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2*\pi*0,0001} = 1592 \text{ Hz} \tag{5}$$

Tabulka 9.2-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro CR článěk horní propust

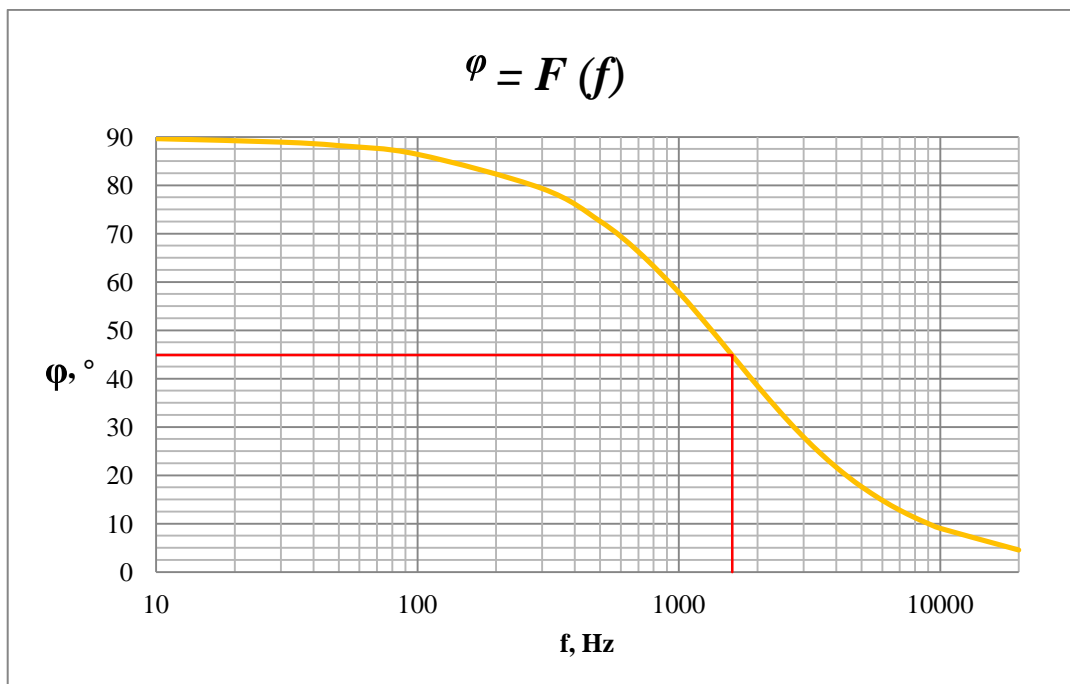
f [Hz]	U_1 [V]	U_2 [V]	U_2/U_1	A_{dB}	A_{dBvyp}	φ [°]
10	5,000	0,125	0,025	-32,041	-44,039	89,640
30	5,000	0,187	0,037	-28,543	-34,498	88,920
50	5,000	0,312	0,062	-24,096	-30,064	88,201
100	5,000	0,437	0,087	-21,170	-24,056	86,406
300	5,000	0,937	0,187	-14,545	-14,648	79,328
500	5,000	1,560	0,312	-10,117	-10,468	72,564
700	5,000	2,000	0,400	-7,959	-7,905	66,265
1000	5,000	2,680	0,536	-5,417	-5,483	57,865
1300	5,000	3,120	0,624	-4,096	-3,979	50,766
1500	5,000	3,430	0,686	-3,274	-3,277	46,704
1600	5,000	3,560	0,712	-2,950	-2,989	44,856
1700	5,000	3,620	0,724	-2,805	-2,735	43,121
1800	5,000	3,810	0,762	-2,361	-2,510	41,491
2000	5,000	3,930	0,786	-2,092	-2,131	38,520
2500	5,000	4,250	0,850	-1,412	-1,478	32,489
3000	5,000	4,430	0,886	-1,051	-1,078	27,953
3500	5,000	4,580	0,916	-0,762	-0,817	24,459
4000	5,000	4,810	0,962	-0,336	-0,639	21,703
4500	5,000	4,870	0,974	-0,229	-0,512	19,483
5000	5,000	4,870	0,974	-0,229	-0,419	17,661
6000	5,000	4,930	0,986	-0,122	-0,295	14,860
7000	5,000	4,930	0,986	-0,122	-0,219	12,813
8000	5,000	4,930	0,986	-0,122	-0,169	11,255
9000	5,000	4,930	0,986	-0,122	-0,134	10,031
10000	5,000	4,930	0,986	-0,122	-0,109	9,046
20000	5,000	4,930	0,986	-0,122	-0,027	4,551



Obrázek 9.2-3 Změřená A_{dB} charakteristika CR článku



Obrázek 9.2-4 Vypočítaná A_{dB} charakteristika CR článku



Obrázek 9.2-5 Změřená fázová charakteristika CR článku

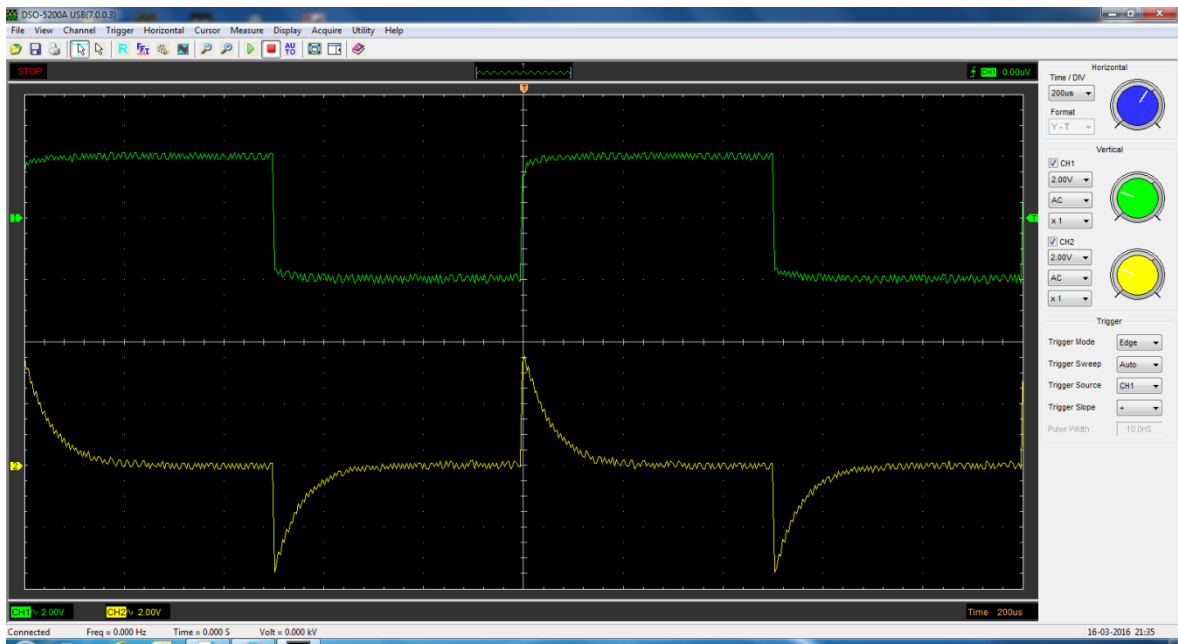
Výpočet napětí U_2 na derivačním článku pro $t = \tau = CR$:

$$U_{2nab} = U_1 e^{-\frac{t}{\tau}} = 4 e^{-\frac{0,0001}{0,0001}} = 1,47 \text{ V} \quad (6)$$

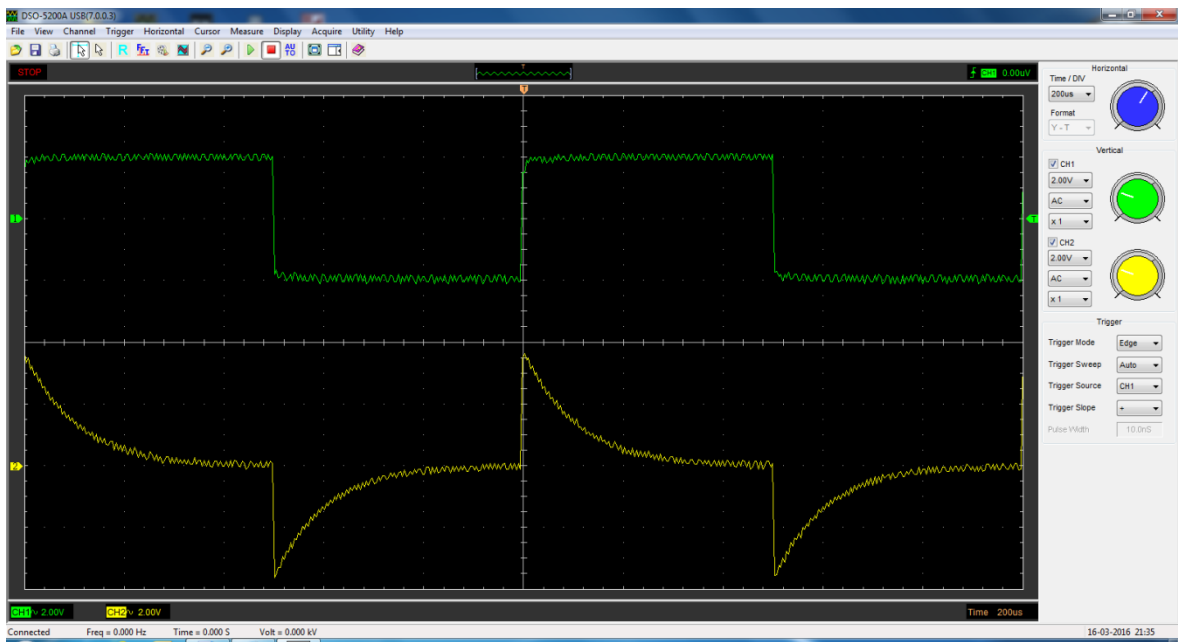
$$U_{2vyb} = -U_1 e^{-\frac{t}{\tau}} = 4 e^{-\frac{0,0001}{0,0001}} = -1,47 \text{ V} \quad (7)$$

Tabulka 9.2-2 Naměřené a vypočítané hodnoty pro derivační CR článek

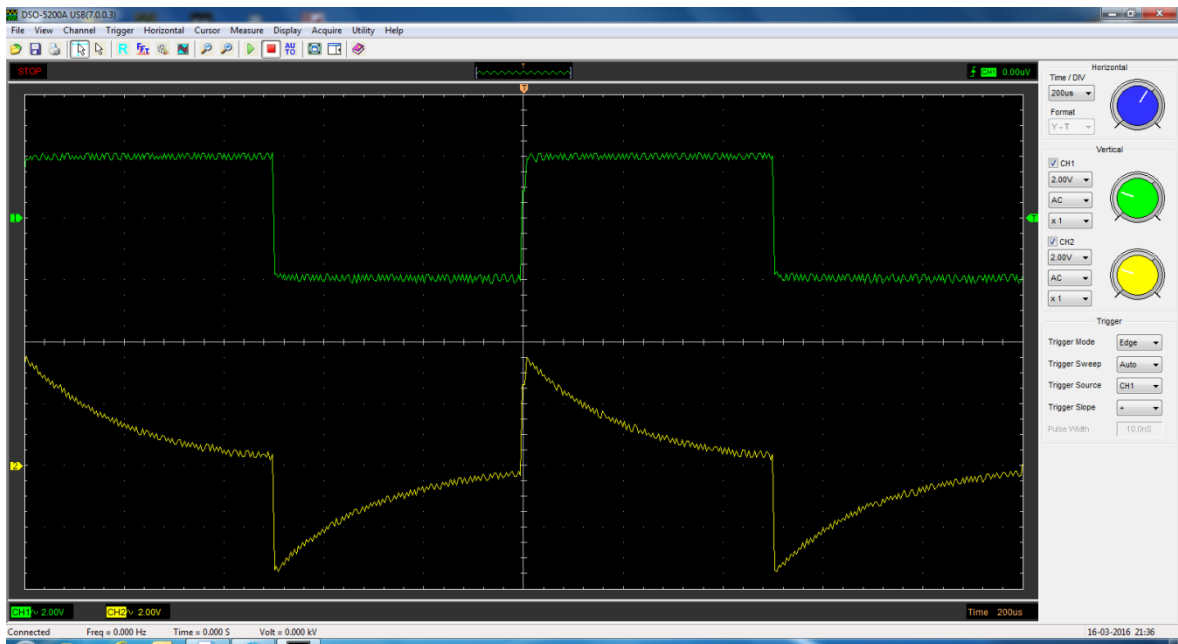
hodnoty	U_{2nab} [V]	U_{2vyb} [V]
vypočítané	1,470	-1,470
změřené	1,436	-1,436



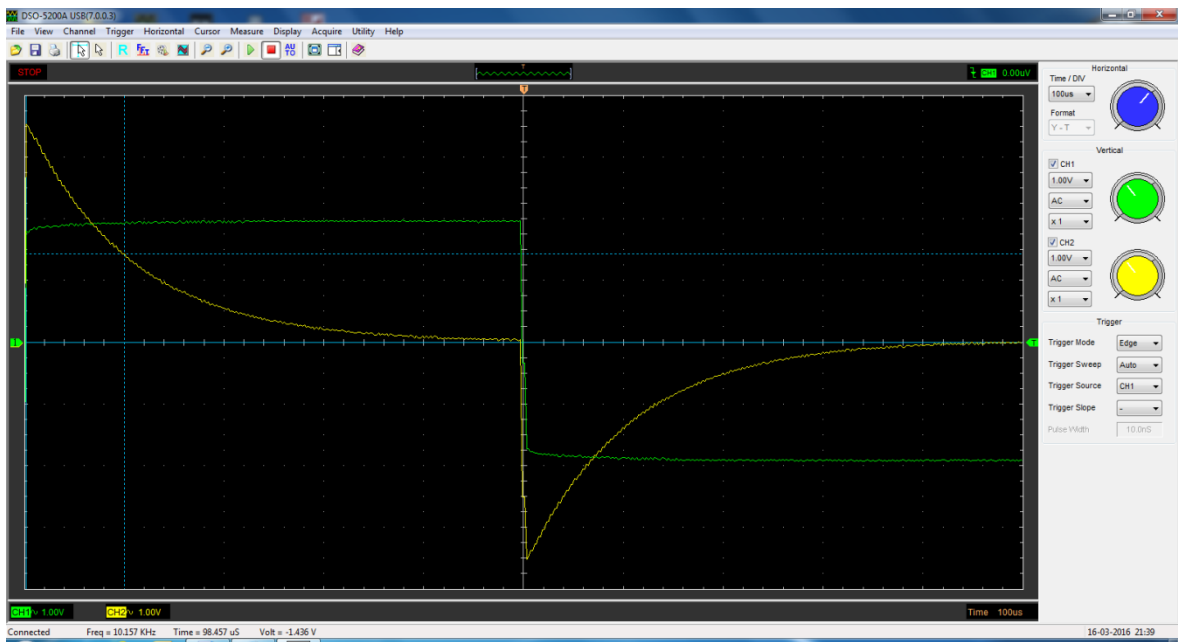
Obrázek 9.2-6 Zobrazení měření pro konstantu $\tau/2$



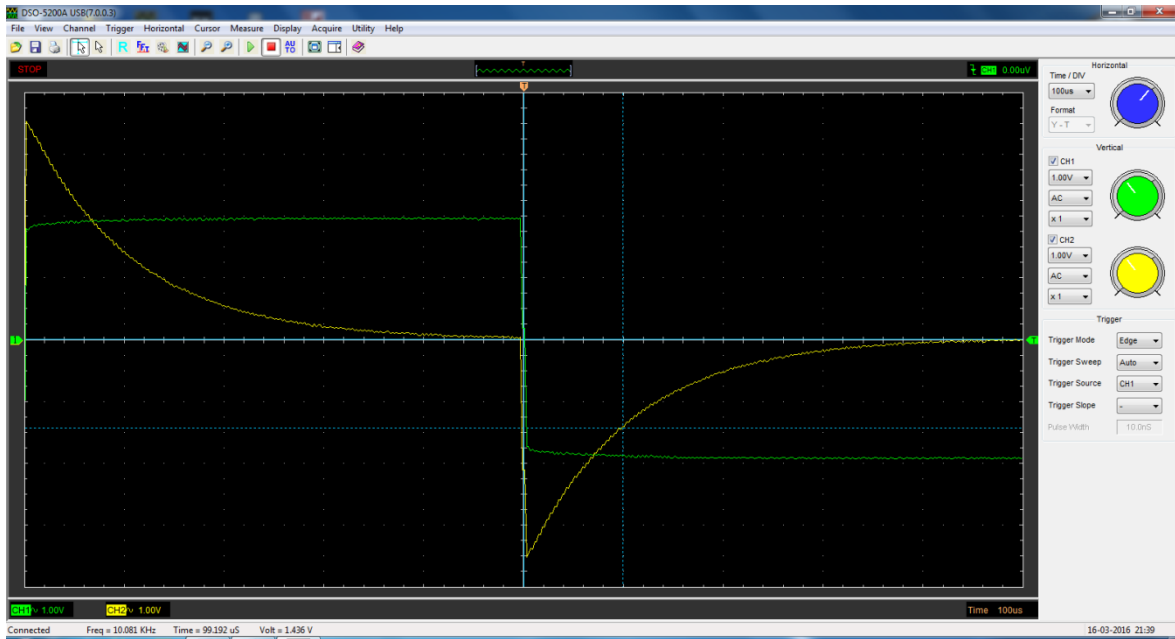
Obrázek 9.2-7 Zobrazení měření pro konstantu τ



Obrázek 9.2-8 Zobrazení měření pro konstantu 2τ



Obrázek 9.2-9 Zobrazení měření pro napětí U_{2nab}



Obrázek 9.2-10 Zobrazení měření pro napětí U_{2vyb}

9.2.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Kde se používá derivační článek?

Derivační článek se využívá k tvarování napěťového impulsu např. v televizní technice.

- b. Při jakém kmitočtu nastane rovnost napětí $U_R = U_C$?

Jedná se tzv. mezní kmitočet f_Z , který vypočítáme podle vztahu:

$$f_Z = \frac{1}{2\pi\tau} \quad [\text{Hz}; \text{s}] \quad (8)$$

- c. Kde se používají CR články jako horní propust? Uved'te příklady.

Horní propust se používá v audio technice např. při oddělení vysokých kmitočtů do výškového reproduktoru. Horní propust se používá k odfiltrování stejnosměrné složky popř. nízkofrekvenční složky od vysokofrekvenčního signálu.

9.2.5 ZÁVĚR

U této metody jsme si zopakovali měření na osciloskopu. Změřená amplitudově frekvenční charakteristika vyšla oproti výpočtu do 100 Hz s odlišnými hodnotami. Dále v horní části naměřených kmitočtů (od 6 kHz), byly naměřeny stejné hodnoty. Rozdíl mezi naměřenými a vypočítanými hodnotami mohl být způsoben vnitřním odporem osciloskopu. Výpočet mezního kmitočtu: $f_Z = 1592$ Hz.

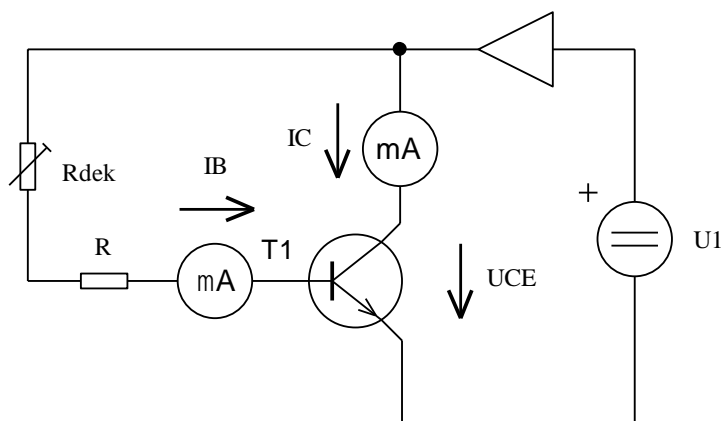
10 ŘEŠENÍ PRACOVNÍ ÚLOHY PRO PRACOVIŠTĚ 10

10.1 MĚŘENÍ PROUDOVÉHO ZESÍLENÍ PRO TRANZISTOR NPN

10.1.1 ÚKOL

Změřte převodní charakteristiku proudového zesílení $I_C = F(I_B)$ zadaného tranzistoru. Měření proveďte při konstantním napětí $U_{CE} = 7 \text{ V}$. Při měření zanedbejte vnitřní odpor miliampérmetru. Podle vztahu (1) vypočítejte stejnosměrné proudové zesílení B a podle vztahu (2) vypočítejte střídavé (dynamické) proudové zesílení $\beta (h_{21e})$. Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a znázorněte graf $I_C = F(I_B)$. V tabulce naměřených hodnot, označte červeně hodnoty, které jste použili pro výpočet. V grafu vyznačte obě proudová zesílení. Naměřené hodnoty porovnejte s tabulkovými hodnotami uvedenými v katalogovém listu: [BC546B](#).

10.1.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 10.1-1 Zapojení pro měření charakteristiky proudového zesílení tranzistoru NPN

Legenda:

$T_1 = \text{BC546B}$

$R = 1 \text{ k}\Omega$

R_{dek} = odporová dekáda

$U_1 = 7 \text{ V}$

10.1.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Výpočet stejnosměrného proudového zesílení B (h_{FE}):

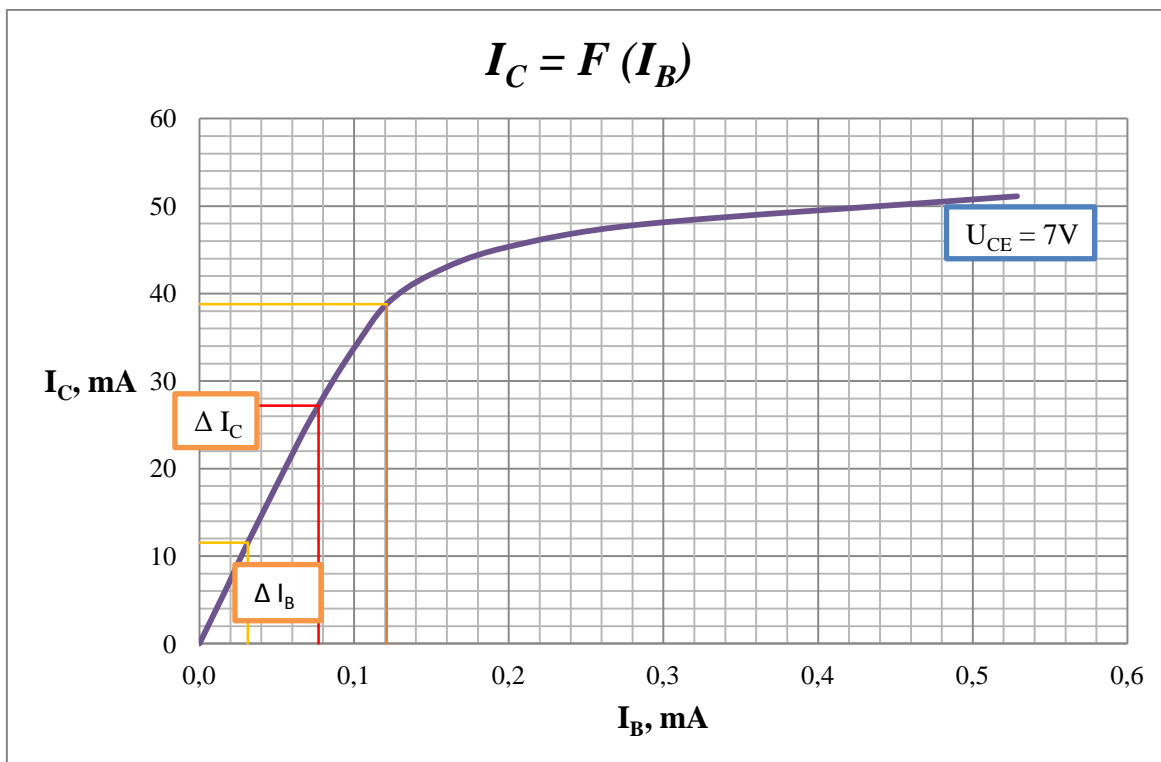
$$B = \frac{I_C}{I_B} = \frac{27,2}{0,077} = 353 \quad (1)$$

Výpočet střídavého (dynamického) proudového zesílení β (h_{21e}):

$$h_{21e} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{(38,8-11,54)}{(0,121-0,031)} = \frac{27,26}{0,09} = 303 \quad \text{pro } U_{CE} = 7 \text{ V} \quad (2)$$

Tabulka 10.1-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro proudové zesílení tranzistoru *BC456B*

R [k Ω]	U_{CE} [V]	I_B [mA]	I_C [mA]
400	7,000	0,016	5,700
300	7,000	0,021	7,660
200	7,000	0,031	11,540
100	7,000	0,062	22,300
90	7,000	0,069	24,600
80	7,000	0,077	27,200
70	7,000	0,088	30,400
60	7,000	0,102	34,200
50	7,000	0,121	38,800
40	7,000	0,150	42,200
30	7,000	0,197	45,200
20	7,000	0,287	47,900
10	7,000	0,529	51,100



Obrázek 10.1-2 Změřená charakteristika proudového zesílení nakrátko $I_C = F(I_B)$ pro tranzistor *BC546B*

10.1.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Jaké znáte druhy tranzistorů?

Tranzistory dělíme na bipolární a unipolární.

Bipolární tranzistory jsou tvořeny dvěma přechody P a N a třemi vrstvami z rozdílně dotovaného polovodičového materiálu. Bipolární tranzistory dělíme na germaniové a křemíkové. Oba dva druhy bipolárních tranzistorů dále dělíme na tranzistory nízkého výkonu a na výkonové tranzistory. Obě tyto skupiny lze stejně rozdělit na tranzistory NPN a PNP pro použití v nízkofrekvenční technice (nf), ve vysokofrekvenční technice (vf) a jako spínací prvky.

Unipolární tranzistory značíme zkratkou FET (Field – Effect – Transistor). Tranzistor nemá dva polovodičové přechody a při řízení jeho činnosti využívá nosiče náboje jednoho druhu. U tranzistoru je proud řízen elektrickým polem (napětím na vstupu G).

- b. Na jakém principu je založen tranzistor?

Bipolární tranzistor je tvořený dvěma polovodiči typu P a N. Tranzistor se skládá ze dvou přechodů a tří vrstev (kolektor, báze a emitor). Jeden přechod je polarizovaný v propustném směru a druhý v závěrném směru. Princip tranzistoru je založen na tom, že emitor vysílá (emituje) nosiče s elektrickým nábojem do prostoru báze, odkud je přebírá (sbírá) kolektor. Malý vstupní proud báze I_B vyvolá velký výstupní proud v kolektoru I_C (velké proudové zesílení).

- c. Jaké znáte zesílení pro tranzistor? Uveďte příklady.

U tranzistoru rozlišujeme proudové zesílení a napěťové zesílení. Proudové zesílení rozdělujeme na stejnosměrné proudové zesílení B nebo (h_{FE}) a na střídavé (dynamické) proudové zesílení β nebo (h_{21e}).

10.1.5 ZÁVĚR

V této úloze jsme změřili jedny z nejdůležitějších parametrů pro tranzistory.

Změřené a vypočítané proudové zesílení:

- stejnosměrné proudové zesílení $B = 353$
- střídavé dynamické proudové zesílení $\beta = 303$

Proudové zesílení z katalogového listu:

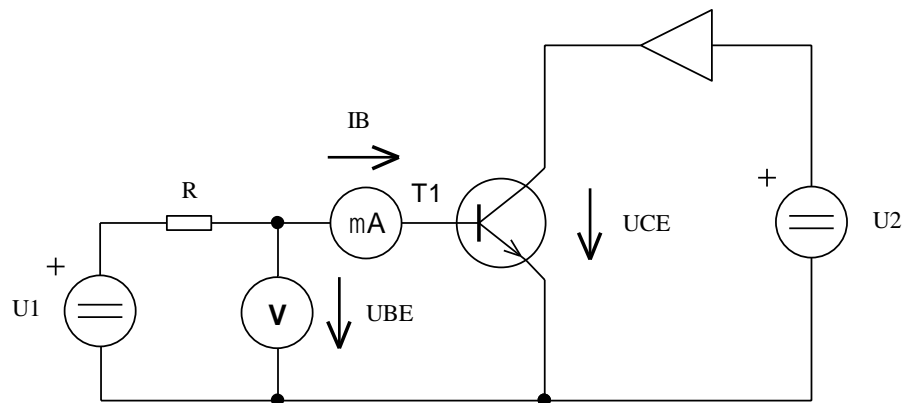
- stejnosměrné proudové zesílení $B = 200 - 450$
- střídavé dynamické proudové zesílení $\beta = 240 - 500$

10.2 MĚŘENÍ VSTUPNÍ CHARAKTERISTIKY PRO TRANZISTOR NPN

10.2.1 ÚKOL

Změřte vstupní charakteristiku $I_B = F(U_{BE})$ zadaného tranzistoru. Měření provedte při konstantním napětí $U_{CE} = 3 \text{ V}$, 5 V a 7 V . Podle vztahu (1) vypočítejte vstupní odpor tranzistoru (h_{11}). Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a znázorněte graf $I_B = F(U_{BE})$. V tabulce naměřených hodnot, označte červeně hodnoty, které jste použili pro výpočet. V grafu vyznačte ΔU_{BE} a ΔI_B . Naměřené hodnoty porovnejte s tabulkovými hodnotami uvedenými v katalogovém listu: [BC546B](#).

10.2.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 10.2-1 Zapojení pro měření vstupní charakteristiky tranzistoru NPN

Legenda:

$T_1 = \text{BC546B}$

$R = 1 \text{ k}\Omega$

$U_{BE} = 0 - 1,1 \text{ V}$

$U_2 = U_{CE} = 3 \text{ V}, 5 \text{ V} \text{ a } 7 \text{ V}$

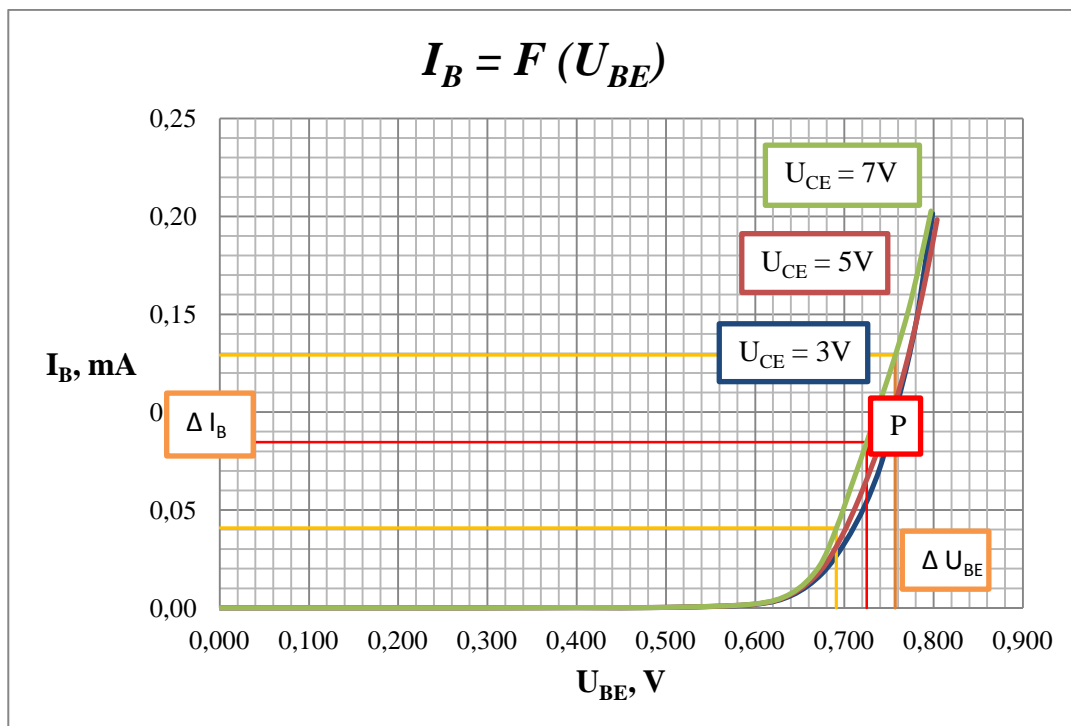
10.2.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Výpočet vstupního odporu r_{BE} při $U_{CE} = 7 \text{ V}$:

$$r_{BE}(h_{11}) = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{0,757 - 0,691}{0,000129 - 0,000041} = \frac{0,066}{0,000088} = 750 \Omega \quad \text{pro } U_{CE} = 7 \text{ V} \quad (1)$$

Tabulka 10.2-1 Naměřené a vypočítané hodnoty vstupní charakteristiky tranzistoru BC456B

U_I [V]	U_{CE} [V]	U_{BE} [V]	I_B [mA]	U_{CE} [V]	U_{BE} [V]	I_B [mA]	U_{CE} [V]	U_{BE} [V]	I_B [mA]
0,000	3,000	0,000	0,000	5,000	0,000	0,000	7,000	0,000	0,000
0,100	3,000	0,098	0,000	5,000	0,098	0,000	7,000	0,098	0,000
0,200	3,000	0,199	0,000	5,000	0,199	0,000	7,000	0,199	0,000
0,300	3,000	0,299	0,000	5,000	0,299	0,000	7,000	0,299	0,000
0,400	3,000	0,399	0,000	5,000	0,399	0,000	7,000	0,399	0,000
0,500	3,000	0,500	0,000	5,000	0,500	0,000	7,000	0,500	0,000
0,600	3,000	0,598	0,002	5,000	0,598	0,002	7,000	0,598	0,002
0,650	3,000	0,641	0,006	5,000	0,640	0,007	7,000	0,640	0,007
0,700	3,000	0,675	0,018	5,000	0,673	0,019	7,000	0,671	0,021
0,750	3,000	0,701	0,034	5,000	0,697	0,036	7,000	0,691	0,041
0,800	3,000	0,723	0,052	5,000	0,717	0,056	7,000	0,708	0,063
0,850	3,000	0,741	0,073	5,000	0,735	0,077	7,000	0,725	0,085
0,900	3,000	0,755	0,097	5,000	0,753	0,099	7,000	0,741	0,107
0,950	3,000	0,769	0,122	5,000	0,768	0,122	7,000	0,757	0,129
1,000	3,000	0,781	0,147	5,000	0,781	0,147	7,000	0,772	0,153
1,050	3,000	0,790	0,174	5,000	0,793	0,172	7,000	0,785	0,177
1,100	3,000	0,799	0,202	5,000	0,804	0,198	7,000	0,797	0,203

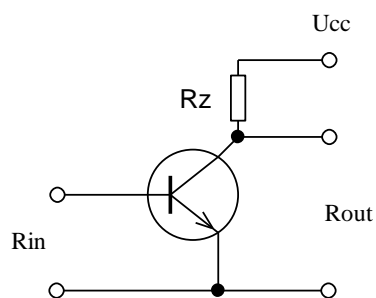


Obrázek 10.2-2 Změřená vstupní charakteristika $I_B = F(U_{BE})$ pro tranzistor *BC546B* a výpočet vstupního odporu r_{BE}

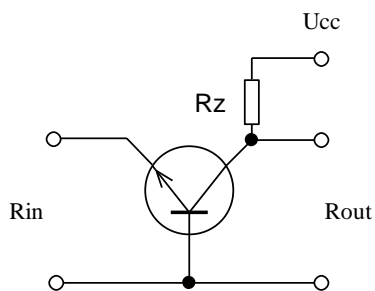
10.2.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Jaké znáte základní zapojení tranzistoru? Nakreslete zapojení.

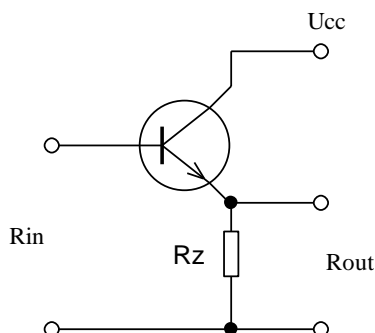
U tranzistoru používáme tři základní zapojení: (SE) - se společným emitorem, (SB) - se společnou bází a (SC) - se společným kolektorem.



Obrázek 10.2-3 Zapojení tranzistoru NPN se SE



Obrázek 10.2-4 Zapojení tranzistoru NPN se SB



Obrázek 10.2-5 Zapojení tranzistoru NPN se SC

- b. K základním zapojením tranzistoru, doplňte přibližné hodnoty vstupního odporu, výstupního odporu, napěťového, proudového a výkonového zesílení.

Každé zapojení se vyznačuje určitými vlastnostmi (vstupní a výstupní odpor, napěťové, proudové a výkonové zesílení), které jsou vhodná pro různá zapojení a použití tranzistoru. Nejběžnější a nejpoužívanější zapojení je se (SE). Toto zapojení se vyznačuje velkým proudovým a napěťovým zesílením tzn. velké výkonové zesílení. Další parametry zapojení tranzistoru jsou uvedeny v tabulce 10.2-2.

Tabulka 10.2-2 Rozdělení parametrů pro základní zapojení tranzistorů

	R_{IN}	R_{OUT}	A_U	A_I	A_P
SE	0,5 k Ω - 5 k Ω	1 k Ω - 100 k Ω	1 - 1000	20 - 500	2000 - 50000
SB	50 k Ω - 200 k Ω	50 k Ω - 200 k Ω	100 - 1000	< 1	100 - 1000
SC	200 k Ω - 500 k Ω	100 k Ω - 500 k Ω	< 1	20 - 500	20 - 500

10.2.5 ZÁVĚR

U této metody jsme změřili další vlastnost z parametrů pro tranzistory. Vstupní odpor je důležitou vlastností pro impedanční přizpůsobení.

Změřený a vypočítaný vstupní odpor pro konstantní napětí $U_{CE} = 7 \text{ V}$:

$$r_{BE}(h_{11}) = 750 \Omega$$

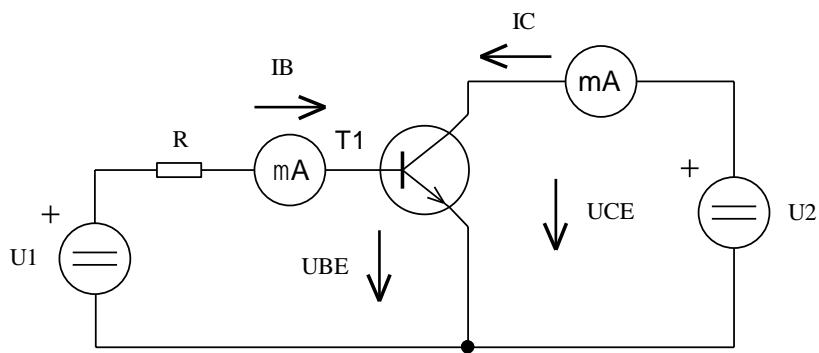
11 ŘEŠENÍ PRACOVNÍ ÚLOHY PRO PRACOVIŠTĚ 11

11.1 MĚŘENÍ VÝSTUPNÍ CHARAKTERISTIKY PRO TRANZISTOR NPN

11.1.1 ÚKOL

Změřte výstupní charakteristiku $I_C = F(U_{CE})$ při $I_B = \text{konst.}$ zadaného tranzistoru. Měření proveďte při konstantním proudu $I_B = 1 \mu\text{A}, 2 \mu\text{A}, 3 \mu\text{A}, 4 \mu\text{A}$ a $5 \mu\text{A}$. Podle vztahu (1) vypočítejte výstupní odpor tranzistoru $r_{CE} (h_{22e})$. Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a znázorněte graf $I_C = F(U_{CE})$. V tabulce naměřených hodnot, označte červeně hodnoty, které jste použili pro výpočet. V grafu vyznačte ΔU_{CE} a ΔI_C . Naměřené hodnoty porovnejte s tabulkovými hodnotami uvedenými v katalogovém listu: [BC546B](#).

11.1.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 11.1-1 Zapojení pro měření výstupní charakteristiky tranzistoru NPN

Legenda:

$T_1 = \text{BC546B}$

$R = 1 \text{ k}\Omega$

$I_B = 1 \mu\text{A}, 2 \mu\text{A}, 3 \mu\text{A}, 4 \mu\text{A}$ a $5 \mu\text{A}$

$U_{CE} = 0 - 8 \text{ V}$ (zanedbáváme vnitřní odpor ampérmetru)

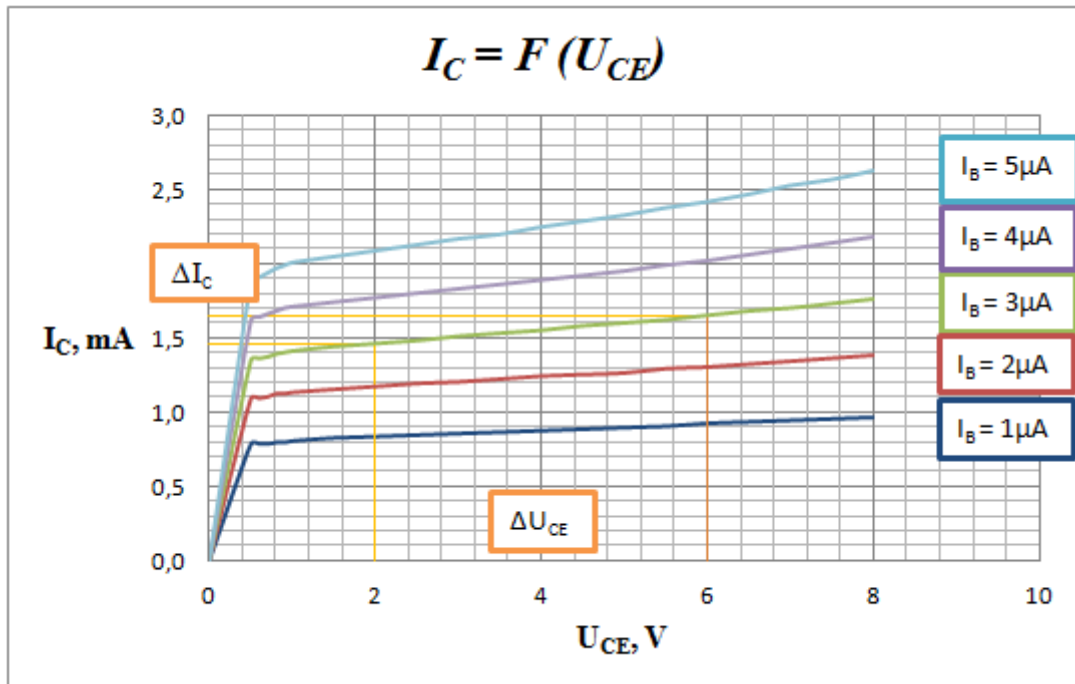
11.1.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Výpočet výstupního odporu r_{CE} při $I_B = 3 \mu\text{A}$:

$$r_{CE} = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta I_C} = \frac{6-2}{0,00165-0,00146} = 21053 \Omega \quad (1)$$

Tabulka 11.1-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro výstupní charakteristiku tranzistoru BC456B

U_{CE} [V]	I_B [μA]	I_C [mA]	I_B [μA]	I_C [mA]	I_B [μA]	I_C [mA]	I_B [μA]	I_C [mA]	I_B [μA]	I_C [mA]
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	1,00	0,79	2,00	1,09	3,00	1,35	4,00	1,62	5,00	1,88
0,60	1,00	0,79	2,00	1,09	3,00	1,36	4,00	1,64	5,00	1,91
0,70	1,00	0,79	2,00	1,10	3,00	1,37	4,00	1,66	5,00	1,94
0,80	1,00	0,80	2,00	1,12	3,00	1,39	4,00	1,68	5,00	1,97
0,90	1,00	0,80	2,00	1,12	3,00	1,40	4,00	1,70	5,00	1,99
1,00	1,00	0,81	2,00	1,13	3,00	1,41	4,00	1,71	5,00	2,01
1,50	1,00	0,83	2,00	1,15	3,00	1,44	4,00	1,74	5,00	2,05
2,00	1,00	0,84	2,00	1,17	3,00	1,46	4,00	1,77	5,00	2,09
2,50	1,00	0,85	2,00	1,19	3,00	1,48	4,00	1,80	5,00	2,13
3,00	1,00	0,86	2,00	1,20	3,00	1,51	4,00	1,83	5,00	2,17
3,50	1,00	0,87	2,00	1,22	3,00	1,53	4,00	1,86	5,00	2,20
4,00	1,00	0,88	2,00	1,24	3,00	1,55	4,00	1,89	5,00	2,25
4,50	1,00	0,89	2,00	1,25	3,00	1,58	4,00	1,92	5,00	2,29
5,00	1,00	0,90	2,00	1,26	3,00	1,60	4,00	1,95	5,00	2,33
5,50	1,00	0,91	2,00	1,29	3,00	1,62	4,00	1,99	5,00	2,38
6,00	1,00	0,93	2,00	1,30	3,00	1,65	4,00	2,02	5,00	2,42
6,50	1,00	0,94	2,00	1,32	3,00	1,68	4,00	2,06	5,00	2,47
7,00	1,00	0,95	2,00	1,34	3,00	1,70	4,00	2,10	5,00	2,53
7,50	1,00	0,96	2,00	1,36	3,00	1,73	4,00	2,14	5,00	2,57
8,00	1,00	0,97	2,00	1,38	3,00	1,76	4,00	2,18	5,00	2,63



Obrázek 11.1-2 Změřená výstupní charakteristika $I_C = F(U_{CE})$ při $I_B = \text{konst.}$ pro tranzistor *BC546B*

11.1.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

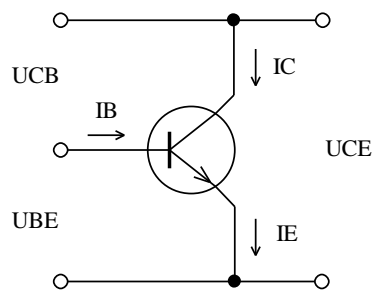
- a. Určete typ tranzistorů podle názvu (*BC546B*, *BD135* a *BFR 91A*). Napište kategorii, typ a výkonovou ztrátu.

BC546B – NF tranzistor, NPN, $P = 0,5 \text{ W}$

BD135 – NF tranzistor, NPN, $P = 8 \text{ W}$

BFR 91A – VF tranzistor, NPN, $P = 0,3 \text{ W}$

- b. Nakreslete a popište základní veličiny U a I , které můžete naměřit na tranzistoru typu NPN.



Obrázek 11.1-3 Přehled stejnosměrných napětí a proudů

I_B - proud báze

I_C – proud kolektoru

I_E – proud emitoru

U_{BE} – napětí mezi bází a emitorem

U_{CB} – napětí mezi kolektorem a bází

U_{CE} – napětí mezi kolektorem a emitorem

- c. Napište přibližné napětí U_{BE} pro $I_C < 20 \text{ mA}$ a $I_C > 20 \text{ mA}$ u germaniového a křemíkového tranzistoru.

Tabulka 11.1-2 Porovnání hodnot napětí U_{BE} pro germaniový a křemíkový tranzistor

	tranzistor	
	<i>germaniový</i>	<i>křemíkový</i>
	U_{BE}	U_{BE}
$I_C < 20\text{mA}$	$\approx 0,2\text{V}$	$\approx 0,6\text{V}$
$I_C > 20\text{mA}$	$\approx 0,3\text{V}$	$\approx 0,7\text{V}$

11.1.5 ZÁVĚR

V této úloze jsme změřili další parametr výstupní odpor tranzistoru v zapojení se společným emitorem. Výstupní odpor tranzistoru je důležitou vlastností pro impedanční přizpůsobení tranzistoru v obvodu.

Změřený a vypočítaný výstupní odpor podle vztahu (1) pro konstantní proud

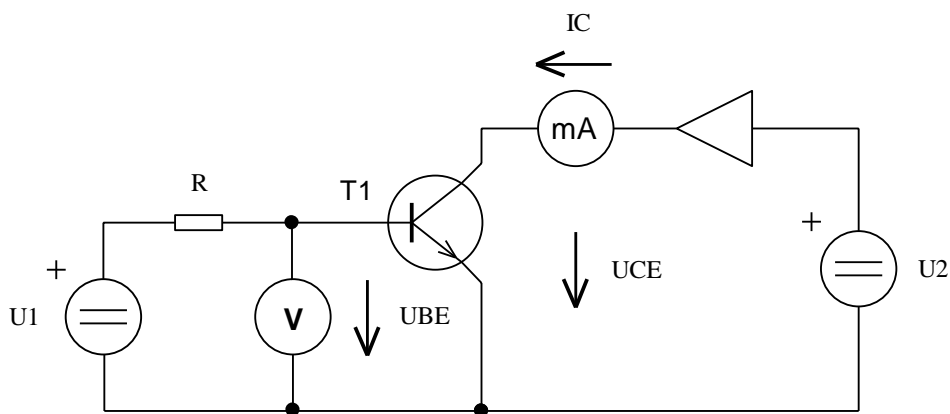
$$I_B = 3 \mu\text{A}; r_{CE} = 21,053 \text{ k}\Omega.$$

11.2 MĚŘENÍ PŘEVODNÍ CHARAKTERISTIKY PRO TRANZISTOR NPN

11.2.1 ÚKOL

Změřte převodní charakteristiku $I_C = F(U_{BE})$ zadaného tranzistoru. Měření provedte při konstantním napětí $U_{CE} = 3\text{ V}, 5\text{ V}$ a 7 V . Podle vztahu (1) vypočítejte strmost tranzistoru (y_{21}). Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a znázorněte graf $I_C = F(U_{BE})$. V tabulce naměřených hodnot, označte červeně hodnoty, které jste použili pro výpočet. V grafu vyznačte ΔU_{BE} a ΔI_C . Pro měřený tranzistor ověřte z naměřených hodnot z předchozích úloh platnost vztahu (2). Porovnejte mezi sebou vztahy (1) a (2). Pro ověření vztahu použijte vzájemný přepočítání mezi parametry h a y . Naměřené hodnoty porovnejte s tabulkovými hodnotami uvedenými v katalogovém listu: [BC546B](#).

11.2.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 11.2-1 Zapojení pro měření převodní charakteristiky tranzistoru NPN

Legenda:

$T_1 = \text{BC546B}$

$R = 1\text{ k}\Omega$

$U_{BE} = 0 - 1,1\text{ V}$

$U_2 = U_{CE} = 3\text{ V}, 5\text{ V}$ a 7 V (zanedbáváme vnitřní odpor ampérmetru)

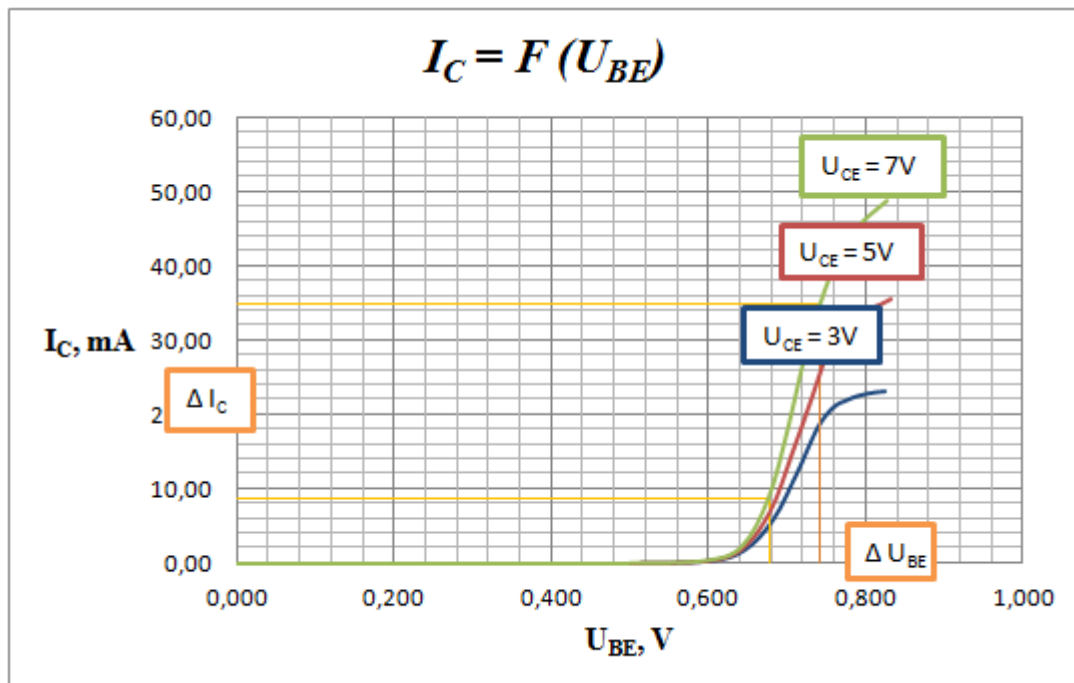
11.2.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Výpočet strmosti měřeného tranzistoru k pracovnímu bodu pro ΔI_C a ΔU_{BE} :

$$y_{21} = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{BE}} = \frac{0,0349 - 0,00872}{0,743 - 0,677} = \frac{0,02618}{0,066} = 0,396 \text{ S} \quad \text{pro } U_{CE} = 7 \text{ V} \quad (1)$$

Tabulka 11.2-1 Naměřené a vypočítané hodnoty převodní charakteristiky tranzistoru BC546B

U_I [V]	U_{CE} [V]	U_{BE} [V]	I_C [mA]	U_{CE} [V]	U_{BE} [V]	I_C [mA]	U_{CE} [V]	U_{BE} [V]	I_C [mA]
0,000	3,000	0,000	0,000	5,000	0,000	0,000	7,000	0,000	0,000
0,100	3,000	0,098	0,000	5,000	0,098	0,000	7,000	0,098	0,000
0,200	3,000	0,199	0,000	5,000	0,199	0,000	7,000	0,199	0,000
0,300	3,000	0,299	0,000	5,000	0,299	0,000	7,000	0,299	0,000
0,400	3,000	0,399	0,000	5,000	0,399	0,000	7,000	0,399	0,000
0,500	3,000	0,500	0,008	5,000	0,500	0,008	7,000	0,500	0,011
0,600	3,000	0,599	0,320	5,000	0,599	0,350	7,000	0,599	0,410
0,650	3,000	0,645	1,750	5,000	0,644	1,980	7,000	0,644	2,370
0,700	3,000	0,682	5,910	5,000	0,680	7,110	7,000	0,677	8,720
0,750	3,000	0,712	12,150	5,000	0,707	14,680	7,000	0,702	18,150
0,800	3,000	0,738	18,220	5,000	0,732	22,100	7,000	0,722	27,300
0,850	3,000	0,758	21,000	5,000	0,754	28,700	7,000	0,743	34,900
0,900	3,000	0,775	22,000	5,000	0,774	31,800	7,000	0,764	40,700
0,950	3,000	0,790	22,600	5,000	0,791	33,200	7,000	0,782	44,000
1,000	3,000	0,802	22,900	5,000	0,805	34,100	7,000	0,799	46,100
1,050	3,000	0,814	23,100	5,000	0,820	34,700	7,000	0,814	47,500
1,100	3,000	0,824	23,200	5,000	0,833	35,400	7,000	0,828	48,700



Obrázek 11.2-2 Změřená převodní charakteristika $I_C = F(U_{BE})$ při $U_{CE} = \text{konst.}$ pro tranzistor BC546B

Výpočet pro ověření platnosti vztahu:

$$y_{21} = \frac{h_{21}}{h_{11}} = \frac{303}{750} = 0,404 \text{ S} \quad \text{pro } U_{CE} = 7 \text{ V} \quad (2)$$

11.2.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

- a. Jaké znáte charakteristiky pro bipolární tranzistory?

Z rovnic pro admitanční dvojbran, lze definovat nelineární funkce pro charakteristiky tranzistoru:

- vstupní admitanční charakteristika je dána vztahem (3):

$$i_1 = y_{11}(u_1) \quad U_2 = \text{konst.} \quad (3)$$

- zpětná admitanční charakteristika je dána vztahem (4):

$$i_1 = y_{12}(u_2) \quad U_1 = \text{konst.} \quad (4)$$

- přenosová admitanční charakteristika (strmost) je dána vztahem (5):

$$i_2 = y_{21}(u_1) \quad U_2 = \text{konst.} \quad (5)$$

- výstupní admitanční charakteristika je dána vztahem (6):

$$i_2 = y_{22}(u_2) \quad U_1 = \text{konst.} \quad (6)$$

Pro tranzistor v zapojení se SE platí vtahy (7):

$$u_1 = u_{BE}, \quad u_2 = u_{CE}, \quad i_1 = i_B, \quad i_2 = i_C \quad (7)$$

- b. Jak rozdělujeme parametry pro tranzistory?

Parametry pro tranzistory rozdělujeme na statické a dynamické.

- Stejnoseměrné parametry popisují chování tranzistoru z hlediska stejnosměrných proudů a napětí.
- Dynamické parametry popisují chování tranzistorů z hlediska střídavých napětí a proudů. Používají se pro popis i v impulzním režimu.

- c. Napište některé mezní hodnoty pro tranzistor?

Mezní hodnoty udávají, jak mohou být maximálně přetíženy tranzistory.

- napětí U_{CEmax}
- proud I_{Cmax}
- ztrátový výkon P_{Dmax}

11.2.5 ZÁVĚR

U této metody jsme změřili další vlastnost z parametrů pro tranzistory. Převodní charakteristiku využijeme při posuzování účinků budícího signálu a volbě polohy pracovního bodu.

Změřená a vypočítaná strmost podle vztahu (1) pro konstantní napětí $U_{CE} = 7 \text{ V}$:

$$y_{2I} = 0,396 \text{ S}$$

V úloze 10.2 jsme naměřili $h_{1I} = 750 \Omega$ a v úloze 10.1 jsme naměřili $h_{2I} = 303$ pro $U_{CE} = 7 \text{ V}$. Potom podle vztahu (2) je $y_{2I} = 0,404 \text{ S}$.

12 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty zdroje 10 V/0,02 A.....	7
Tabulka 1.2-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty zdroje 10 V/0,02 A a výkonového zesilovače.....	11
Tabulka 1.3-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty pro rozsah 40 mA.....	14
Tabulka 1.3-2 Pro naměřené a vypočítané hodnoty pro rozsah 4 mA.....	14
Tabulka 1.3-3 Pro naměřené a vypočítané hodnoty pro rozsah 400 μ A.....	15
Tabulka 1.3-4 Tabulka pro celkové naměřené a vypočítané hodnoty.....	15
Tabulka 1.4-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty pro malé hodnoty rezistorů.....	19
Tabulka 1.4-2 Pro naměřené a vypočítané hodnoty pro malé hodnoty rezistorů.....	19
Tabulka 1.4-3 Pro naměřené a vypočítané hodnoty pro velké hodnoty rezistorů.....	19
Tabulka 1.4-4 Pro naměřené a vypočítané hodnoty pro velké hodnoty rezistorů.....	20
Tabulka 2.1-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty na voltmetrech.....	23
Tabulka 2.2-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty nezátíženého odporového děliče napětí.....	28
Tabulka 2.3-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty pro $R = 10 \text{ k}\Omega$	32
Tabulka 2.3-2 Pro naměřené a vypočítané hodnoty pro T článek.....	32
Tabulka 2.3-3 Pro naměřené a vypočítané hodnoty pro P_i článek.....	32
Tabulka 3.1-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty víceúrovňového zatíženého děliče.....	38
Tabulka 3.2-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty variantu 1 (A – B).....	46
Tabulka 3.2-2 Pro naměřené a vypočítané hodnoty variantu 1 (B – C).....	46
Tabulka 3.2-3 Pro naměřené a vypočítané hodnoty variantu 1 (A – C).....	47
Tabulka 3.2-4 Pro naměřené a vypočítané hodnoty variantu 2 (A – B).....	47
Tabulka 3.2-5 Pro naměřené a vypočítané hodnoty variantu 2 (B – C).....	47
Tabulka 3.2-6 Pro naměřené a vypočítané hodnoty variantu 2 (A – C).....	48
Tabulka 3.2-7 Pro naměřené a vypočítané hodnoty variantu 3 (A – B).....	48
Tabulka 3.2-8 Pro naměřené a vypočítané hodnoty variantu 3 (B – C).....	48
Tabulka 3.2-9 Pro naměřené a vypočítané hodnoty variantu 3 (A – C).....	49
Tabulka 4.1-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty mezi body (A – B).....	52
Tabulka 4.2-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty napětí mezi body (A – B).....	57
Tabulka 5.1-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty velkých kapacit.....	62
Tabulka 5.1-2 Pro naměřené a vypočítané hodnoty malých kapacit.....	63
Tabulka 5.1-3 Výpočet mezní kapacity C_M	63
Tabulka 5.2-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty kapacit a metody pomocí osciloskopu.....	66
Tabulka 6.1-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty diod $KA262$, $1N4007$, $GA202$ a $BAT48$	72
Tabulka 6.2-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty pro Zenerovy diody.....	77
Tabulka 7.1-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty LED diod.....	82
Tabulka 7.2-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty NTC termistoru.....	87
Tabulka 7.2-2 Pro naměřené a vypočítané hodnoty PTC termistoru.....	87
Tabulka 8.1-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty sériového LC obvodu.....	92
Tabulka 8.2-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty paralelního LC obvodu.....	98
Tabulka 9.1-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty RC članku dolní propust.....	107
Tabulka 9.1-2 Pro naměřené a vypočítané hodnoty integračního RC članku.....	107
Tabulka 9.2-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty CR horní propust.....	116
Tabulka 9.2-2 Pro naměřené a vypočítané hodnoty derivačního CR članku.....	116
Tabulka 10.1-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty proudového zesílení tranzistoru $BC456B$	122
Tabulka 10.2-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty vstupní charakteristiky tranzistoru $BC456B$	126
Tabulka 11.1-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty výstupní charakteristiky tranzistoru $BC456B$	129
Tabulka 11.2-1 Pro naměřené a vypočítané hodnoty převodní charakteristiky tranzistoru $BC456B$	135

Tabulka 1.1-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro zdroj 10 V/0,02 A	2
Tabulka 1.2-1 Naměřené a vypočítané hodnoty zdroje 10 V/0,02 a modulu výkonového zesilovače	8
Tabulka 1.3-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro rozsah 40 mA	13
Tabulka 1.3-2 Naměřené a vypočítané hodnoty pro rozsah 4 mA	13
Tabulka 1.3-3 Naměřené a vypočítané hodnoty pro rozsah 400 μ A	14
Tabulka 1.3-4 Tabulka pro celkové naměřené a vypočítané hodnoty	14
Tabulka 1.4-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro malé hodnoty rezistorů	19
Tabulka 1.4-2 Naměřené a vypočítané hodnoty pro malé hodnoty rezistorů	19
Tabulka 1.4-3 Naměřené a vypočítané hodnoty pro velké hodnoty rezistorů	20
Tabulka 1.4-4 Naměřené a vypočítané hodnoty pro velké hodnoty rezistorů	20
Tabulka 2.1-1 Naměřené a vypočítané hodnoty na voltmetrech	23
Tabulka 2.2-1 Naměřené a vypočítané hodnoty nezátíženého odporového děliče napětí	30
Tabulka 2.3-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro $R = 10 \text{ k}\Omega$	34
Tabulka 2.3-2 Naměřené a vypočítané hodnoty pro P_i článek	36
Tabulka 2.3-3 Naměřené a vypočítané hodnoty pro T článek	39
Tabulka 3.1-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro vícestupňový zatížený dělič	45
Tabulka 3.2-1 Naměřené a vypočítané hodnoty varianty 1 (A – B)	50
Tabulka 3.2-2 Naměřené a vypočítané hodnoty varianty 1 (B – C)	50
Tabulka 3.2-3 Naměřené a vypočítané hodnoty varianty 1 (A – C)	51
Tabulka 3.2-4 Naměřené a vypočítané hodnoty varianty 2 (A – B)	52
Tabulka 3.2-5 Naměřené a vypočítané hodnoty varianty 2 (B – C)	52
Tabulka 3.2-6 Naměřené a vypočítané hodnoty varianty 2 (A – C)	52
Tabulka 3.2-7 Naměřené a vypočítané hodnoty varianty 3 (A – B)	53
Tabulka 3.2-8 Naměřené a vypočítané hodnoty varianty 3 (B – C)	53
Tabulka 3.2-9 Naměřené a vypočítané hodnoty varianty 3 (A – C)	53
Tabulka 4.1-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro smyčkové proudy a superpozici	60
Tabulka 4.2-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro napětí mezi body (A – B)	63
Tabulka 5.1-1 Výpočet mezní kapacity C_M	70
Tabulka 5.1-2 Naměřené a vypočítané hodnoty pro $C = 3,3 \text{ nF}$	70
Tabulka 5.1-3 Naměřené a vypočítané hodnoty pro $C = 10 \text{ nF}$	71
Tabulka 5.1-4 Naměřené a vypočítané hodnoty pro $C = 33 \text{ nF}$	71
Tabulka 5.1-5 Naměřené a vypočítané hodnoty pro $C = 100 \text{ nF}$	72
Tabulka 5.1-6 Naměřené a vypočítané hodnoty pro $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$	72
Tabulka 5.1-7 Naměřené a vypočítané hodnoty pro $C = 3,3 \text{ nF}$	74
Tabulka 5.1-8 Naměřené a vypočítané hodnoty pro $C = 10 \text{ nF}$	74
Tabulka 5.1-9 Naměřené a vypočítané hodnoty pro $C = 33 \text{ nF}$	75
Tabulka 5.1-10 Naměřené a vypočítané hodnoty pro $C = 100 \text{ nF}$	75
Tabulka 5.1-11 Naměřené a vypočítané hodnoty pro $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$	76
Tabulka 5.2-1 Naměřené a vypočítané hodnoty kapacit a metody pomocí osciloskopu	81
Tabulka 6.1-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro diodu <i>KA262</i>	85
Tabulka 6.1-2 Naměřené a vypočítané hodnoty pro diodu <i>IN4007</i>	86
Tabulka 6.1-3 Naměřené a vypočítané hodnoty pro diodu <i>GA202</i>	87
Tabulka 6.1-4 Naměřené a vypočítané hodnoty pro diodu <i>BAT48</i>	88
Tabulka 6.2-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro Zenerovu diodu <i>BXZ55C 3V0</i>	94
Tabulka 6.2-2 Naměřené a vypočítané hodnoty pro Zenerovu diodu <i>4NZ70</i>	96
Tabulka 7.1-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro Red LED	100
Tabulka 7.1-2 Naměřené a vypočítané hodnoty pro Yellow LED	101
Tabulka 7.1-3 Naměřené a vypočítané hodnoty pro Green LED	102
Tabulka 7.1-4 Naměřené a vypočítané hodnoty pro Blue LED	103

Tabulka 7.2-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro NTC termistor.....	108
Tabulka 7.2-2 Naměřené a vypočítané hodnoty pro PTC termistor	109
Tabulka 8.1-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro sériový <i>LC</i> obvod	113
Tabulka 8.2-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro paralelní <i>LC</i> obvod	119
Tabulka 9.1-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro <i>RC</i> článek dolní propust	126
Tabulka 9.1-2 Naměřené a vypočítané hodnoty pro integrační <i>RC</i> článek.....	128
Tabulka 9.2-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro <i>CR</i> článek horní propust	135
Tabulka 9.2-2 Naměřené a vypočítané hodnoty pro derivační <i>CR</i> článek.....	137
Tabulka 10.1-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro proudové zesílení tranzistoru <i>BC456B</i>	143
Tabulka 10.2-1 Naměřené a vypočítané hodnoty vstupní charakteristiky tranzistoru <i>BC456B</i>	147
Tabulka 10.2-2 Rozdělení parametrů pro základní zapojení tranzistorů	149
Tabulka 11.1-1 Naměřené a vypočítané hodnoty pro výstupní charakteristiku tranzistoru <i>BC456B</i>	152
Tabulka 11.1-2 Porovnání hodnot napětí U_{BE} pro germaniový a křemíkový tranzistor	154
Tabulka 11.2-1 Naměřené a vypočítané hodnoty převodní charakteristiky tranzistoru <i>BC546B</i>	157

13 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1-1 Zapojení pro měření zatěžovací charakteristiky zdroje 10 V/0,02 A.....	6
Obrázek 1.2-1 Ideální zdroj napětí U_0 s vnitřním odporem R_i	9
Obrázek 1.2-2 Zapojení pro měření zatěžovací charakteristiky zdroje 10 V/0,02 A a výkonového zesilovače	9
Obrázek 1.3-1 Zapojení pro měření vnitřního odporu ampérmetru	13
Obrázek 1.4-1 Zapojení pro měření malých hodnot rezistorů	17
Obrázek 1.4-2 Zapojení pro měření velkých hodnot rezistorů	18
Obrázek 2.1-1 Zapojení děliče napětí.....	21
Obrázek 2.1-2 Zapojení děliče napětí pro určení vnitřního odporu voltmetru	22
Obrázek 2.2-1 Základní zapojení nezatíženého odporového děliče	24
Obrázek 2.2-2 Zapojení pro měření na odporovém děliči napětí	27
Obrázek 2.3-1 Zapojení pro měření výkonového přizpůsobení přenosu pro $R = 10 \text{ k}\Omega$	30
Obrázek 2.3-2 Zapojení pro měření výkonového přizpůsobení přenosu jako P_i článku	30
Obrázek 2.3-3 Zapojení pro měření výkonového přizpůsobení přenosu jako T článku	31
Obrázek 3.1-1 Zapojení zatíženého děliče napětí	35
Obrázek 3.1-2 Zapojení pro výpočet napětí U_0	35
Obrázek 3.1-3 Zapojení pro výpočet vnitřního odporu R_i	36
Obrázek 3.1-4 Náhradní schéma Théveninova teorému.....	36
Obrázek 3.1-5 Zapojení vícestupňového zatíženého děliče napětí	37
Obrázek 3.2-1 Zapojení zatíženého děliče napětí	41
Obrázek 3.2-2 Zapojení pro výpočet celkového proudu I v obvodu	41
Obrázek 3.2-3 Zapojení pro výpočet vnitřního odporu R_i	42
Obrázek 3.2-4 Zapojení pro výpočet proudu I_0 ideálního proudového zdroje.....	42
Obrázek 3.2-5 Náhradní schéma Nortonova teorému	43
Obrázek 3.2-6 Zapojení vícestupňového zatíženého děliče napětí - varianta 1	44
Obrázek 3.2-7 Zapojení vícestupňového zatíženého děliče napětí - varianta 2	44
Obrázek 3.2-8 Zapojení vícestupňového zatíženého děliče napětí - varianta 3	45
Obrázek 3.2-9 Náhradní schéma dle Théveninova teorému.....	49
Obrázek 4.1-1 Zapojení vícestupňového děliče se dvěma zdroji napětí	51

Obrázek 4.2-1 Náhradní schéma Théveninova teorému.....	54
Obrázek 4.2-2 Zapojení rezistorů do trojúhelníku.....	55
Obrázek 4.2-3 Zapojení rezistorů do hvězdy.....	55
Obrázek 4.2-4 Zapojení zatíženého můstku	56
Obrázek 5.1-1 Zapojení pro měření velkých hodnot kapacit.....	61
Obrázek 5.1-2 Zapojení pro měření malých hodnot kapacit.....	61
Obrázek 5.2-1 Schéma zapojení přípravku pro měření kapacit kondenzátorů	64
Obrázek 5.2-2 Zapojení přípravku pro měření kapacit kondenzátorů	65
Obrázek 6.1-1 Přechod PN polarizovaný v propustném směru	68
Obrázek 6.1-2 Přechod PN polarizovaný v závěrném směru	68
Obrázek 6.1-3 Zapojení pro měření charakteristiky diody v propustném směru.....	70
Obrázek 6.1-4 Zapojení pro měření charakteristiky diody v závěrném směru	70
Obrázek 6.2-1 Zapojení pro měření charakteristiky Zenerovy diody v propustném směru	76
Obrázek 6.2-2 Zapojení pro měření charakteristiky Zenerovy diody v závěrném směru	76
Obrázek 7.1-1 Zapojení pro měření charakteristiky LED diody v propustném směru	81
Obrázek 7.2-1 Zapojení pro měření VA charakteristiky NTC termistoru	85
Obrázek 7.2-2 Zapojení pro měření VA charakteristiky PTC termistoru.....	85
Obrázek 8.1-1 Zapojení zjednodušeného sériového obvodu	88
Obrázek 8.1-2 Zapojení pro měření sériového LC obvodu.....	90
Obrázek 8.2-1 Zapojení zjednodušeného paralelního obvodu.....	93
Obrázek 8.2-2 Zapojení pro měření paralelního LC obvodu	96
Obrázek 9.1-1 Zapojení integračního RC článku.....	101
Obrázek 9.1-2 Znázornění vektorů pro RC článek	102
Obrázek 9.1-3 Zapojení pro měření frekvenční charakteristiky dolní propusti RC článku	104
Obrázek 9.1-4 Zapojení pro měření s konstantou τ integračního RC článku.....	105
Obrázek 9.2-1 Zapojení derivačního CR článku.....	110
Obrázek 9.2-2 Znázornění vektorů pro CR článek	111
Obrázek 9.2-3 Zapojení pro měření frekvenční charakteristiky horní propusti CR článku	113
Obrázek 9.2-4 Zapojení pro měření s konstantou τ derivačního CR článku.....	114
Obrázek 10.1-1 Zapojení tranzistoru NPN do obvodu	119
Obrázek 10.1-2 Zapojení tranzistoru PNP do obvodu.....	119
Obrázek 10.1-3 Zapojení pro měření charakteristiky proudového zesílení tranzistoru NPN	121
Obrázek 10.2-1 Náhradní schéma tranzistoru NPN jako dvojbranu.....	123
Obrázek 10.2-2 Náhradní schéma tranzistoru NPN jako dvojbranu pro hybridní rovnice	124
Obrázek 10.2-3 Zapojení pro měření vstupní charakteristiky tranzistoru NPN.....	125
Obrázek 11.1-1 Zapojení pro měření výstupní charakteristiky tranzistoru NPN.....	128
Obrázek 11.2-1 Náhradní schéma tranzistoru NPN jako dvojbranu.....	131
Obrázek 11.2-2 Náhradní schéma tranzistoru NPN jako dvojbranu pro admitanční rovnice	132
Obrázek 11.2-3 Zapojení pro měření převodní charakteristiky tranzistoru NPN	134
Obrázek 1.1-1 Zapojení pro měření zatěžovací charakteristiky zdroje 10 V/0,02 A.....	1
Obrázek 1.1-2 Změřená charakteristika $U = F(I)$ pro zdroj 10 V/0,02 A.....	2
Obrázek 1.1-3 Změřená charakteristika $U = F(R_Z)$ pro zdroj 10 V/0,02 A	3
Obrázek 1.1-4 Změřená charakteristika $P = F(I)$ pro zdroj 10 V/0,02 A	3
Obrázek 1.1-5 Změřená charakteristika $P = F(R_Z)$ pro zdroj 10 V/0,02 A	4
Obrázek 1.1-6 Schéma náhradního zdroje napětí	4
Obrázek 1.1-7 Schéma náhradního zdroje proudu.....	5
Obrázek 1.1-8 VA zatěžovací charakteristiky zdrojů.....	6
Obrázek 1.2-1 Zapojení pro měření zatěžovací charakteristiky zdroje 10 V/0,02 A a výkonového zesilovače 7	

Obrázek 1.2-2 Změřená charakteristika $U = F(I)$ napěťového zdroje 10 V/0,02 A a modulu výkonového zesilovače	8
Obrázek 1.2-3 Změřená charakteristika $U = F(R_Z)$ napěťového zdroje 10 V/0,02 A a modulu výkonového zesilovače	9
Obrázek 1.2-4 Změřená charakteristika $P = F(I)$ napěťového zdroje 10 V/0,02 A a modulu výkonového zesilovače	9
Obrázek 1.2-5 Změřená charakteristika $P = F(R_Z)$ napěťového zdroje 10 V/0,02 A a modulu výkonového zesilovače	10
Obrázek 1.3-1 Zapojení pro měření vnitřního odporu ampérmetru	12
Obrázek 1.4-1 Zapojení pro měření malých hodnot rezistorů	17
Obrázek 1.4-2 Zapojení pro měření velkých hodnot rezistorů	17
Obrázek 1.4-3 Zapojení pro měření malých hodnot rezistorů	21
Obrázek 1.4-4 Zapojení pro měření velkých hodnot rezistorů	21
Obrázek 2.1-1 Zapojení děliče napětí pro určení vnitřního odporu voltmetru	23
Obrázek 2.1-2 Zapojení děliče napětí pro určení vnitřního odporu voltmetru	24
Obrázek 2.2-1 Zapojení pro měření na odporovém děliči napětí	26
Obrázek 2.3-1 Zapojení pro měření výkonového přizpůsobení přenosu pro $R = 10 \text{ k}\Omega$	32
Obrázek 2.3-2 Zapojení pro měření výkonového přizpůsobení přenosu jako P_i článku	33
Obrázek 2.3-3 Zapojení pro měření výkonového přizpůsobení přenosu jako T článku	33
Obrázek 2.3-4 Charakteristika přizpůsobení spotřebiče $P_{RZ} = F(R_Z)$, $U_{RZ} = F(R_Z)$ a $I_{RZ} = F(R_Z)$ pro $R = 10 \text{ k}\Omega$ v lineárně – lineárním zobrazení	34
Obrázek 2.3-5 Charakteristika výkonového přizpůsobení spotřebiče $P_{RZ} = F(R_Z)$ pro $R = 10 \text{ k}\Omega$ v logaritmicko – lineárním zobrazení	35
Obrázek 2.3-6 Zapojení pro výpočet výsledného rezistoru podle Théveninova teorému	35
Obrázek 2.3-7 Charakteristika přizpůsobení spotřebiče $P_{RZ} = F(R_Z)$, $U_{RZ} = F(R_Z)$ a $I_{RZ} = F(R_Z)$ pro P_i článek v lineárně – lineárním zobrazení	37
Obrázek 2.3-8 Charakteristika výkonového přizpůsobení spotřebiče $P_{RZ} = F(R_Z)$ pro P_i článek v logaritmicko – lineárním zobrazení	37
Obrázek 2.3-9 Zapojení pro výpočet výsledného rezistoru podle Théveninova teorému	38
Obrázek 2.3-10 Charakteristika přizpůsobení spotřebiče $P_{RZ} = F(R_Z)$, $U_{RZ} = F(R_Z)$ a $I_{RZ} = F(R_Z)$ pro T článek v lineárně – lineárním zobrazení	39
Obrázek 2.3-11 Charakteristika výkonového přizpůsobení spotřebiče $P_{RZ} = F(R_Z)$ pro T článek v logaritmicko – lineárním zobrazení	40
Obrázek 3.1-1 Zapojení vícestupňového zatíženého děliče napětí	42
Obrázek 3.1-2 Náhradní schéma Théveninova teorému	43
Obrázek 3.1-3 Náhradní schéma Théveninova teorému	45
Obrázek 3.2-1 Zapojení vícestupňového zatíženého děliče napětí - varianta 1	47
Obrázek 3.2-2 Zapojení vícestupňového zatíženého děliče napětí - varianta 2	48
Obrázek 3.2-3 Zapojení vícestupňového zatíženého děliče napětí - varianta 3	48
Obrázek 3.2-4 Náhradní schéma Nortonova teorému	49
Obrázek 3.2-5 Náhradní schéma Nortonova teorému	54
Obrázek 3.2-6 Náhradní schéma dle Théveninova teorému	54
Obrázek 3.2-7 Náhradní schéma dle Nortonova teorému	55
Obrázek 4.1-1 Zapojení vícestupňového děliče se dvěma zdroji napětí	56
Obrázek 4.1-2 Zapojení vícestupňového děliče se dvěma zdroji napětí	57
Obrázek 4.1-3 Zjednodušené zapojení vícestupňového děliče se dvěma zdroji napětí	59
Obrázek 4.1-4 Zjednodušené zapojení vícestupňového děliče s jedním zdrojem napětí U_1	59
Obrázek 4.1-5 Zjednodušené zapojení vícestupňového děliče s jedním zdrojem napětí U_2	60
Obrázek 4.2-1 Zapojení zatíženého můstku	62

Obrázek 4.2-2 Náhradní schéma Théveninova teorému.....	63
Obrázek 4.2-3 Zapojení zatíženého můstku	64
Obrázek 4.2-4 Zjednodušené zapojení do hvězdy	65
Obrázek 4.2-5 Zjednodušené zapojení pro výpočet celkového odporu	65
Obrázek 4.2-6 Náhradní schéma Théveninova teorému.....	67
Obrázek 4.2-7 Zapojení rezistorů do trojúhelníku.....	67
Obrázek 4.2-8 Zapojení rezistorů do hvězdy.....	67
Obrázek 5.1-1 Zapojení pro měření velkých hodnot kapacit.....	69
Obrázek 5.1-2 Zapojení pro měření malých hodnot kapacit.....	69
Obrázek 5.1-3 Změřená závislost $I = F(f)$ pro kondenzátor $C = 100 \text{ nF}$	73
Obrázek 5.1-4 Změřená závislost $X_C = F(f)$ pro kondenzátor $C = 100 \text{ nF}$	73
Obrázek 5.1-5 Změřená závislost $I = F(f)$ pro kondenzátor $C = 3,3 \text{ nF}$	76
Obrázek 5.1-6 Změřená závislost $X_C = F(f)$ pro kondenzátor $C = 3,3 \text{ nF}$	77
Obrázek 5.2-1 Schéma zapojení přípravku pro měření kapacit kondenzátorů	80
Obrázek 5.2-2 Zapojení přípravku pro měření kapacit kondenzátorů	80
Obrázek 5.2-3 Znázorněné měření pro kapacitu $C = 10 \text{ nF}$	81
Obrázek 6.1-1 Zapojení pro měření charakteristiky diody v propustném směru.....	84
Obrázek 6.1-2 Zapojení pro měření charakteristiky diody v závěrném směru	84
Obrázek 6.1-3 $I = F(U)$ – VA charakteristika diody <i>KA262</i>	86
Obrázek 6.1-4 $I = F(U)$ – VA charakteristika diody <i>1N4007</i>	87
Obrázek 6.1-5 $I = F(U)$ – VA charakteristika diody <i>GA202</i>	88
Obrázek 6.1-6 $I = F(U)$ – VA charakteristika diody <i>BAT48</i>	89
Obrázek 6.2-1 Zapojení pro měření charakteristiky diody v propustném směru.....	91
Obrázek 6.2-2 Zapojení pro měření charakteristiky Zenerovy diody v závěrném směru	91
Obrázek 6.2-3 Změřená $I = F(U)$ - VA charakteristika pro Zenerovu diodu <i>BXZ55C 3V0</i>	95
Obrázek 6.2-4 Výpočet Direfenciálního odporu Zenerovy diody <i>BXZ55C 3V0</i>	95
Obrázek 6.2-5 Změřená $I = F(U)$ - VA charakteristika pro Zenerovu diodu <i>4NZ70</i>	96
Obrázek 6.2-6 Výpočet Direfenciálního odporu Zenerovy diody <i>4NZ70</i>	97
Obrázek 7.1-1 Zapojení pro měření charakteristiky LED diody v propustném směru	99
Obrázek 7.1-2 $I = F(U)$ – VA charakteristika pro Red LED.....	101
Obrázek 7.1-3 $I = F(U)$ – VA charakteristika pro Yellow LED	102
Obrázek 7.1-4 $I = F(U)$ – VA charakteristika pro Green LED	103
Obrázek 7.1-5 $I = F(U)$ – VA charakteristika pro Blue LED.....	104
Obrázek 7.1-6 $I = F(U)$ – VA charakteristiky měřených LED diod.....	104
Obrázek 7.2-1 Zapojení pro měření VA charakteristiky NTC termistoru	107
Obrázek 7.2-2 Zapojení pro měření VA charakteristiky PTC termistoru.....	108
Obrázek 7.2-3 Změřená VA charakteristika $I = F(U)$ NTC termistoru.....	109
Obrázek 7.2-4 Změřená VA charakteristika $I = F(U)$ PTC termistoru	110
Obrázek 8.1-1 Zapojení pro měření sériového LC obvodu.....	112
Obrázek 8.1-2 Naměřené hodnoty napětí $U_L = F(f)$, $U_C = F(f)$ pro sériový LC obvod.....	114
Obrázek 8.1-3 Vypočítané hodnoty reaktance $X_L = F(f)$, $X_C = F(f)$ pro sériový LC obvod	114
Obrázek 8.1-4 Naměřené hodnoty proudu $I = F(f)$ pro sériový LC obvod.....	115
Obrázek 8.1-5 Vypočítané hodnoty impedance $Z = F(f)$ pro sériový LC obvod.....	115
Obrázek 8.2-1 Zapojení pro měření paralelního LC obvodu	117
Obrázek 8.2-2 Náhradní schéma pro kombinace duálních obvodů R , L a C	118
Obrázek 8.2-3 Naměřené hodnoty proudů $I = F(f)$, $I_L = F(f)$ a $I_C = F(f)$ pro paralelní LC obvod	120
Obrázek 8.2-4 Vypočítané hodnoty reaktance $B_L = F(f)$, $B_C = F(f)$ pro paralelní LC obvod	120
Obrázek 8.2-5 Vypočítané hodnoty Admitance $Y = F(f)$ pro paralelní LC obvod	121
Obrázek 8.2-6 Vypočítané hodnoty impedance $Z = F(f)$ pro paralelní LC obvod.....	121

Obrázek 9.1-1 Zapojení pro měření frekvenční charakteristiky dolní propusti RC článku	124
Obrázek 9.1-2 Zapojení pro měření s konstantou τ integračního RC článku.....	125
Obrázek 9.1-3 Změřená A_{dB} charakteristika RC článku.....	127
Obrázek 9.1-4 Vypočítaná A_{dB} charakteristika RC článku	127
Obrázek 9.1-5 Změřená fázová charakteristika RC článku	128
Obrázek 9.1-6 Zobrazení měření pro konstantu $\tau/2$	129
Obrázek 9.1-7 Zobrazení měření pro konstantu τ	129
Obrázek 9.1-8 Zobrazení měření pro konstantu 2τ	130
Obrázek 9.1-9 Zobrazení měření pro napětí U_{2nab}	130
Obrázek 9.1-10 Zobrazení měření pro napětí U_{2vyb}	131
Obrázek 9.2-1 Zapojení pro měření frekvenční charakteristiky horní propusti CR článku	133
Obrázek 9.2-2 Zapojení pro měření s konstantou τ derivačního CR článku.....	134
Obrázek 9.2-3 Změřená A_{dB} charakteristika CR článku.....	136
Obrázek 9.2-4 Vypočítaná A_{dB} charakteristika CR článku	136
Obrázek 9.2-5 Změřená fázová charakteristika CR článku	137
Obrázek 9.2-6 Zobrazení měření pro konstantu $\tau/2$	138
Obrázek 9.2-7 Zobrazení měření pro konstantu τ	138
Obrázek 9.2-8 Zobrazení měření pro konstantu 2τ	139
Obrázek 9.2-9 Zobrazení měření pro napětí U_{2nab}	139
Obrázek 9.2-10 Zobrazení měření pro napětí U_{2vyb}	140
Obrázek 10.1-1 Zapojení pro měření charakteristiky proudového zesílení tranzistoru NPN	142
Obrázek 10.1-2 Změřená charakteristika proudového zesílení nakrátko $I_C = F(I_B)$ pro tranzistor $BC546B$	144
Obrázek 10.2-1 Zapojení pro měření vstupní charakteristiky tranzistoru NPN.....	146
Obrázek 10.2-2 Změřená vstupní charakteristika $I_B = F(U_{BE})$ pro tranzistor $BC546B$ a výpočet vstupního odporu r_{BE}	148
Obrázek 10.2-3 Zapojení tranzistoru NPN se SE	148
Obrázek 10.2-4 Zapojení tranzistoru NPN se SB	149
Obrázek 10.2-5 Zapojení tranzistoru NPN se SC	149
Obrázek 11.1-1 Zapojení pro měření výstupní charakteristiky tranzistoru NPN.....	151
Obrázek 11.1-2 Změřená výstupní charakteristika $I_C = F(U_{CE})$ při $I_B = \text{konst.}$ pro tranzistor $BC546B$	153
Obrázek 11.1-3 Přehled stejnosměrných napětí a proudů	154
Obrázek 11.2-1 Zapojení pro měření převodní charakteristiky tranzistoru NPN	156
Obrázek 11.2-2 Změřená převodní charakteristika $I_C = F(U_{BE})$ při $U_{CE} = \text{konst.}$ pro tranzistor $BC546B$	158