



Základy elektrického měření

Milan Kulhánek



Úvodní slovo

Tato publikace je napsána na základě projektu s cílem vytvořit učebnu „*Počítačem plně podporovaná měřicí učebna pro analogovou a digitální analýzu elektronických obvodů s podporou simulačního programu a následně navazující implementací do interaktivní formy výuky pomocí SMART BOARDU*“.

Cílem projektu je vytvoření výukových materiálů a jejich pilotní ověření v praxi, které žákům umožní v nově vybudované učebně simulovat závady v elektronických a elektrotechnických obvodech, odstraňovat je a aplikovat na konkrétní požadované funkce integrované do systému složitějších a na sebe navazujících bloků a celků.

Součástí tohoto projektu je nastavení systému spolupráce dílen odborného výcviku.

Electronics Workbench Multisim – uživatelský manuál s podrobným vysvětlením funkce.

Úlohy pro simulační program Multisim 10.0 – 32 kompletně vypracovaných úloh pro simulační program Multisim, z nichž polovinu tvoří úlohy pro pracoviště analogových měření a druhou polovinu zastupují úlohy zabývající se digitální technikou a obvody TTL.

IP technologie určené k přenosu dat, zálohování dat, zajištění přenosu informací mezi dílnami – IP kamery, datové sítě a možnosti dnešních komunikačních programů v reálném prostředí s maximálním využitím klasického počítače, jakožto prostředku k zálohování dat, přenosu informací a komunikaci.

Základy elektrického měření – základní principy měření, používané metody měření, druhy měř. přístrojů a úlohy pro měření.

Číslicová technika – základy číslicové techniky, principy funkce klopných obvodů, úlohy pro stavbu obvodů v prostředí Dominoputer.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat za technickou kontrolu a cenné připomínky ke knize panu Ing. Aleši Voborníkovi, Ph.D. z oddělení měření KET ZČU.

© 2007 Střední odborné učiliště elektrotechnické, Vejprnická 56, 31800, Plzeň

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky

Obsah

1. Základní elektrotechnické veličiny.....	3
2. Metody elektrického měření.....	4
3. Chyby při měření.....	5
4. Citlivost měřících přístrojů.....	6
5. Měřící přístroje.....	7
5.1 Druhy měřících přístrojů.....	7
5.2 Dílenské multimetry.....	9
5.2 Osciloskopy.....	15
6. Nejpoužívanější zákony při měření.....	19
7. Měření elektrických veličin a pasivních součástek.....	20
7.1 Měření elektrického napětí.....	22
7.2 Měření elektrického proudu.....	21
7.3 Měření elektrického výkonu.....	22
7.4 Měření elektrického odporu.....	23
7.5 Měření kapacity.....	25
7.6 Měření indukčnosti.....	28
7.7 Návrh a měření děliče napětí.....	30
8. Úpravy rozsahů měřících přístrojů.....	32
8.1 Zvětšení rozsahu vertikálního vstupu osciloskopu.....	32
8.2 Cejchování rozsahů měřících přístrojů.....	34
8.3 Měření základních parametrů měřícího modulu.....	34
8.4 Nastavení voltmetru pro daný rozsah.....	35
8.5 Nastavení ampérmetru pro daný rozsah.....	37
9. Měření polovodičových diskrétních součástek.....	38
9.1 Měření usměrňovacích diod.....	38
9.2 Měření Zenerovo diod.....	40
9.3 Měření přechodů bipolárních tranzistorů.....	42
9.4 Měření zbytkových proudů bipolárních tranzistorů.....	44
9.5 Měření proudového zesilovacího činitele bipolárních tranzistorů.....	46
9.6 Měření voltampérové charakteristiky bipolárních tranzistorů.....	48
9.7 Měření na tranzistoru – postupné otevírání přechodů.....	49
9.8 Měření bipolárního tranzistoru ve spínacím režimu.....	50
9.9 Měření bipolárního tranzistoru v zesilovacím režimu.....	52
10. Příklady protokolů o měření – vzory úloh.....	55
10.1 Jednostupňový tranzistorový nf předzesilovač.....	55
10.2 Astabilní klopný obvod.....	59
10.3 Předzesilovač s tranzistorem J-FET.....	63
10.4 Galvanické (izolované) oddělení mezi obvody – optočlen.....	67
10.5 Aktivní dolní propust – Butterworthův filtr 2. řádu.....	71
11. Literatura	75

1. Základní elektrické veličiny (výběr)

Název veličiny	Značka	Název jednotky	Značka
Elektrické napětí	U	Volt	V
Elektrický proud	I	Ampér	A
Elektrický odpor	R	Ohm	Ω
Zdánlivý odpor - impedance	Z	Ohm	Ω
Reaktance kapacitní	X_C	Ohm	Ω
Reaktance indukční	X_L	Ohm	Ω
Elektrický výkon	P	Watt	W
Elektrická vodivost	G	Siemens	S
Elektrický náboj	Q	Coulomb	C
Kapacita	C	měřicí	F
Indukčnost	L	Henry	H
Kmitočet	f	Hertz	Hz
Čas	T	sekunda	s

Všechny uvedené nejpoužívanější veličiny a jejich jednotky mají mnoho dalších podob a významů od každé z nich. Rozlišují se např. hodnoty stejnosměrné, střídavé, vrcholové, efektivní, střední aj. Specializace značení se provádí přidáním příslušného indexu k dané veličině. Rovněž jednotky se liší podle hodnoty, označené předponou dekadického násobku.

Předpony jednotek:

10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	1	10^3	10^6	10^9	10^{12}
p	n	μ	m		k	M	G	T
piko	nano	měřicí	mili		kilo	mega	giga	tera

Stručná charakteristika základních veličin:

Napětí U je rozdíl dvou potenciálů ve V, obecně – o kolik voltů je jeden bod kladnější než druhý, zpravidla zjistíme přítomnost napětí a jeho velikost na některém bodu v obvodu proti společné zemi.

Proud I je tok elektronů v A uzavřeným obvodem a je důsledkem přítomnosti napětí, tj. rozdílu potenciálů dvou bodů obvodu, obecně odněkud – někam - něčím (někudy).

Odpor R je odpor v Ω , který vodič nebo součástka klade elektrickému proudu. Převrácená hodnota elektrického odporu je elektrická vodivost $G = 1/R$.

Kapacita C v F je schopnost kondenzátoru vázat el. náboj při daném napětí.

Indukčnost L v H je schopnost cívky vytvářet magnetické pole.

Náboj Q je tzv. elektrické množství v C.

Kmitočet f (frekvence) - počet opakujících se cyklů za sekundu – Hz.

Doba trvání cyklu T se nazývá perioda (kmit), udává se v s a je vyjádřena $T = 1/f$.

2. Metody elektrického měření

Podle způsobu odečítání měřené hodnoty:

- *přímá* – údaj odečteme přímo ze stupnice nebo displeje přístroje

- *nepřímá* - pomocí přímo změřených hodnot vypočteme výslednou (např. V-A metoda)

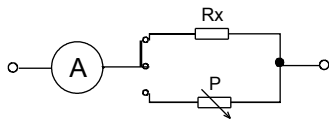
Podle principu měřícího přístroje:

- *výchylková* - naměřenou hodnotu přímo udává poloha ručky nebo číslo na displeji

- *nulová* - výchylku přístroje musíme " vyvážit, vynulovat", hodnotu měřené veličiny zjistíme na ovládacích prvcích přístrojů. Tato metoda se u digitálních přístrojů nepoužívá.

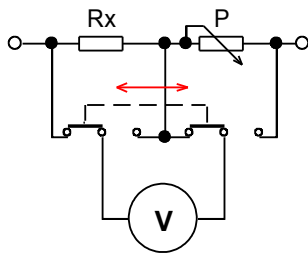
Podle podstaty měření: (metody nepřímé)

- *substituční* - velikost elektrické veličiny získáme pomocí známé náhradní součástky, která má ve stejně nastaveném měřícím obvodu stejné parametry. Lze použít např. při měření neznámých hodnot rezistorů, kdy neznámý rezistor je ve zkušebním zapojení nahrazen odporovou dekádou a po nastavení stejné hodnoty proudu určíme odpor dekády. Ten rovná odporu měřeného rezistoru.



Obrázek č. 1
Substituční metoda

- *porovnávací* - neznámou součástku zapojíme do série se součástkou známé hodnoty. Obě tvoří proudový obvod. Porovnáваме účinky (např. úbytky napětí). Hodnoty součástek jsou ve stejném poměru jako změřené úbytky napětí (přímý nebo nepřímý).



Obrázek č. 2
Porovnávací metoda

- *rezonanční* - určení hodnoty součástky (kondenzátor, cívka) se vypočítává při dosažení rezonančního kmitočtu - Thomsonův vzorec.

- *kompensační* – vhodnou metodou je vykompenzován – odstraněn – vliv spotřeby měřících přístrojů.

3. Chyby při měření

„Výsledek měření je hodnota měřené veličiny získaná měřením, případně výpočtem z naměřených hodnot“. Potud suchá definice. Popravdě řečeno, žádným měřením však nelze úplně přesně zjistit správnou – skutečnou – hodnotu měřené veličiny. Je mnoho rušivých vlivů, které přesnost měření ovlivňují. Např. nedokonalost přístrojů, změny teplot, stárnutí součástek a i nedokonalost pracovníka. Proto při měření jsou důležité meze, ve kterých se naměřená hodnota může pohybovat, tj. velikost chyby při měření. Čím je chyba menší, tím je výsledek měření přesnější. V praxi tedy hodnotíme přesnost měření podle velikosti chyb. Podle požadavků na přesnost volíme způsob měření, který je pro daný úkol vyhovující. Je přirozené, že velmi přesné laboratorní postupy jsou nákladné a časově náročné. Naproti tomu rychlá dílenská měření dosahují menší přesnosti. Jejich výsledek nemusí být vždy správný.

Druhy chyb

Podle místa vzniku -

Chyby metody – vznikají díky různým zjednodušováním výpočtů, zjednodušováním zapojení měřicího obvodu, vliv spotřeby měřicího přístroje apod. Chyby tohoto druhu lze obvykle vypočítat a vykompenzovat.

Chyby přístrojů – jsou způsobeny vlastnostmi – nedokonalostí přístrojů. Je to dovolená chyba přístroje – měřicího systému – daná třídou přesnosti.

Chyby pracovníka – např. nesprávná volba metody měření, postupu, chybné zapojení obvodu, chybné čtení hodnot, chybné výpočty, atd. Zkrátka vina lidského faktoru.

Podle charakteru -

Chyby soustavné – systematické – jsou chyby, které se pravidelně vyskytují při konkrétním způsobu měření. Jsou zaviněné metodou měření, kvalitou měřicích přístrojů, odpovědností obsluhy, apod. Většinou se opakují a zkreslují výsledek i při opakovaném měření. Obvykle známe přibližnou velikost a můžeme korigovat výsledek.

Chyby nahodilé – vyskytují se nahodile, nepravidelně. Lze je odhalit až po opakovaném měření. Eliminujeme je několikerým opakováním, vyčíslením odchylek a zprůměrováním – střední hodnotou – výsledku. Získaná hodnota se nejvíce přibližuje skutečné velikosti měřené veličiny.

Chyby hrubé – jsou chyby vzniklé omylem, nepozorností nebo špatnými podmínkami. Nápadně se liší od obvyklých – předpokládaných hodnot. V praxi je vyřadíme a dále s nimi nepracujeme.

Chyby analogových měřicích přístrojů

Hlavními příčinami jsou nepřesnost při výrobě a kalibraci, rušivé síly (tření ložisek), rušivá elektrická a magnetická pole, oteplení, stárnutí materiálů, opotřebení nebo poškození mechanických dílů.

Absolutní chyba – rozdíl skutečné a měřené veličiny. Protože ji nelze prokazatelně nikdy zjistit, v praxi ji nahrazujeme konvenční pravou hodnotou. Udává se v jednotkách měřené veličiny.

Relativní chyba – je to absolutní chyba ve vztahu k skutečné hodnotě měřené veličiny. Udává se v %.

Třída přesnosti – zahrnuje všechny dílčí chyby, určuje mezní relativní chybu ve všech rozsazích měřicího přístroje. Třída přesnosti měřicího přístroje určuje relativní chybu v % z každého rozsahu.

Díky třídě přesnosti lze analogové měřicí přístroje jednoduchým způsobem přeměřit. Zjistit, zda zjištěné odchylky nepřesahují danou hodnotu v rozsahu celé stupnice.

Chyby digitálních měřicích přístrojů

Především je nutné upozornit na to, že snadnost odečtu hodnoty měřené veličiny z displeje nekoresponduje s automaticky vyšší přesností. Může tomu velmi často být právě naopak. Digitalizace ne vždy znamená vyšší kvalitu. Jako kvalita analogových přístrojů závisí na jemnosti měřicího systému, digitální přístroje jsou ovlivněny kvalitou převodníku A/D. Většinou kvalitně měří pouze stejnosměrné veličiny. U ostatních je již chyba větší.

Chyba z naměřené hodnoty – je udávána v % a je v celém rozsahu stejná.

Chyba z měřicího rozsahu – nelze ji sčítat s chybou z naměřené hodnoty. Udává se z celého rozsahu.

Chyba digitů posledního místa displeje – závisí na počtu zobrazovaných míst displeje. U běžných digitálních multimetrů většinou 1999 => 2000 digitů. Přepočítává se chybu v %.

Z těchto údajů se vypočítává celková relativní chyba digitálního měřicího přístroje.

U digitálních přístrojů s pevnými rozsahy se lehce dostaneme do situace, kdy relativní chyba může ovlivnit naměřenou hodnotu. Hlavně při nízkém využití zvoleného rozsahu. Moderní přístroje tento nedostatek částečně odstraňují automatickou volbou nejhodnějšího rozsahu. Tím zaručují větší využití všech digitů displeje. Výhodnější se také jeví multimetry s max. hodnotou 4999. Některé multimetry mohou mít rozsahy oba.

Hodnoty max. chyb jsou udány výrobcem v průvodním listu přístroje.

Chyby nepřímých měření

Vznikají při výpočtech měřené veličiny pomocí výpočtu. Použité veličiny již jsou změřené s určitou vlastní chybou. Další odchylky získáme výpočtem – zaokrouhlením výsledku, početními úkony (součet – rozdíl, součin – podíl, mocnina – odmocnina). Podle postupu výpočtů lze stanovit max. chybu při stanovení výsledné veličiny.

4. Citlivost měřicích přístrojů:

Týká se hlavně analogových přístrojů. V principu daná nejmenším rozsahem přístroje, nejmenší změřitelnou hodnotou. Udává se v počtu dílků stupnice na jednotku měřené veličiny. Citlivost je tím vyšší, čím je větší počet dílků na jednotku. Měření je citlivější, jestliže předvolíme vhodnější – jemnější rozsah. Měření je nejpřesnější, jestliže se výchylka pohybuje ve druhé polovině stupnice analogových přístrojů nebo je plně využitý displej u digitálních multimetrů.

5. Měřicí přístroje

Při měření elektrických veličin používáme různé typy měřicích přístrojů. V současné době je nabídka velmi široká a splní požadavky pro začátečníky i náročné.

Podle typu rozdělujeme měřicí přístroje na pasivní a elektronické. Pasivní přístroje jsou vždy analogové (ručkové), jsou napájeny proudem z obvodu, ve kterém provádíme měření, většinou více zatěžují obvod. Elektronické přístroje jsou všechny typy multimetrů, analogových i digitálních. Mají vlastní zdroj napájecího napětí (baterii) nebo napájení ze sítě. Vyznačují se zpravidla vyšším vnitřním odporem, větším počtem rozsahů pro měření různých elektrických veličin, jsou univerzálnější.

5.1 Druhy měřicích přístrojů

Analogové přístroje dělíme podle soustavy – systému. V současné době se používají jen některé. Dochází k náhradě analogových systémů digitálními přístroji pro jednodušší výrobu a obsluhu, pro snazší odečet naměřených hodnot.

Značení měřicích přístrojů

Značky jsou umístěny na okraji stupnice. Informují o druhu použitého měřicího systému v daném přístroji, o způsobu použití. Je velmi nutné dodržovat pokyny výrobce pro dosažení vyhovující přesnosti. Toto značení se používá u analogových přístrojů.

1) měřicí soustava – některé vyráběné a dobíhající měřicí soustavy analogových přístrojů:



Obrázek č. 3
Magnetoelektrická



Obrázek č. 4
S otočným magnetem



Obrázek č. 5
Feromagnetická



Obrázek č. 6
Elektrodynamická



Obrázek č. 7
Indukční

Magnetoelektrická soustava – s otočnou cívku (Deprais). Cívka, silou svého magnetického pole, se otáčí v poli permanentního magnetu. Tento měřicí systém je nejpoužívanější, stále se vyrábí, má lineární průběh výchylky, měří jen stejnosměrné veličiny, lze docílit přesnosti 0,1 %. Pro střídavé měření je nutné vestavět usměrňovač a lze za určitých podmínek zachovat linearitu stupnice. Značka je v této verzi doplněna symbolem diody. Pro usměrnění se používá můstkový klasický usměrňovač nebo tzv. Greinacherovo zapojení s 2 kondenzátory v polovině můstku namísto diod.

Soustava s otočným magnetem - jednoduchý, méně přesný systém. Magnet se natáčí v mag. poli pevné cívky. Měří pouze stejnosměrné veličiny. Měřidla v starších motorových vozidlech, nabíječkách. Lze docílit přesnosti max. v jednotkách %.

Feromagnetická soustava - systém má pevnou cívku, výchylka vzniká vtahováním jádra – tenkého plíšku spojeného s ručkou. V současné době již méně používaný, má nelineární

výchylku, měří stejnosměrné i střídavé (efektivní) hodnoty, lze docílit přesnosti 0,1 %.

Elektrodynamická soustava - systém s pevnou a otočnou cívkou, výchylka vzniká vzájemným působením cívek. Měří stejnosměrné i střídavé (efektivní) veličiny, má nelineární výchylku, lze docílit přesnosti 0,1 %.

Ferodynamická soustava – značka stejná, jen je umístěná v kroužku – symbolizuje železné jádro. Používaná hlavně pro wattmetry.

Indukční soustava. Dvě pevné cívky (napěťová a proudová) na Fe jádru se štěrbinou, kterou prochází otáčející se hliníkový kotouč. Otáčky jsou počítány mechanickým počítadlem. Princip elektroměru. V současné době je již tento systém nahrazovaný digitálními měřidly, které mají řadu doplňujících funkcí pro dokonalejší měření a posílání informací po síti.

2) pracovní poloha - určuje pracovní polohu multimetru, je nutné dodržet kvůli linearitě výchylky.



Obrázek č. 8
Vodorovná stupnice



Obrázek č. 9
Svislá stupnice

3) třída přesnosti - udává max. chybu zobrazené hodnoty od skutečné v kterémkoli bodu stupnice v %. Hodnotu 1 % určujeme vždy z celého příslušného rozsahu. Nejběžnější hodnoty tříd: 1, 1,5, 2,5, přesnější: 0,5, 0,2, laboratorní 0,1.

2,5

Obrázek č. 10
Třída přesnosti 2,5

1,5

Obrázek č. 11
Třída přesnosti 1,5

Může být i značka společná pro rozsahy stejnosměrné a střídavé.

4) zkušební napětí - udává hodnotu zkušebního napětí v kV. Číslo je ve středu 5-cípe hvězdičky.



Obrázek č. 12
4 kV

5) značka výrobce - často se neuvádí - hlavně v současnosti na nových přístrojích.

6) jednotka měřené veličiny - většinou: A, mA, μ A, V, mV, v případě, že systém je použitý pro měření jiných veličin, může být popis např. C, atd.

Základní rozsah - určuje hodnotu max. výchylky samotného systému. Dáno buď popisem stupnice nebo počtem míst displeje (1999). U analogových i digitálních přístrojů bývá v řádech mV nebo μ A. Buď je tento parametr udán v průvodní dokumentaci nebo je ji nutné změřit.

Digitální přístroje rozlišujeme hlavně podle displeje – nejčastěji 3¹/₂ místný, u kvalitnějších 4¹/₂ místný, i více, možná automatická změna rozsahů, přepínání desetinné tečky aj. Analogové přístroje musí mít rozsahy odvozené z dělení stupnice pro jednoduchý odečet.

5.2 Dílenské multimetry

Přístroje rozlišujeme na analogové – ručkové a digitální – číslicové. Oba typy mají své výhody a nevýhody. Z hlediska výroby jsou jednodušší přístroje digitální a i proto v dnešní době na trhu převládají. Vyznačují se snazší obsluhou, rychlejším odečtem naměřených hodnot. Při srovnání z hlediska přesnosti jsou oba typy pro dílenskou praxi v podstatě rovnocenné. U analogového přístroje ovlivňuje přesnost měření kvalita elektromechanického systému měřící soustavy, u digitálního přístroje přesnost A/D převodníku. Rovněž přesnost složení součástek pro předvolbu rozsahů. Nedá se tedy tvrdit, že digitální přístroj je vždy kvalitnější. Analogové přístroje jsou rozhodně výrobně pracnější, z toho vyplývají i vyšší ceny a snad i proto jsou na ústupu.

Podle způsobu napájení dělíme přístroje na elektronické – mají vlastní zdroj napětí, síťový zdroj nebo baterii a přístroje napájené přímo měřeným proudem. Elektronické multimetry se vyznačují velmi vysokým vstupním odporem, většinou 10 M Ω . Prakticky nezatěžují měřený obvod. Naproti tomu přímo napájené přístroje aby docílily stejných parametrů musí být vybaveny velmi kvalitním – citlivým měřícím systémem, klasické analogové přístroje mají 5 – 20 k Ω /1V. Tato vlastnost je samozřejmě výrobně náročná. V současné době je na trhu omezená nabídka panelových přístrojů pro použití v přenosných spotřebičích.

V současné době se nejvíce používají elektronické multimetry digitální. Vyznačují se jednoduchou obsluhou, snadno čitelným 3^{1/2} místným displejem a dostatečnou přesností (do 1%). Měří napětí a proud, stejnosměrné i střídavé hodnoty, elektrický odpor. Jsou vybaveny diodovým testem, akustickou zkoušečkou a možností měření proudového zesilovacího činitele tranzistorů. Podle typu multimetru je možné měřit kmitočet, kapacitu kondenzátorů, teplotu. Počet poloh přepínače rozsahů je však omezený a tak vždy platí, že velký počet měřených elektrických veličin musí být vyváženo nižším počtem některých rozsahů. Vyrábí se široký sortiment. Nevýhodou je max. kmitočet střídavých veličin – běžně do 400 Hz, max. do 1 kHz. Pro běžné dílenské měření vyhovuje tzv. střední třída. Pro náročnější a pohodlnější měření existuje široká řada multimetrů s automatickým přepínáním rozsahů, s možností zapamatování různých hodnot atd. Rovněž je možné propojení s počítačem a tím širší možnost zpracování dat.

Velkým nedostatkem je malá ochrana vstupů proti přepětí u přístrojů nižší třídy, hlavně při měření el. odporu, přechodu PN. Vždy je nutné se pozorně seznámit s instrukcemi výrobce.

Z analogových přístrojů je na trhu řada panelových měřidel, které jsou vybaveny magnetoelektrickou soustavou. Měří tedy jen stejnosměrné veličiny. Citlivost je v řádech 100 μ A, vnitřní odpor v řádech k Ω . Pro měření v elektronických obvodech tedy nejsou vhodné. Jsou hlavně využívány jako zobrazovací moduly v analogových elektronických multimetrech s vlastním napájením. Tyto typy jsou již pro dílenské měření v elektronických obvodech vhodné. Svými parametry jsou shodné s digitálními měřícími přístroji, výhodou je vyšší kmitočet měřených střídavých veličin, většinou do 15 kHz. Lze je použít pro měření nf signálu. V současné době ale již nejsou vyráběny.

Obrázek č. 13
Multimetr řady 3900 (3800)



Multimetry této řady naprosto vyhovují pro běžné dílenské měření, ve třídě 0,5 - 1. Citlivost pro měření napětí i proudů je dostačující. Proudové rozsahy jsou chráněny trubičkovou pojistkou 2,5 A, rozsah 20 A není chráněn vůbec a doba měření je omezená. Napěťové rozsahy jsou odolné proti napětí do 750 V (1000 V).

Pozor: Odporové rozsahy proti přepětí chráněny nejsou! Velmi nebezpečné už může být napětí od 5 V.

Obrázek č. 14
Multimetr typu M 890 G



Multimetry tohoto typu patří mezi sice více univerzální – větší počet měřených veličin, ale na úkor citlivosti rozsahů pro měření napětí a proudu – zejména střídavých. Přesto jsou použitelné pro běžné dílenské měření, ve třídě 0,5 - 1. Citlivost pro měření napětí i proudu je méně dostačující, zvláště pro střídavé veličiny. Chybí zvláště rozsahy pro měření malých proudů. Takto je „zaplácena“ vyšší „univerzálnost“ multimetru. Proudové rozsahy jsou chráněny trubičkovou pojistkou 400 mA, rozsah 20 A není chráněn vůbec a doba měření je omezená. Napěťové rozsahy jsou odolné proti napětí do 750 V (1000 V).

Pozor: Odporové rozsahy proti přepětí chráněny nejsou! Velmi nebezpečné už může být napětí od 5 V.

Obrázek č. 15
Multimetr typu PU 510

Zdířky jsou umístěné z čela přístroje

Zdířka pro
proudové rozsahy
+/-1 A

Zdířka pro test diod

Zdířka společná
„zem“

Zdířka pro rozsahy
napětíové, proudové
do 200 mA

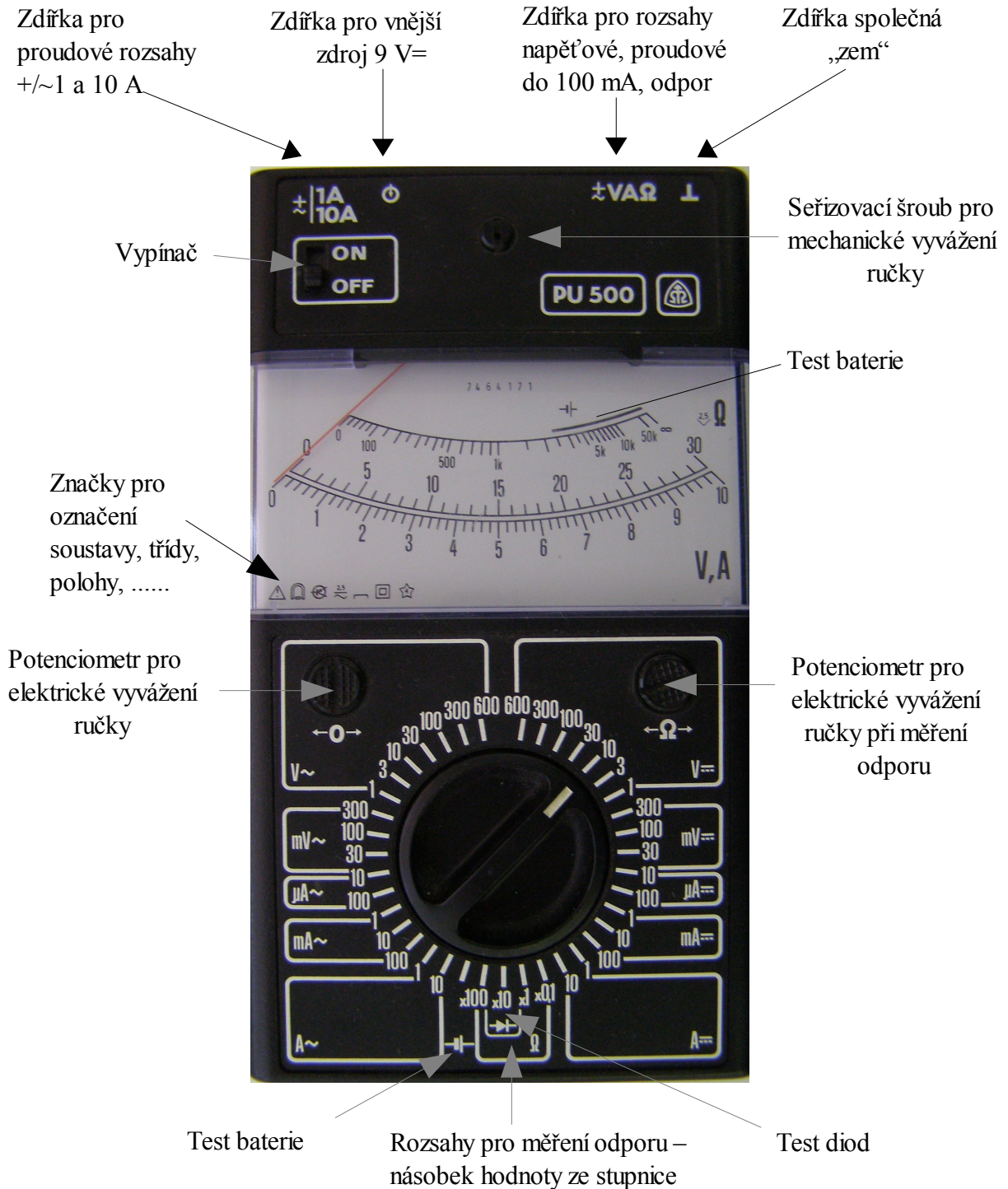


Předvolba rozsahů je volena jako u předcházejících přístrojů. Multimetry této řady vyhovují pro laboratorní měření, ve třídě 0,5. Citlivost pro měření napětí i proudů je dostačující. Proudové rozsahy jsou chráněny trubičkovou pojistkou 1,5 A, rozsah 20 A není chráněn vůbec a doba měření je omezená. Napětíové rozsahy jsou odolné proti napětí do 750 V (1000 V).

Pozor: Odporové rozsahy proti přepětí chráněny nejsou! Velmi nebezpečné už může být napětí od 5 V.

Obrázek č. 16
Analogový multimetr řady PU 500

Zdířky jsou umístěné z čela přístroje



Předvolba rozsahů je volena jako u předcházejících přístrojů. Rozsahy vychází z dělení stupnice, pokud možno jednoduché násobky, pro snadný odečet výchylky a výpočet hodnoty. Stupnice jsou v tomto případě dvě, umožňují tzv. překrytí rozsahů. Tato vlastnost zvyšuje přesnost měření. U digitálních přístrojů to není možné. Multimetry této řady vyhovují pro dílenské

měření, ve třídě 2,5. Citlivost rozsahů pro měření napětí i proudů je dostačující. Proudové rozsahy jsou chráněny trubičkovou pojistkou 1,5 A, rozsah 10 A není chráněn vůbec a doba měření je omezená. Střídavé napětí měří do kmitočtu 10 kHz.

Postup při měření PU 500 – (analogovým přístrojem):

- 1) Před zapnutím přístroje mechanicky vyvážíme ručku přesně na „0“.
- 2) Přepínač rozsahů přepneme na test baterie a zkontrolujeme. Jestliže stupnice indikuje baterii jako vybitou, je nutné ji vyměnit. Měření by nebylo přesné.
- 3) Po zapnutí zkontrolujeme ustálení ručky na „0“ a podle potřeby vyvážíme.
- 4) Předvolíme největší rozsah pro měřenou veličinu a zapojíme přístroj do obvodu. Pozor na polarizování přívodů. Ručka se musí vychýlit na správnou stranu.
- 5) Podle potřeby přepneme rozsah na citlivější. **Pozor na překročení!!!**
- 6) Provedeme odečet za stupnice a vypočítáme hodnotu měřené veličiny.

Příklad výpočtu hodnoty ze stupnice – při měření stejnosměrného napětí



Obrázek č. 17
Rozsah 10 V



Obrázek č. 18
Rozsah 30 V

Pro rozsah 10 V -

$$\text{Napětí } U = \frac{\text{rozsah přístroje}}{\text{rozsah stupnice}} \cdot \text{výchylka} = \frac{10}{10} \cdot 7 = 7 \text{ V}$$

Pro rozsah 30 V -

$$\text{Napětí } U = \frac{\text{rozsah přístroje}}{\text{rozsah stupnice}} \cdot \text{výchylka} = \frac{30}{30} \cdot 10 = 10 \text{ V}$$

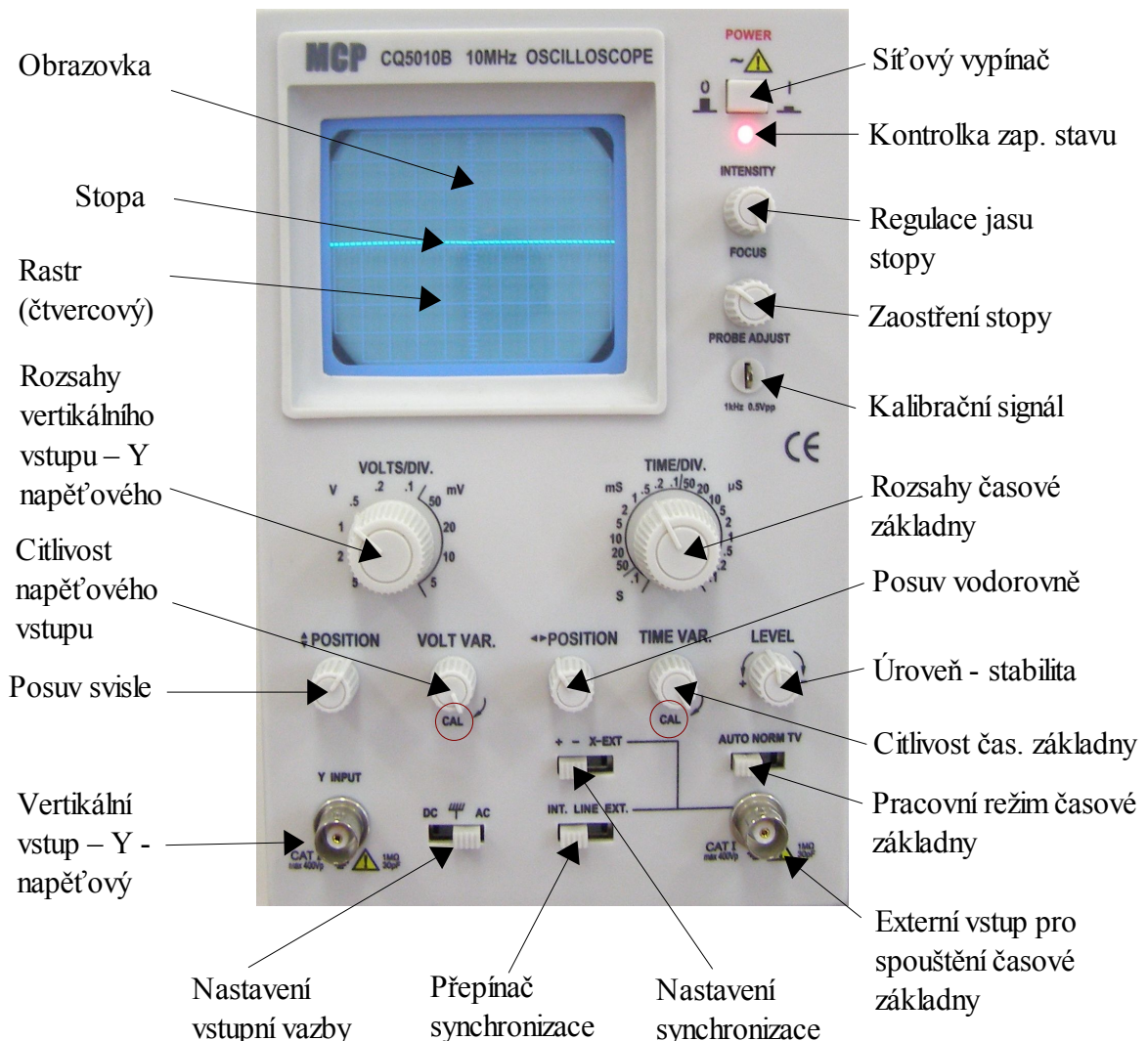
5.2 Osciloskopy

Osciloskop je měřicí přístroj, který nejenom měří elektrické napětí, ale zobrazuje i jeho průběh v časovém úseku. Zapojuje se do obvodu jako voltmetr – paralelně k měřeným bodům. Z toho plyne požadavek na velký vstupní odpor, většinou 1 M Ω a malou kapacitu, do 30 pF. Měřený děj je zobrazovaný na stínítku obrazovky. Výška stopy – amplituda – informuje o napětí, vodorovně lze odečíst čas a z něho vypočítat kmitočet.

Osciloskopy rozlišujeme analogové a digitální na jednonábové a více nábové. Pro jednoduché měření se častěji používají osciloskopy analogové. Zobrazují sice méně informací, jsou ale levnější a mají jednodušší ovládání. Pro začínající jsou zcela dostačující.

Obrázek č. 19

Příklad čelního panelu běžného analogového jednonábového osciloskopu.



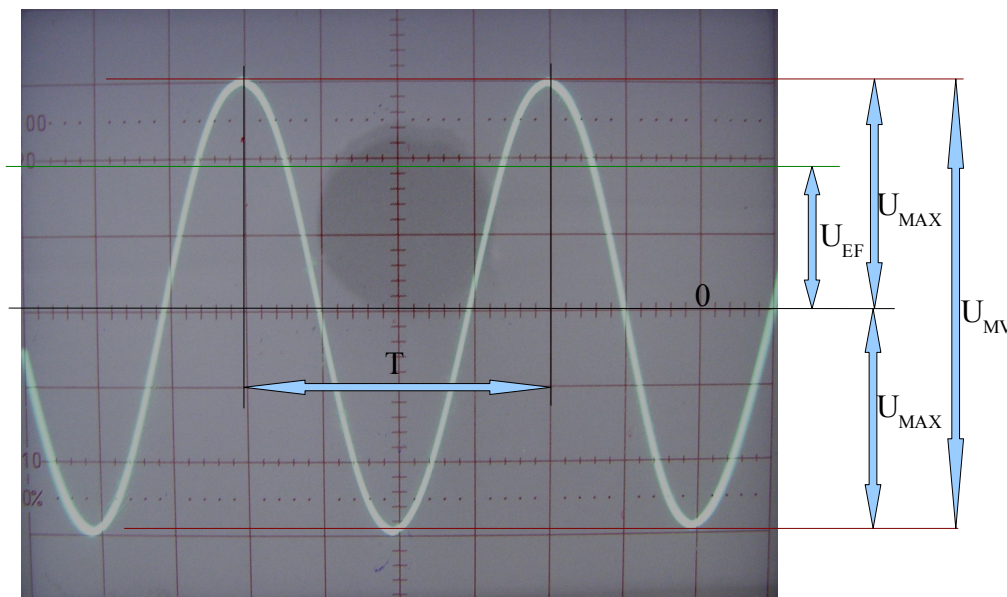
Ovládací prvky analogových osciloskopů jsou u různých typů v podstatě shodné. Dvou- a vícekanábové osciloskopy mají ovládání vstupů Y pro každý kanál zvlášť, časová základna je

společná. Obrazovka je rozdělena ryskami na čtverce – rastr. Počet čtverců nemusí být u různých výrobců stejný. Závisí také na velikosti přístroje. Střední osy rastru, vodorovná i svislá, jsou rozdělené ještě po $\frac{1}{5}$. Tím se zvyšuje rozlišitelnost průběhu stopy na rastru. Přesnost měření je nejvíce ovlivněna schopností lidského oka rozeznat děj na obrazovce.

Pro kontrolu přístroje používáme výstup kalibračního signálu. Většinou má obdélníkový průběh, na kterém nejsnadněji rozlišíme chyby. Kmitočet bývá 1 kHz a napětí 0,5 V. Zkušební signál pomocí sondy přivedeme na vstup Y. Nastavíme vstupní vazbu DC - stejnosměrný režim a interní synchronizaci časové základny – INT. Pracovní režim časové základny do polohy AUTO. Přepínači rozsahů napěťového vstupu a časové základny nastavíme optimální velikost děje na stínítku obrazovky. Nejvýhodnější je cca 75 % využití rastru vodorovně a svisle. Abychom mohli odečíst z obrazovky hodnoty napětí a času je důležité potenciometry pro změnu citlivosti nastavit do polohy CAL. Stopa na stínítku by měla odpovídat kalibračnímu signálu.

Příklady měření: (znázornění měřených veličin a jejich vztahy)

Obrázek č. 20
Harmonický sinusový signál.



Na rastru rozlišujeme:

- vodorovně – osa X – čas T pro 1 kmit (periodu), kmitočet vypočítáme $f = \frac{1}{T}$ [s, Hz]
- svisle – osa Y – napětí U_{MV} , tzv. mezivrcholovou hodnotu (amplitudu).

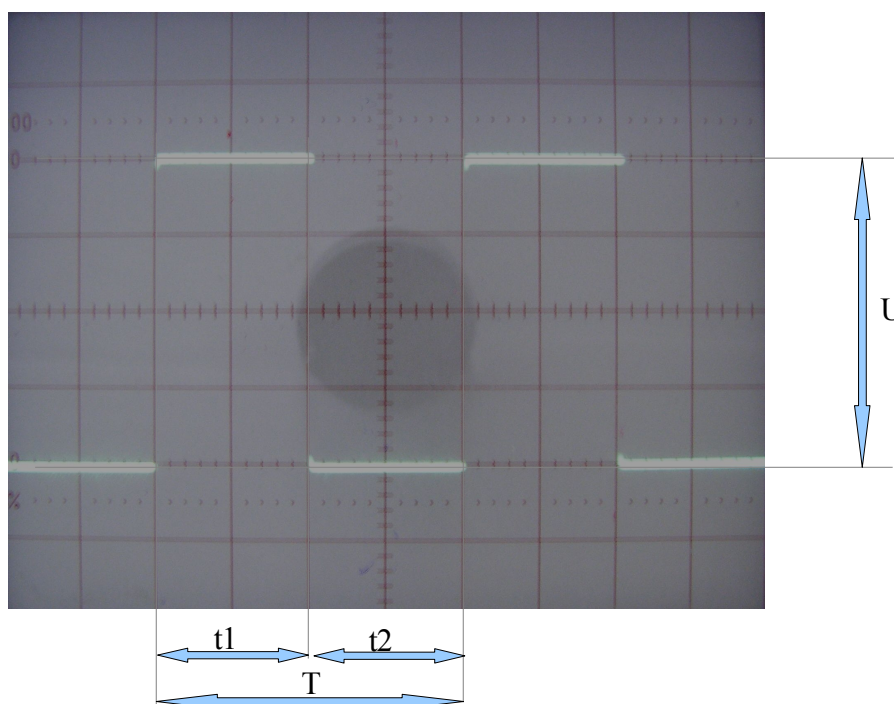
Pro měření sinusového signálu nastavíme:
vstupní vazbu – AC, synchronizaci INT, +, režim časové základny AUTO. Chceme-li odečíst hodnoty z obrazovky, nastavíme potenciometry citlivosti do polohy CAL. Vhodným posuvem stopy vertikálně a horizontálně umístíme sinusovku na rastr a odečteme délku a výšku periody. Přepočítáme zjištěné délky a $\frac{1}{5}$ dílků na hodnoty U_{MV} a T.

Poloviční hodnota, odvozená z U_{MV} se značí U_{MAX} a projeví se hlavně po usměrnění střídavého napětí.

Multimetry přepnuté na střídavé rozsahy měří hodnotu střední nebo efektivní. Efektivní hodnotu U_{EF} lze vypočítat z průběhu sinusovky na osciloskopu podle vztahu:

$$U_{EF} = \frac{U_{MV}}{2 \cdot \sqrt{2}} \text{ [V]}$$

Obrázek č. 21
Obdélníkový signál – pravouhlý.



Na rastru rozlišujeme:

- vodorovně – osa X – čas T pro 1 kmit (periodu), kmitočet vypočítáme $f = \frac{1}{T}$ [s, Hz]
- svisle – osa Y – napětí U.

Obrazovka zobrazuje pouze vodorovné stopy – úroveň U a 0. Svislé stopy nejsou vidět – jsou-li kolmé. Šikmé náběžné a úběžné hrany impulsů již zobrazovány jsou.

Pro měření obdélníkového signálu nastavíme:

vstupní vazbu – DC, synchronizaci INT, +, režim časové základny AUTO. Chceme-li odečíst hodnoty z obrazovky, nastavíme potenciometry citlivosti do polohy CAL. Vhodným posuvem stopy vertikálně a horizontálně umístíme průběh na rastr a odečteme délku a výšku kmitu. Přepočítáme zjištěné délky a $\frac{1}{5}$ dílků na hodnoty U a T.

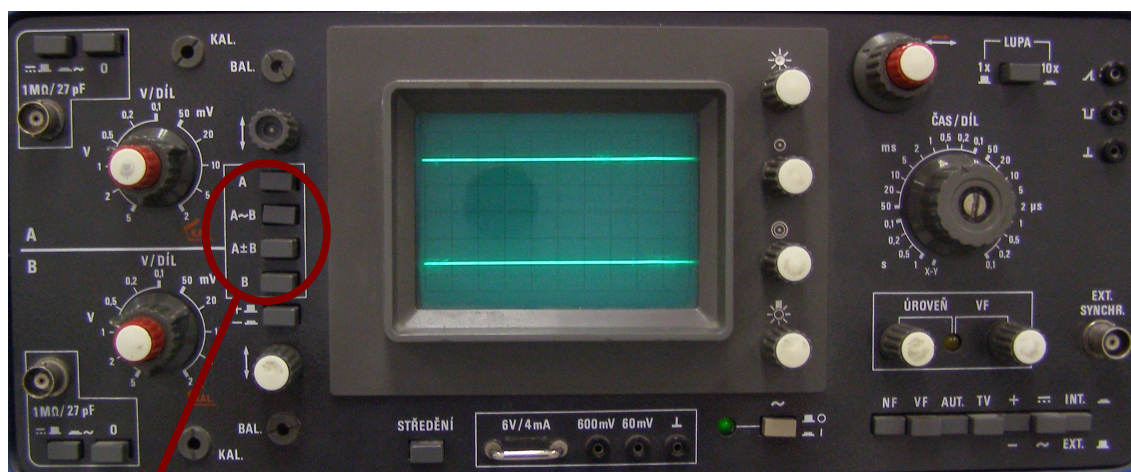
U obdélníkového průběhu většinou rozlišujeme dobu, kdy je zobrazováno napětí – úroveň H a dobu, kdy je indikována 0. Tyto časy značíme t1 a t2.

Samozřejmě musí platit: $T = t1 + t2$

Obě doby většinou nebývají stejné, obvykle jedna je delší než druhá. Pak hovoříme o tzv. střídě signálu. Vyjadřujeme ji podílem. Např.: 1 : 2, 1 : 4, atd.

Obrázek č. 22

Příklad čelního panelu běžného analogového dvoukanalového osciloskopu.



Volba kanálů:

A nebo B – na obrazovce se objeví jen signál zvoleného vstupu

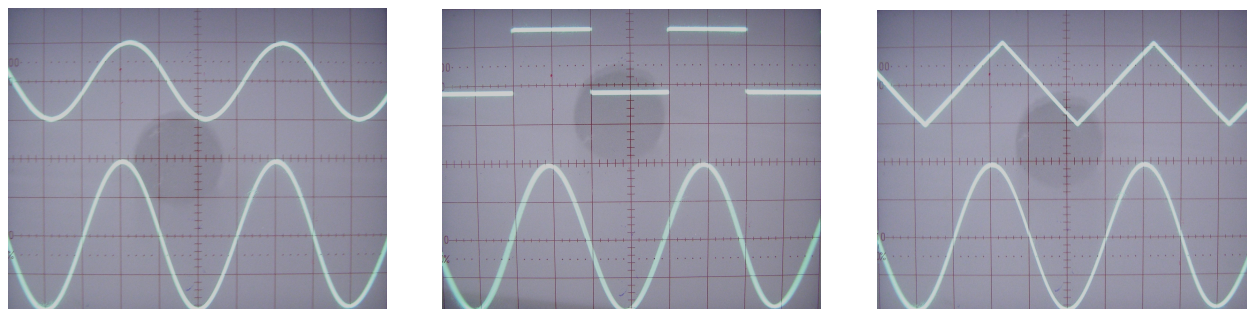
A ~ B - na obrazovce se objeví průběhy obou vstupů (společná časová základna)

A ± B - na obrazovce se objeví součet obou vstupů (společná časová základna)

Při pozorném pohledu zjistíme, že ovládání přístroje je stejné jako u jednocanalového. Jen uspořádání tlačítek a potenciometrů se může podle výrobce lišit. Ovládání časové základny je totožné, je společná pro oba kanály. Napěťové vstupy jsou dva, A a B, u jiných přístrojů to mohou být např. 1 a 2.

Obrázek č. 23

Příklady zobrazených průběhů dvoukanalovým osciloskopem.

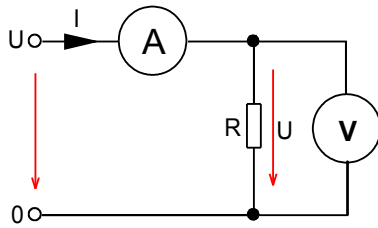


Oba kanály mohou zobrazovat dva různé průběhy různých napětí, ale stejnou časovou základnou. Přepínač vstupů je v tomto případě v poloze A ~ B.

Běžné analogové osciloskopy mohou indikovat napětí jen do výše max. rozsahu V/dílek a počtu dílků rastru vertikální osy. Většinou to bývá do 30, resp. 40 V. Napěťový rozsah osciloskopu lze zvýšit připojením osciloskopické sondy, která dělí vstupní napětí obvykle v poměru 10 : 1. Patří většinou do standardní výbavy osciloskopu.

6. Nejpoužívanější zákony při měření

Ohmův zákon - určuje vztah mezi napětím, proudem a odporem. Připojíme-li rezistor R ke zdroji napětí $+U_C$, začne protékat proud I.



Obrázek č. 24
Ohmův zákon

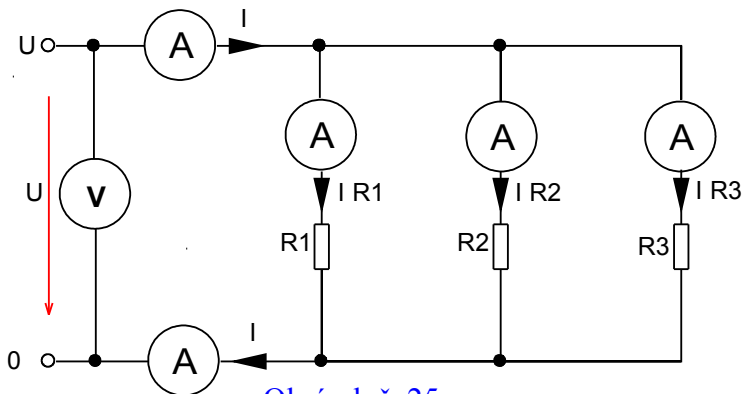
$$U = I \cdot R \quad [V, A, \Omega]$$

Lze odvodit výkonovou ztrátu na R:

$$P = U \cdot I \quad [W, V, A]$$

Kirchhoffovy zákony – souvisí se vztahy mezi proudy a napětími v elektrických obvodech. Jsou dva a lze je vyjádřit následujícím způsobem:

Součet proudů do uzlu přitékajících se rovná součtu proudů z uzlu odtékajících.

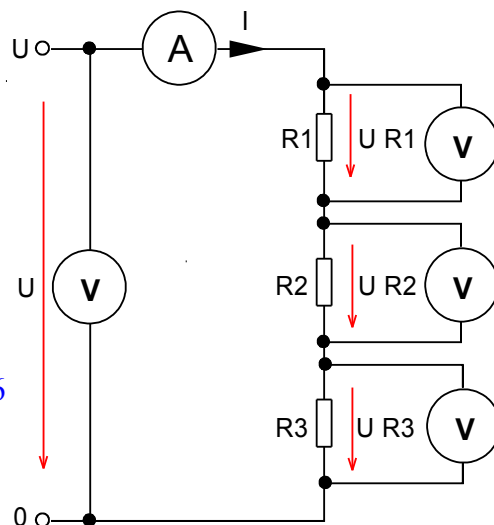


Obrázek č. 25
1. zákon

$$I = I_{R1} + I_{R2} + I_{R3}$$

Napětí na rezistorech je stejné

Součet všech úbytků napětí v uzavřeném obvodu se rovná napětí zdroje.



Obrázek č. 26
2. zákon

$$U = U_{R1} + U_{R2} + U_{R3}$$

Proud tekoucí rezistory je stejný

7. Měření elektrických veličin a pasivních součástek

7.1 Měření elektrického napětí.

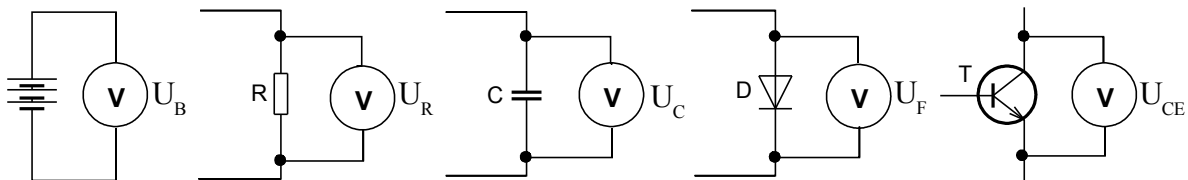
Elektrické napětí se značí U a jednotkou je 1 V . V praxi se běžně používají jednotky vyšší: $1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$ a hlavně ve slaboproudé technice jednotky nižší: $1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}$, $1 \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}$.

Elektrické napětí má jako hodnota mnoho druhů. Udává se ve stejnosměrných i střídavých hodnotách, v úrovních nf i vf signálu, atd. Příslušná hodnota elektrického napětí se udává ke značce U příslušným indexem. Např. – efektivní hodnota – U_{EF} .

Elektrické napětí je rozdíl potenciálů mezi dvěma uzly elektrického obvodu, zpravidla mezi měřicím bodem a zemí. Měřicí přístroj se nazývá voltmetr a přikládá se k měřicím bodům paralelně. Přístroj se vyznačuje velkým vnitřním odporem, musí mít velmi malou vlastní spotřebu a je žádoucí, aby měřený obvod zatěžoval co nejméně. Za voltmetr lze v jistých případech považovat i osciloskop.

Voltmetry se vyrábí v analogovém i digitálním provedení. V současnosti je k použití velký sortiment multimetrů, které měří stejnosměrné i střídavé napětí v dostatečném počtu rozsahů. Pro měření elektrického napětí používáme přímou metodu měření, tzn. přímý odečet hodnoty napětí ze stupnice nebo displeje měřicího přístroje. Postup měření je stejný pro napětí stejnosměrné i střídavé.

Obrázek č. 27
Příklady zapojení voltmetrů v obvodech.



Doporučený postup měření:

Měřicí přístroj přepneme na nejvyšší napěťový rozsah stejnosměrného nebo střídavého elektrického napětí. Vždy nejdříve volíme na přepínači přístroje veličinu a pak teprve přikládáme hroty měřicích šňůr do obvodu. Chráníme tím měřicí přístroje před možným zničením - mohou být přepnuty na odporové rozsahy. V této poloze není většina multimetrů chráněna vůbec. Odečteme hodnotu napětí. Pro přesnější měření, je-li to možné, je vhodné přepnout rozsah přístroje na citlivější.

Při měření analogovými voltmetry pozor na tzv. " ručičku za roh ". Mohlo by dojít ke zničení měřicího přístroje. Pozor na správné polarizování voltmetru! Ručka se nesmí vychýlit na opačnou stranu!

Při měření analogovými voltmetry se musíme orientovat v přepočtu údaje ručky a skutečné naměřené hodnoty. Dělení stupnic přístrojů bývá různé a někdy i poměrně " orientačně " provedené. Je nutný kolmý pohled na ručku a co nejpřesnější odečet dílků. Zaokrouhlování se většinou vymstí nepřesnou hodnotou. Pro přesné měření je nejvhodnější, aby ručka přístroje byla v druhé polovině stupnice - vyšší citlivost. To většinou umožní tzv. „překrytí“ rozsahů.

7.2 Měření elektrického proudu

Elektrický proud se značí I a jednotkou je 1 A . V praxi se v oblasti silnoproudu používají jednotky vyšší: $1\text{ kA} = 10^3\text{ A}$ a hlavně ve slaboproudé technice jsou běžné jednotky nižší:

$1\text{ mA} = 10^{-3}\text{ A}$, $1\text{ }\mu\text{A} = 10^{-6}\text{ A}$.

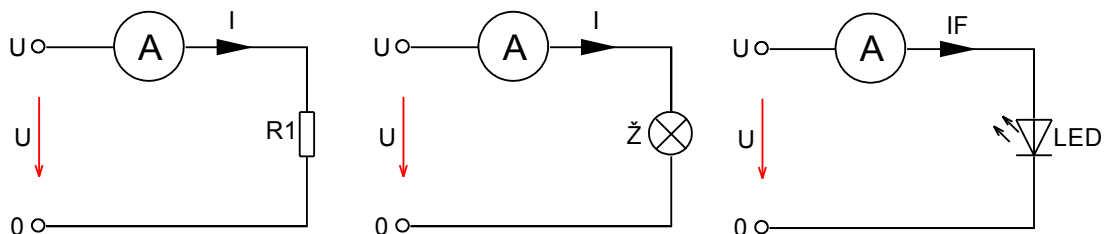
Elektrický proud, podobně jako elektrické napětí, má jako hodnota mnoho druhů. Udává se ve stejnosměrných i střídavých hodnotách, v úrovních nf i vf signálu. Příslušná hodnota elektrického proudu se udává ke značce I příslušným indexem. Např. – efektivní hodnota – I_{EF} .

Elektrický proud je možné definovat jako tok mezi dvěma body elektrického obvodu s rozdílným potenciálem napětí (zpravidla mezi bodem a zemí), příslušným spotřebičem, zátěží. Měřicí přístroj se nazývá ampérmetr a řadí se do série s příslušným spotřebičem, jehož proud měříme. Přístroj se vyznačuje velmi malým vnitřním odporem, má velmi malou vlastní spotřebu a je potřeba, aby na něm vznikl co nejmenší úbytek napětí.

Ampérmetry se vyrábí v analogovém i digitálním provedení. V současnosti je k použití velký sortiment multimetrů, které měří stejnosměrný i střídavý proud v dostatečném počtu rozsahů. Pro měření elektrického proudu používáme přímou metodu měření, tzn. přímý odečet hodnoty proudu ze stupnice nebo displeje měřicího přístroje, jestliže lze ampérmetr zařadit přímo do obvodu. Protože toto měření nelze vždy provést bez zásahu do obvodu (plošného spoje) používáme metodu nepřímou, kdy hodnotu proudu získáme výpočtem podle Ohmova zákona ze změřeného napětí a známé hodnoty odporu rezistoru, kterým proud prochází. Tento způsob se používá hlavně u zapájených rezistorů. Přesnost této metody je i při určité toleranci hodnot odporu rezistorů v praxi dostatečná. Postup měření je stejný pro proud stejnosměrný i střídavý.

Obrázek č. 28

Příklady zapojení ampérmetru v obvodech.



Doporučený postup měření.

Měřicí přístroje přepneme na nejvyšší rozsah příslušného druhu elektrického proudu. Vždy nejdříve volíme na přepínači přístroje veličinu a pak teprve zapojujeme měřicí obvod. Chráníme tím měřicí přístroje před možným zničením. Proudové rozsahy sice jsou chráněny tavnou pojistkou, ale přístroj může být omylem přepnut na odporové rozsahy. V této poloze nejsou multimetry chráněny vůbec. Zapneme zdroj a odečteme hodnotu proudu. Pro přesnější měření, je-li to možné, lze zvolit citlivější rozsahy.

Při měření analogovými ampérmetry pozor na tzv. "ručičku za roh". Mohlo by dojít ke zničení měřicího přístroje. Pozor na správné polarizování ampérmetru! Ručka se nesmí vychýlit na opačnou stranu!

Při měření analogovými ampérmetry se musíme orientovat v přepočtu údaje ručky a skutečné naměřené hodnoty. Dělení stupnic přístrojů bývá různé a někdy i poměrně "orientačně" provedené. Je nutný kolmý pohled na ručku a co nejpřesnější odečet dílků. Zaokrouhlování se většinou vymstí nepřesnou hodnotou. Pro přesné měření je nejvhodnější, aby ručka přístroje byla v druhé polovině stupnice - vyšší citlivost. To většinou umožní tzv. „překrytí“ rozsahů.

7.3 Měření elektrického výkonu

Elektrický výkon se značí P a jednotkou je 1 W . V praxi se v oblasti silnoproudu používají jednotky vyšší: $1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$, $1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$, ve slaboproudé technice jsou běžné jednotky nižší: $1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W}$.

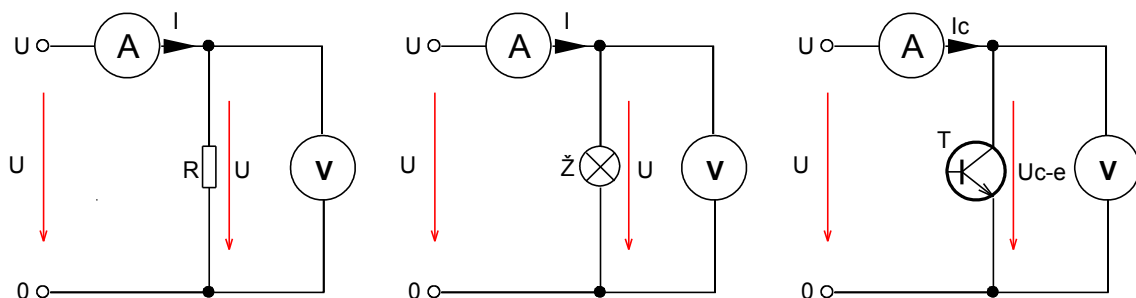
Elektrický výkon vyjadřujeme mnoha údaji. Rozlišujeme stejnosměrný, střídavý, špičkový, činný, zdánlivý, atd. Jednoduše lze změřit výkon stejnosměrný, např. na rezistoru, žárovce. Obtížněji již změříme výkon střídavý, kde závisí na hodnotě fázového posunu napětí a proudu.

Elektrický výkon vytváří procházející elektrický proud uvažovaným spotřebičem za působení daného elektrického napětí. Přímou se měří wattmetrem. V praxi nízké techniky však nejčastěji používáme nepřímé měření pomocí tzv. voltampérové metody. Pomocí změřeného napětí a proudu výkon vypočítáme.

$$P = U \cdot I \text{ [W, V, A]}$$

Obrázek č. 29

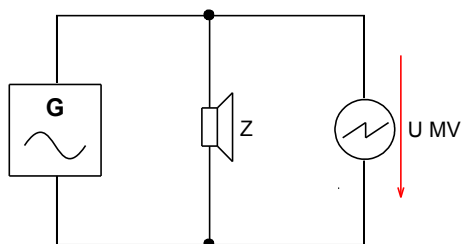
Příklady měření stejnosměrného výkonu nepřímou metodou v obvodech.



Pomocí změřeného napětí a proudu vypočítáme výkon na dané součástce – často uvažovanou **výkonovou ztrátou**. Většinou při řešení úloh je nutné ji znát předem a podle toho vybírat součástky, aby nedošlo k jejich zničení přetížením.

Obrázek č. 30

Dosažený zdánlivý výkon na dané impedanci
(pomocí osciloskopu - výkon zdánlivý)



Hodnotu U_{MV} přepočítáme na U_{EF}

$$\text{V tomto případě } P = \frac{U_{EF}^2}{Z} \text{ [W, V, } \Omega \text{]}$$

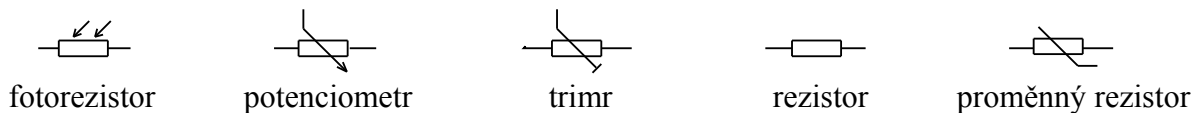
Činný výkon lze tímto způsobem zjistit pouze za podmínky $Z = R$.

7.4 Měření odporu rezistorů

použití přímé a nepřímé metody pro měření odporu

Elektrický odpor se značí R a jednotkou je 1Ω . V praxi se běžně používají jednotky větší: $1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega$, $1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$, řidčeji jednotky menší: $1 \text{ m}\Omega = 10^{-3} \Omega$. V elektrickém obvodu odpor představuje rezistor.

Obrázek č. 31
Příklady značení rezistorů



existují i další druhy: např. teplotně závislý rezistor – termistor, napětově závislý – varistor, atd.

Přímá metoda měření elektrického odporu:

Měření elektrického odporu se provádí přímým připojením měřeného rezistoru na svorky měřicího přístroje. Touto funkcí jsou vybaveny všechny typy digitálních a většiny analogových multimetrů. Měří s přesností do 1 % a to je úplně dostačující. Pro přesnější měření jsou vhodnější různé druhy můstků, ale ty jsou už cenově náročnější. Běžným přístrojem lze měřit s odpovídající přesností hodnoty v řádech od $10^2 \Omega$ výše. Pro nižší hodnoty odporu tato měření moc přesná nejsou, je nutné brát v úvahu odpor měřících šňůr a povolenou toleranci multimetrů – v jednotkách Ω .

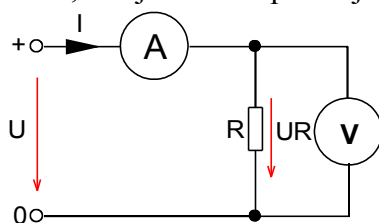
Pozor: při tomto měření se nesmí nedopatřením dostat napětí na svorky přístroje!

Nepřímá metoda měření elektrického odporu: (voltampérová)

Tato metoda je naprosto univerzální pro měření všech rezistorů a využijeme při ní již známé měření elektrického napětí a proudu. V praxi ji většinou využíváme pro měření malých hodnot odporu. Hodnotu vypočítáme z průměru odečtených hodnot napětí a proudu podle Ohmova zákona. Při použití "1 %" multimetrů a pečlivém měření je přesnost naprosto dostačující. Teoreticky je lhostejné, zda použijeme napětí stejnosměrné nebo střídavé. V praxi však používáme stejnosměrné, stabilizované. Nevznikají tak nežádoucí střídavé složky.

Měření malých odporů:

Schéma zapojení a podmínky pro měření: (pro odpory do hodnoty $R \ll 10^1 \Omega$). Čím je odpor menší, tím je metoda přesnější.



Obrázek č. 32
Měření malých odporů

U měřeného rezistoru odhadneme podle velikosti pouzdra a katalogu povolenou výkonovou ztrátu a z ní vypočteme max. měřicí proud. Nesmí dojít k přehřátí a tím možnému zničení součástky.

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

Touto metodou většinou kontrolujeme malé hodnoty rezistorů, např. bočniců apod.

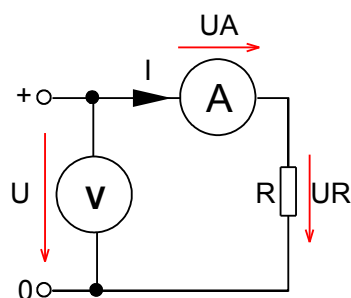
Doporučený postup měření:

Obvod zapojíme podle schématu. Je nutné dodržet podmínku pro max. dovolené zatížení rezistoru. Měříme proud tekoucí rezistorem R a zároveň měříme úbytek napětí, který tento proud na rezistoru R vytváří. Zjištěné hodnoty zapisujeme. Z naměřených hodnot napětí a proudu pak vypočítáme velikost odporu měřeného rezistoru. Je vhodné měření opakovat při několika hodnotách napětí, aby bylo využito několik rozsahů přístrojů a z výsledků vypočítat aritmetický průměr odporu.

Podobným způsobem lze změřit i rezistory vyšších hodnot. Je však nutné brát v úvahu i úbytek napětí na ampérmetru. Pouze při vysokých hodnotách R jej lze zanedbat.

Měření velkých odporů:

Schéma zapojení a podmínky pro měření: (výhodné pro odpory od hodnoty $R \gg 10^5 \Omega$). Čím je odpor větší, tím je metoda přesnější.



Posuzovat výkonovou ztrátu je v tomto případě většinou zbytečné. Při vysokých hodnotách odporu a velikosti výstupního napětí zdroje je přetížení rezistorů prakticky vyloučené.

Obrázek č. 33

Měření velkých odporů

Doporučený postup měření:

Stejný jako u malých odporů.

7.5 Měření kapacity kondenzátorů

použití přímé a nepřímé metody pro měření kapacity

Kapacita se značí C a jednotkou je 1 F (Farrad). V praxi se používají jednotky menší:

1 mF = 10^{-3} F, 1 μ F = 10^{-6} F, 1 nF = 10^{-9} F, 1 pF = 10^{-12} F.

V elektrickém obvodu kapacitu představuje kondenzátor.



Obrázek č. 34

Příklady značení kondenzátorů

U polarizovaných – elektrolytických kondenzátorů je vyznačena polarita.

Přímá metoda měření kapacity:

Měření kapacity kondenzátoru se provádí přímým připojením měřené součástky na svorky měřicího přístroje. Používáme RLC měřiče a některé typy multimetrů. Tyto přístroje měří kondenzátory např. svitkové, deskové, (bez orientace polarity napětí) i kondenzátory elektrolytické (polarizované). Řídíme se pokyny výrobce. Při velmi malých kapacitách nutno kompenzovat kapacitu přívodních kablíků.

Nevýhoda: spektrum rozsahů multimetrů nás však nemusí vždy uspokojit.

Výhoda: snadné odečtení měřené hodnoty na přístroji.

RLC měřiče mohou být s digitální i analogovou stupnicí.

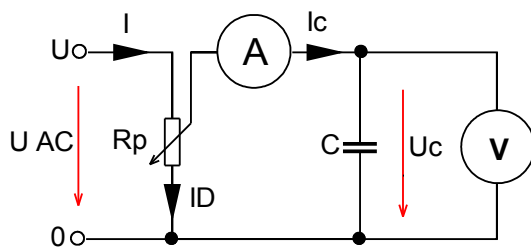
Důležité upozornění: Kondenzátor před měřením musí být vybitý! Případný náboj by mohl zničit měřicí přístroj.

Nepřímá metoda měření kapacity: (voltampérová)

Tato metoda je určena pro měření všech kondenzátorů s kapacitou od 100 nF výše bez polarizace napětí s využitím transformovaného síťového napětí nebo sinusového signálu z nf generátoru.

Elektrolytické kondenzátory touto metodou nelze měřit při použití transformovaného napětí ze sítě. Z průměru odečtených hodnot napětí a proudu podle Ohmova zákona vypočítáme kapacitní reaktanci X_C a z té pak hodnotu kapacity C daného kondenzátoru. Při použití multimetrů s dostatečnou citlivostí a pečlivém měření je přesnost naprosto vyhovující. Jen poněkud pracnější.

Špičková hodnota zkušebního napětí nesmí přesáhnout dovolené napětí na kondenzátoru.



Obrázek č. 35

Měření kondenzátorů

Schéma měřicího obvodu a podmínky pro měření:

U potenciometru vypočteme z velikosti jeho odporu a povolené výkonové ztráty max. hodnotu proudu I.

$$I = \sqrt{\frac{P}{R_p}} \quad I_C < I - I_D$$

Tomu přizpůsobíme max. hodnotu napětí U_{AC} . Pozor na dovolené bezpečné napětí a max. povolené napětí na kondenzátoru. Nesmíme zapomenout, že kondenzátor je namáhaný U_{MV} a přístroje měří v efektivních hodnotách. Výstupní proud z děliče již není kritický, protože kondenzátorem teče jen zlomek hodnoty I .

Doporučený postup měření:

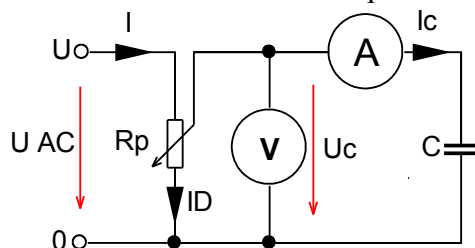
Obvod zapojíme podle schématu. V tomto zapojení je vhodné použít dělič napětí pro nastavení velikosti zkušebního napětí. **Pozor na překročení bezpečného napětí!** Měříme proud tekoucí kondenzátorem C a zároveň měříme úbytek napětí, který tento proud na kondenzátoru C vytváří. Zjištěné hodnoty zapisujeme. Měříme při několika různých hodnotách napětí a proudu, abychom využili několik rozsahů přístrojů a tím co nejvíce "zprůměrovali" hodnotu kapacitní reaktance X_C . Z té pak vypočítáme vlastní kapacitu kondenzátoru.

Vztahy:

$$X_C = \frac{U}{I} \quad [\Omega, V, A] \quad C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_C} \quad [F, Hz, \Omega]$$

Pro kapacity nižších hodnot vyhovuje metoda podobná, odvozená od měření vysokých odporů. Vycházíme z faktu, že malá kapacita představuje v obvodu vysoký odpor.

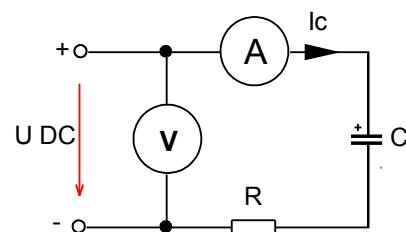
Schéma měřicího obvodu a podmínky pro měření:



Podmínky a postup měření jsou stejné jako u předchozího zapojení.

Obrázek č. 36
Měření malých kapacit

Kontrola elektrolytických kondenzátorů:



Obrázek č. 37
Kontrola elektrolytických kondenzátorů

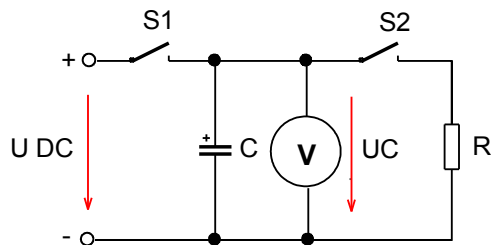
Kondenzátory tohoto typu jsou vyráběné většinou pro vyšší hodnoty kapacity. Pro použití ve zdrojích jako filtry běžně stačí zkontrolovat, zda je součástka v pořádku, tj. zda kondenzátorem neprochází nežádoucí svodové proudy. Příčinou tohoto stavu je většinou stáří součástky – vysychání elektrolytu. Kontrola je jednoduchá. Vycházíme z teoretického předpokladu, že do kondenzátoru po úplném nabití nepoteče již žádný proud. Ve skutečnosti můžeme zaznamenat proudy max. v řádu 10^1 nA. Je-li proud vyšší, kondenzátor má nižší kvalitu. Nemusí to ale znamenat, že ho již nelze použít, není to však vhodné.

Podmínkou je volba napětí (musí dosahovat maximálně jmenovitého napětí kondenzátoru) a výpočet omezovacího rezistoru R (proud v obvodu max. do 100 mA).

Měření elektrolytických kondenzátorů:

V dílenské praxi kapacitu elektrolytických kondenzátorů můžeme též určit měřením doby vybíjení pomocí voltmetru a známého odporu.

Schéma měřicího obvodu a podmínky pro měření:



Obrázek č. 38
Měření elektrolytických
kondenzátorů

Podmínkou je volba napětí – musí dosahovat max. jmenovitého napětí kondenzátoru.

Rezistor R – určuje vybíjecí proud kondenzátoru. Podle potřeby změním tak, aby doba vybíjení byla co nejvýhodnější z pohledu měření času. Vždy přesně změřit hodnotu R.

Doporučený postup měření:

Vycházíme z charakteristiky při vybíjení elektrolytického kondenzátoru. Sledujeme při vybíjení pokles napětí v rozsahu 0,1 – 0,7 U_{DC} .

Kondenzátor připojíme na zdroj o nastaveném napětí. Spínač S1 je zapnutý, S2 vypnutý. Kondenzátor se nabije na napětí U_{DC} . Vypneme S1, S2 necháme vypnutý a měříme čas vybíjení na napětí $U_C \sim 37\% U_{DC}$. Čas zaznamenáme, např. t_1 . Při tomto měření odpor v obvodu představuje pouze izolační odpor kondenzátoru a vnitřní odpor voltmetru. Znovu nabijeme kondenzátor – zapneme S1. Po nabití kondenzátoru vypneme S1, zapneme S2 a měříme opět čas vybíjení na tutéž hodnotu napětí. Čas zaznamenáme, bude kratší, např. t_2 . Odpor v obvodu teď tvořila paralelní kombinace kondenzátoru, voltmetru a rezistoru.

Můžeme vypočítat celkový odpor: (veličiny dosazujeme v základních jednotkách)

$$R_C = R (t_1 / t_2 - 1)$$

A potom kapacitu:

$$C = t_1 / R_C$$

Je-li vybíjecí doba velmi dlouhá, tj. je-li velmi malý pokles napětí, měříme jen čas počátečního poklesu na 90 % U_{DC} .

Při pečlivém postupu je tato metoda pro měření kapacity vyšší než 1000 μF pro dílenské potřeby dostačující.

7.6 Měření indukčnosti cívek

použití přímé a nepřímé metody pro měření indukčnosti

Indukčnost se značí L a jednotkou je 1 H (Henry). V praxi se používají jednotky menší:
 $1 \text{ mH} = 10^{-3} \text{ H}$, $1 \text{ } \mu\text{H} = 10^{-6} \text{ H}$, $1 \text{ nH} = 10^{-9} \text{ H}$.

V elektrickém obvodu indukčnost představuje cívka. Podle provedení může být bez jádra – vzduchová nebo s jádrem – většinou feritovým, popř. z trafoplechů.



Obrázek č. 39
Příklady značení cívek

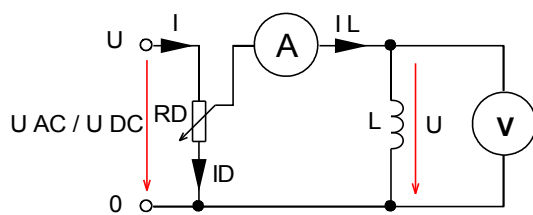
Přímá metoda měření indukčnosti vzduchové cívky:

Měření indukčnosti cívky se provádí přímým připojením měřené součástky na svorky měřicího přístroje. Běžné typy multimetrů však tuto funkci neobsahují, a tak musíme používat RLC měřiče nebo multimetry pro "náročnější". Tyto přístroje jsou dražší a i spektrum rozsahů nás nemusí vždy uspokojit.

Měřicí postupy u různých typů přístrojů se mohou lišit. Je vždy nutné se důkladně seznámit s návodem k obsluze u jednotlivých měřicích přístrojů.

Nepřímá metoda měření indukčnosti vzduchové cívky: (voltampérová)

Tato metoda je určena pro měření vzduchových cívek a využijeme při ní již známé měření elektrického napětí a proudu při kmitočtu sítě. Z průměru odečtených hodnot střídavého napětí a proudu podle Ohmova zákona vypočítáme impedanci Z , z průměru stejnosměrného měření ohmický odpor R . Vypočteme hodnotu indukční reaktance X_L a z té odvodíme indukčnost cívky L . Při použití "1 %" multimetrů a pečlivém měření je přesnost naprosto dostačující. **Špičkové hodnoty zkušebních napětí nesmí způsobit přetížení cívky a hodnoty bezpečných napětí.**



Obrázek č. 40
Měření indukčnosti cívky

Schéma měřicího obvodu a podmínky pro měření:

U potenciometru vypočteme podle Z jeho odpor a povolené výkonové ztráty max. hodnotu proudu I . Při tomto měření hrozí přetížení potenciometru velmi snadno, protože cívka sama o sobě představuje velmi malý ohmický odpor. Proto musí být potenciometr dimenzovaný na

dostatečnou velikost zkušebního proudu. Zároveň je nutné odhadnout max. proud cívkou – podle průměru vodiče.

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

Při měření musí platit: $I > I_D + I_L$

Doporučený postup měření:

Obvody zapojíme podle schématu. Jako zdroje jsou nejvhodnější laboratorní zdroj stabilizovaného napětí a síťový transformátor malého napětí, doplněného např. autotransformátorem. Je-li možná dostatečně jemná regulace zkušební napětí, lze potenciometr vynechat. Musí být možné řízení napětí v obou obvodech cca po 0,1 V. Provedeme měření stejnosměrným a pak střídavým napětím. Měříme proud tekoucí cívkou a zároveň měříme úbytek napětí, který tento proud na cívce vytváří. Zjištěné hodnoty zapisujeme. Měříme opět při několika různých hodnotách napětí a proudu, abychom využili několik rozsahů přístrojů a tím co nejvíce "zprůměrovali" hodnoty odporu R a impedance Z. Pomocí rozdílu mocnin R a Z vypočítáme velikost indukční reaktance X_L . Z této hodnoty a při známém kmitočtu vypočteme indukčnost měřené cívkou.

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} \quad [\Omega, \Omega, \Omega] \quad L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad [H, \Omega, Hz]$$

Při měření indukčností nepřímou metodou nás nesmí překvapit velmi malý úbytek napětí na cívce. Multimetr musí mít rozsahy pro mV. **Pozor na větší proud** při relativně malém napětí - cívky mívají velmi malý ohmický odpor.

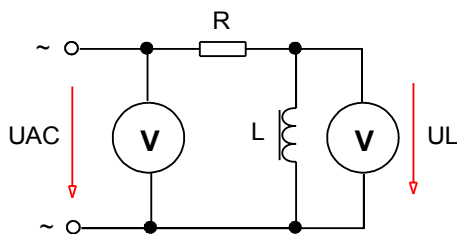
Měření indukčnosti cívkou s jádrem:

Cívka s jádrem se nazývá tlumivka a její indukčnost je možné změřit podobným způsobem. Je vhodný pro železná jádra s mezerou. Měřicí napětí musí mít sinusový průběh. Jádro tlumivky nesmí být přesyceno – přesvědčíme se měřením při různých napětích nebo zvýšením hodnoty rezistoru.

Zkušební napětí lze odvodit ze vztahu: $U_{AC} = 4,44 \cdot 10^{-4} \cdot B \cdot f \cdot N$

Předpokládá se magnetická indukce $B = 0,6$ T (trafoplechy), $B = 0,9$ T (orientovaná jádra),

N – počet závitů.



Obrázek č. 41
Měření tlumivky s jádrem

Schéma zapojení měřicího obvodu a podmínky pro měření:

Rezistor musí být dimenzovaný na předpokládaný proud. Je vhodné jej odvodit z kritického stavu – zkratu při dané hodnotě napájecího napětí.

Proud cívkou je omezený průřezem použitého vodiče.

Doporučený postup měření:

Jako zdroj napětí U_{AC} je vhodný přepínatelný zdroj nebo autotransformátor. Pozor na mez bezpečného napětí – 50 V_{AC} . Vypočítáme hodnotu rezistoru a určíme min. výkonovou ztrátu. Zapojíme obvod, změříme obě napětí. Při použití transformovaného napětí ze sítě nn není nutné měřit kmitočet. Dosadíme do vzorce a vypočítáme indukčnost tlumivky. Pro větší přesnost je vhodné měření opakovat při různých hodnotách napětí nebo změně rezistoru.

$$L = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \frac{U_L}{\sqrt{U_{AC}^2 - U_L^2}}$$

7.7 Měření děliče napětí

Děliče napětí, již podle názvu, slouží k pevnému nebo proměnnému rozdělení vstupního napětí na dvě nebo více výstupních hodnot. Principem vychází z Kirchhoffových zákonů. Jejich využití je v elektrotechnice velmi široké. Mohou být odporové nebo kapacitní. Jestliže odporové děliče se dají využít prakticky pro všechny druhy napětí, kapacitní děliče pracují pouze v oblasti střídavých signálů. Proto odporové děliče jsou používány častěji. Proto se jimi budeme zabývat.

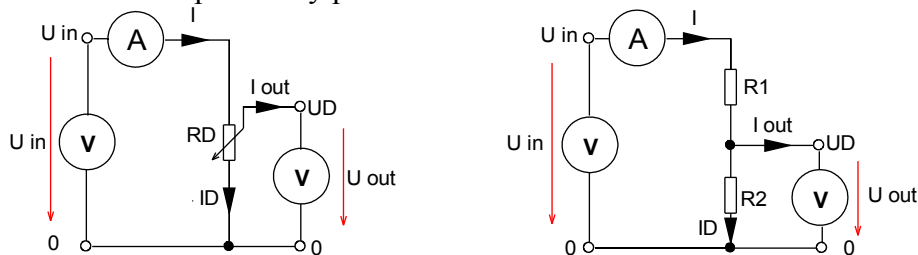
Proměnný dělič je tvořen potenciometrem nebo trimrem. Vstupní napětí je rozděleno na dvě hodnoty – běžec/vstup a běžec/zem. Výstupní napětí je tedy odebíráno z běžce a lze ho plynule měnit. To je velká výhoda. Nevýhodou je malá stabilita hodnoty výstupního napětí, malá odolnost proti otřesům zařízení. Běžec časem může svou polohu změnit.

Pevný dělič je tvořen dvěma nebo více rezistory. Jejich odpory vychází z požadavků na hodnoty výstupního napětí. Výstupní napětí je odebíráno ze spojovacích uzlů rezistorů, nelze ho tedy měnit, má stále stejnou velikost. Výhodou je stabilita, kvalitní metaloxidové rezistory téměř nemění svou hodnotu.

Dělení napětí děličem se používá pro pevné nastavení pracovních bodů tranzistorů, napájení vstupů operačních zesilovačů, nastavení rozsahů voltmetrů, atd. Pevné děliče jsou součástí výstupu různých generátorů kmitočtů pro možnost nastavení malé amplitudy generovaného signálu. Zatížení děličů je většinou velmi malé. Velké proudy by velmi zatěžovaly rezistory a tyto by musely být dimenzovány na větší výkon. Tím by bylo nutné používat větší „výkonové“ typy, vznikaly by velké tepelné ztráty, které nejsou žádoucí.

Vždy je nutné propočítat podmínky pro dovolené zatížení rezistorů v děliči nebo potenciometru v dané konstrukci.

Schéma měřicích obvodů a podmínky pro měření:



Obrázek č. 42
Příklady zapojení děliče napětí

U potenciometru nebo rezistorů vypočteme podle údajů výrobce z jejich odporů a povolených výkonových ztrát max. hodnoty proudů I . Tato hodnota nesmí být nikdy překročena. Je to max. proud tekoucí do děliče. Je tedy omezen možnostmi použitých součástek.

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

Součet proudů I_D (trvalý proud děličem) a I_{OUT} (výstupní proud z děliče) musí být vždy menší

než I (vstupní proud do děliče).

Návrh pevného děliče:

Vychází ze zadaných parametrů pro požadovaný dělič – vstupní napětí U_{IN} a podíl (poměr) děliče - p. Bývá udáván formou zlomku (např. 1 : ...) nebo v -dB. Údaj v dB musí být vždy záporný, protože výsledek je < 1 .

Podle zadání děliče volíme proud I_D . Pro napájecí napětí U_{IN} a proud I_D vypočteme celkový odpor děliče R_D . Ten rozdělíme v určeném poměru na rezistory R1 a R2. Při úpravě vypočtených hodnot rezistorů na hodnoty ve vyráběných řadách musíme zachovat daný poměr při zachování požadované tolerance výstupního napětí. Pro zjištění údajů používáme přímé i nepřímé měření.

$$R_D = \frac{U}{I_D}$$

$$\text{protože } U_{OUT} = U_{R2} \Rightarrow U_{OUT} = U_{IN} \cdot p \Rightarrow p = U_{OUT} : U_{IN}$$

$$U_{OUT} : U_{IN} = R2 : R_D = 1 : \dots \Rightarrow R2 = R_D \cdot p$$

$$R1 = R_D - R2$$

Doporučený postup měření:

Obvod s vybranými rezistory zapojíme podle schématu. Měříme proud tekoucí do děliče. Naměřená hodnota by měla odpovídat předpokladu. Změříme úbytky napětí na rezistorech děliče, které tento proud vytváří. Zjištěné hodnoty zapisujeme. Z naměřených hodnot napětí pak vypočítáme výsledný poměr napětí na děliči.

Kontrola parametrů děliče.

$$R_D = R1 + R2$$

$$U_{IN} = U_{R1} + U_{R2}$$

$$I = \text{cca } I_{R1} = \text{cca } I_{R2} = \text{cca } I_D =$$

$$p = U_D : U_C = 1 : \dots$$

$$A_U = 20 \cdot \log (U_{OUT} : U_{IN}) = \dots \text{ -dB (protože se jedná o útlum, musí být výsledek záporný)}$$

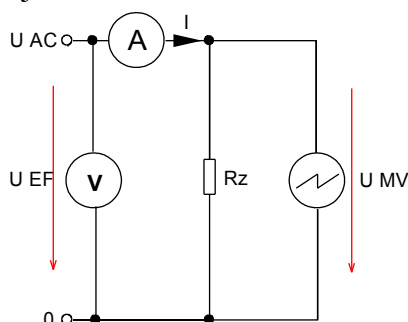
Např: 1 : 10 => - 20 dB, 1 : 100 => - 40 dB,

8. Úpravy rozsahů měřicích přístrojů

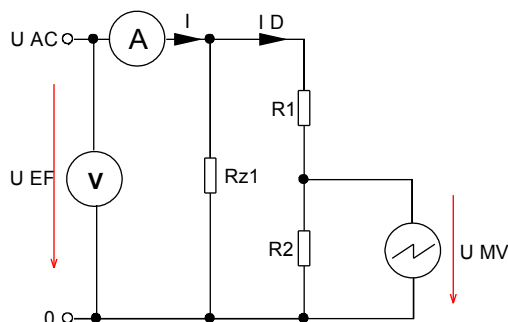
8.1 Zvětšení rozsahu vertikálního vstupu osciloskopu.

Zařazením napěťového děliče před vstup měřicího přístroje lze zvětšit rozsah jakéhokoliv multimetru bez zásahu do konstrukce přístroje. U univerzálních multimetrů se však pro napětí do 1000 V nevyužívá. Přístroje jsou většinou pro toto měření dimenzovány již od výrobce. Ne však osciloscipy. U osciloskopu je obvykle max. rozsah vertikálního vstupu je 5 V/dílek a rastr mívá 6 až 8 dílků na výšku. To znamená, že běžný analogový osciloskop je schopen měřit napětí do 30, resp. 40 V mezivrcholové úrovně. Při práci se střídavým napětím transformovaným ze sítě, i při dodržení bezpečné hodnoty ($50 V_{EF}$), se tedy může stát, že rozsah rastru nestačí a zobrazované napětí se na obrazovku „nevejde“. **Při měření a „prohlížení“ střídavého napětí při kmitočtu sítě** lze osciloskop doplnit odporovým děličem. Protože vstupní odpor osciloskopu je $1 M\Omega$, $15 pF$, odpor děliče sestavíme z rezistorů s odporem v řádech $10^3 \Omega$. Vstupu osciloskopu tato kombinace vyhovuje a zároveň není namáhána nadměrnou výkonovou ztrátou. Vodiče by měly být co nejkratší. Při kmitočtu 50 Hz stínění není vyloženě nutné.

Princip zapojení :



Obrázek č. 43
Obvod bez děliče



Obrázek č. 44
Obvod s děličem R1 + R2

Doporučený postup měření.

Dělič sestavíme z libovolných, pokud možno přesně změřených, rezistorů, v řádu $10^3 \Omega$. Tím je zaručený vysoký vstupní odpor děliče. Je vhodné volit hodnoty tak, aby R_2 byl cca $\frac{1}{4} - \frac{1}{2} R_1$.

Celkový odpor děliče: $R_D = R_1 + R_2$

U_{MV} na rezistoru R_Z :

$$U_{MV R_Z} = \frac{R_D}{R_2} \cdot U_{MV R_2}$$

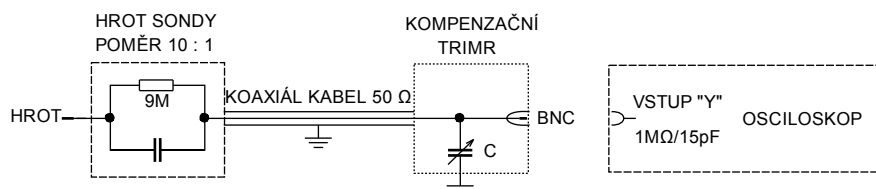
Přesnost měření závisí na přesném změření odporu rezistorů v děliči napětí a přesném odečtu hodnoty napětí z rastru osciloskopu. Čím větší poměr děliče zvolíme, tím citlivější rozsah na osciloskopu můžeme předvolit.

Pozor: Nezapomínáme na dovozené max. střídavé napětí – 50 V_{AC} – žáci SOU.

V žádném případě nesmíme překročit max. dovozené vstupní napětí pro osciloskop – údaj výrobce!

Pro měření napětí při kmitočtu v řádech 100 Hz a vyšších se tato metoda nehodí. Nelze takto jednoduše v těchto podmínkách rozsah osciloskopu zvyšovat. Pro tyto měření se používá osciloskopická sonda, která je dodávána s přístrojem jako příslušenství. Má vestavěný přepínatelný odporový dělič a kompenzační kapacitní trimr. Pro nf měření je nezbytná. Její náhrada stíněnými vodiči je problematická – kompenzace impedance vodičů by nebyla jednoduchá.

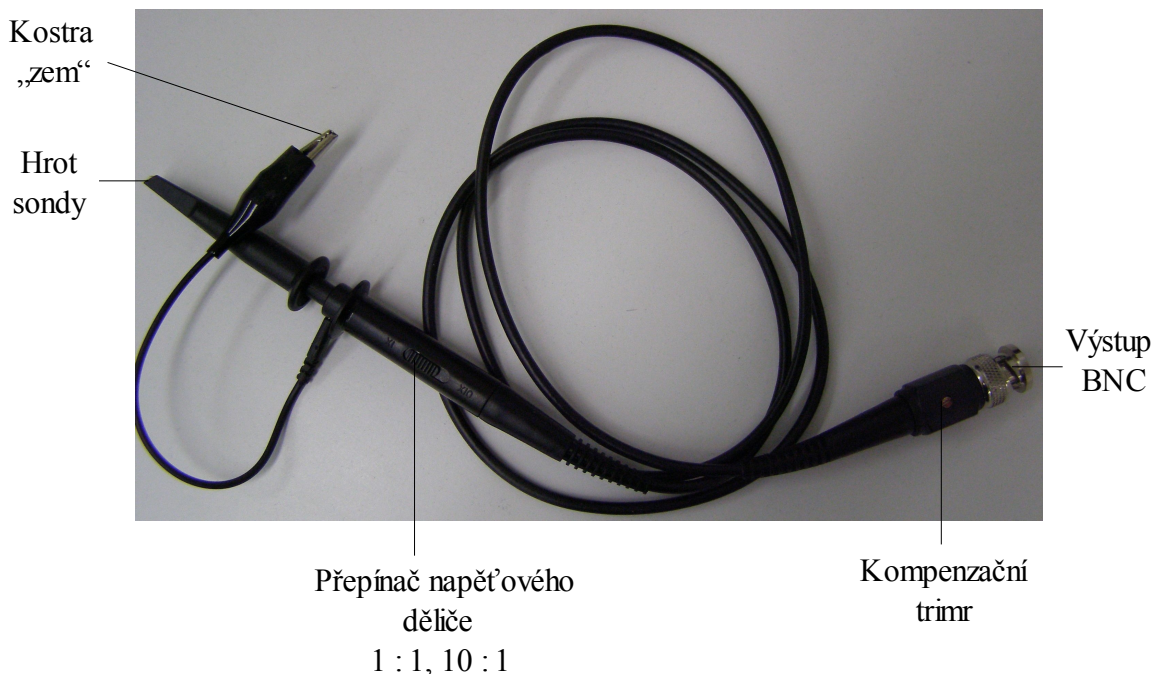
Princip zapojení sondy:



Obrázek č. 45
Osciloskopická sonda

Seřízení sondy je nutné provádět přesným kalibračním napětím a kmitočtem. Osciloskopy bývají tímto výstupem vybaveny. Jedná se přesný obdélníkový průběh, $f = 1 \text{ kHz}$, $0,5 \text{ V}_{PP}$. Trimrem v koncovém konektoru nastavíme přesný obdélníkový průběh na stínítku osciloskopu.

Obrázek č. 46
Typ osciloskopické sondy



8.2 Cejchování rozsahů měřicích přístrojů

Postup pro úpravu zobrazovacích modulů pro měření napětí a proudu.

V současné době jsou na trhu samostatné měřicí moduly (zobrazovací jednotky) digitální a analogové.

Digitální (číslicový) modul tvoří převodník s $3^{1/2}$ místným displejem. Je lhostejné, je-li s diodami LED nebo kapalnými krystaly. Rozdíl je jenom v požadavku na napájení. Displej LED má podstatně vyšší spotřebu proudu a je velmi nepraktické napájení z baterie. Digitální měřicí modul tedy musí mít vlastní zdroj napájecího napětí. Základní napěťový rozsah bývá 200 mV u modulu s $3^{1/2}$ -místným displejem.

Analogový (ručkový) modul tvoří většinou magnetoelektrická měřicí soustava. Vlastní zdroj napětí nepotřebuje, je napájena přímo měřeným obvodem. Stupnice má lineární dělení. Základní proudový rozsah bývá 100 μ A až 1 mA. Ostatní měřicí soustavy se vyskytují velmi sporadicky.

Oba typy jsou prakticky rovnocenné, z hlediska citlivosti. Abychom mohli přesně nastavit napěťové a proudové rozsahy, tzn. z měřicího modulu vyrobit voltmetr nebo ampérmetr, je nutné přesně znát velikost napětí a proudu pro plnou výchylku samotného systému. Tzn. změřit základní parametry měřicího modulu.

8.2.1 Měření základních parametrů měřicího modulu

Měřicí systém musí být odpojený od všech součástí v krytu přístroje.

Pro digitální modul zapojíme nezávislé napájení přiloženým napětím. Po zapnutí při 0 V by měl displej zobrazit $_{00.0}$ V. Pro plný zisk musí displej zobrazovat 199,9 mV. Jinak podle údajů výrobce je nutné jednotku seřídít.

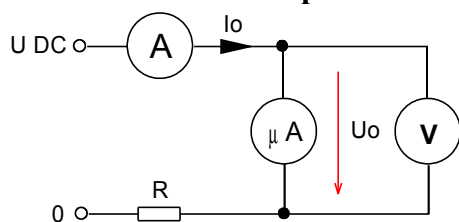
U analogového systému zkontrolujeme pohyb ručky. Měl by být plynulý, ručka nesmí nikde zadržávat. V klidu se ustálí na 0. Tuto polohu je možné seřídít stavěcím excentrickým šroubem na panelu přístroje.

Měříme tyto údaje:

- základní rozsah proudu při plné výchylce měřicího systému I_0 .
- úbytek napětí na cívce při plné výchylce měřicího systému U_0 .
- vnitřní odpor měřidla R_i .

Schéma zapojení zkušebního obvodu:

Pozor: voltmetr a ampérmetr musí být vždy min. o třídu kvalitnější.



Obrázek č. 47
Měření základních parametrů

Rezistor R vypočítáme z napětí zdroje a hodnoty proudu dané výrobcem.

$$R = \frac{U_{DC}}{I_0}$$

Postupným zvyšováním napětí nastavíme plnou výchylku na měřeném modulu. Hodnoty zapíšeme.

Dopočítáme vnitřní odpor systému:

$$R_i = \frac{U_0}{I_0}$$

8.2.2 Nastavení voltmetru pro daný rozsah

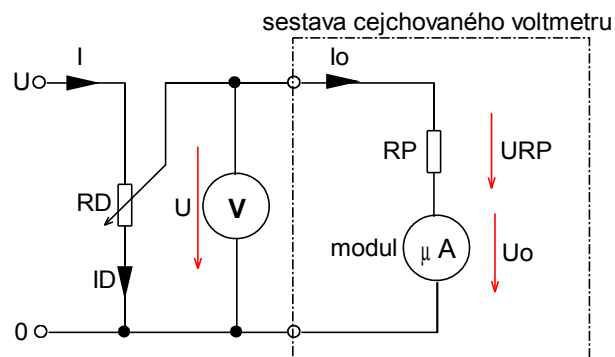
Úprava spočívá ve využití Kirchhoffova zákona o součtu úbytků napětí na spotřebičích. Sestavu tvoří měřicí modul (analogový nebo digitální) a předřadný rezistor – předřadník, zapojené v sérii. Měřené napětí se rozdělí na dvě hodnoty, úbytek napětí na modulu – U_0 a úbytek napětí na předřadníku U_p .

Hodnotu odporu předřadníku je nutno přesně nastavit. Nepřesnost by zásadně ovlivňovala přesnost celé sestavy. Předřadný rezistor nebo kombinace několika rezistorů se dimenzuje podle proudu I_0 . Protože tento proud je většinou v řádu $100 \mu\text{A}$, stačí rezistory s minimální výkonovou ztrátou. Důležitější je materiál použitých rezistorů. Musí být stabilní, nesmí měnit odpor v závislosti na teplotě. Používají se rezistory s metaloxidovou odporovou vrstvou.

Pro měření zkušebního – cejchovacího napětí je nutné použít multimetr vyšší třídy, tzn. s vyšší přesností.

Napájecí zdroj musí být stabilní, napětí nesmí během měření kolísat. Pro jemnou regulaci zkušebního napětí je možné zapojit potenciometr jako děliče napětí.

Schéma zapojení zkušebního obvodu:



Obrázek č. 48

Cejchování rozsahu voltmetru

Potenciometr musí být dimenzovaný na proud I_D , který jím poteče trvale.

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad \begin{array}{l} \text{- výkonová ztráta rezistoru} \\ \text{- odpor rezistoru} \end{array}$$

Vždy musí platit: $I > I_D + I_0$

Protože $U = U_{RP} + U_0$ a měřenou sestavou teče maximálně proud I_0 , pak předřadník R_p :

$$R_p = \frac{U - U_0}{I_0}$$

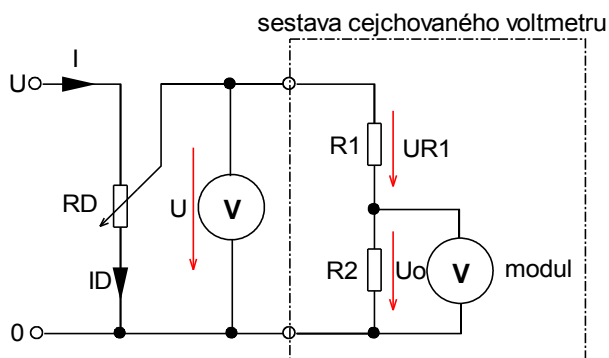
Přesnost nastavení rozsahu, tj. výběr rezistoru nebo kombinace musíme dodržet do dovolené tolerance při plné výchylce měřidla. Jestliže nestačí 1 rezistor, pak musíme sestavu předřadníku složit. Nejpřesnější, ale i nejpracnější je sestava z max. 3 rezistorů, které jsou buď v sérii nebo v sérioparalelní kombinaci. Při dostupnosti 0,5 % metaloxidových rezistorů řady E 192 bude určitě stačit jeden.

Sestava předřadníku v případě montáže musí být umístěna v měřicím přístroji pevně, nejlépe na přišroubované desce plošného spoje.

Cejchování rozsahu provádíme postupně, nejméně po 1/4 stupnice. Chyba nikdy nesmí přesáhnout dovolenou toleranci použitého modulu.

Digitální modul pro vyšší rozsah napětí nastavujeme trochu jiným způsobem. Rozsah musí být dekadickým násobkem základního rozsahu – 200 mV. Z toho vyvozujeme další rozsahy voltmetru: 2 V, 20 V, 200 V, atd. Přístroje jsou konstruovány do napětí 1000 V. Modul připojujeme k děliči napětí. Celkový odpor děliče multimetrů je většinou 10 MΩ a určuje vnitřní odpor voltmetru.

Schéma zapojení zkušebního obvodu:



Obrázek č. 49
Cejchování rozsahu dig. voltmetru

Potenciometr musí být dimenzovaný na proud I_D při napětí zdroje U .

Proud do cejchovacího obvodu v tomto případě lze zanedbat.

Podíl děliče vždy musí dekadický násobek rozsahu modulu.

Podle Kirchhoffova zákona platí: $U = U_{R1} + U_0$

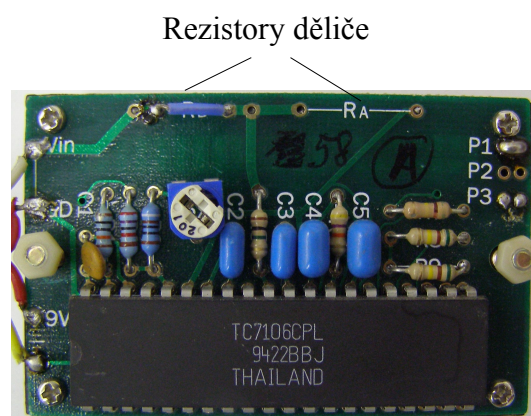
Odpor děliče: $R_{1,2} = R1 + R2$

Z toho lze vyvodit: $U_0 : U = R2 : R_{1,2}$

Typ digitálního modulu:
(převodník 7106)



Obrázek č. 50
Náhled displeje (vypnutý)



Obrázek č. 51
Náhled desky spoje

Při nastavování se řídíme pokyny výrobce, které jsou dodávány ke každému modulu. Parametry jsou sice z velké části dané typem předřadníku, ale přesto se mohou lišit.

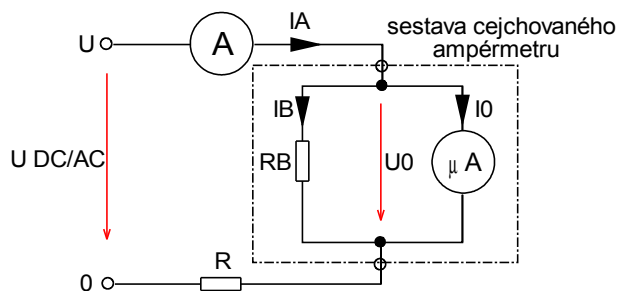
8.2.3 Nastavení ampérmetru pro daný rozsah

Úprava spočívá ve využití Kirchhoffova zákona o dělení proudů v paralelních větvích obvodu. Sestavu tvoří měřicí modul (analogový nebo digitální) a paralelní rezistor – bočník, zapojené paralelně. Měřený proud I_A se rozdělí na dvě hodnoty, proud tekoucí modulem – I_0 a proud tekoucí paralelním rezistorem R_B – bočníkem – I_B . V uzlech sestavy je napětí U_0 .

Hodnotu odporu bočníku je nutno přesně nastavit. Nepřesnost by zásadně ovlivňovala přesnost měření celé sestavy. Bočník tvoří rezistor nebo kombinace několika rezistorů a dimenzuje se podle proudu I_B . Protože tento proud může být až v řádech 10^1 A, musí být zapojovány rezistory s odpovídající výkonovou ztrátou. Důležitý je materiál použitých rezistorů. Musí být stabilní, nesmí měnit odpor v závislosti na teplotě. Pro malé proudy se používají rezistory s metaloxidovou odporovou vrstvou, pro větší proudy se bočníky vyrábí z odporových materiálů (konstantan, manganin) nebo bronzu.

Napájecí zdroj musí být stabilní, proud nesmí během měření kolísat. Vždy musí být do obvodu zařazený rezistor R , který nahrazuje spotřebič a je dimenzovaný na měřený proud. Samotné ampérmetry nelze ke zdroji zapojit. Protože to jsou přístroje s malým vnitřním odporem, představují v obvodu prakticky „čistý“ zkrat. Proto pro jemnou regulaci měřeného proudu je možné zapojit výkonový potenciometr (reostat). Výhodné je použít napájecí zdroj s jemnou regulací omezení výstupního proudu – proudovou pojistkou.

Schéma zapojení zkušební obvodu: (zkušební ampérmetr musí být vyšší třídy přesnosti)



Obrázek č. 52

Cejchování rozsahu ampérmetru

Rezistory musí být dimenzované na odpovídající výkonovou ztrátu při proudech I_A nebo I_B , který jimi poteče trvale.

$$P_R = R \cdot I_A^2 \quad P_B = R_B \cdot I_B^2$$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad \text{- výkonová ztráta rezistoru}$$

$$R \quad \text{- odpor rezistoru}$$

Vždy musí platit: $I > I_A$

Protože v uzlech sestavy je vždy napětí U_0 proud I_A se dělí na proud do obou větví, pak:

$$I_A = I_B + I_0$$

Odpor bočníku R_B :

$$R_B = \frac{U_0}{I_A - I_0}$$

Přesnost nastavení rozsahu, tj. výběr rezistoru nebo kombinace rezistorů musíme dodržet do dovolené tolerance při plné výchylce měřidla. Jestliže nestačí 1 rezistor, pak musíme sestavu složit. Výhodné je zapojit výkonový rezistor s trochu vyšším odporem a sestavu doladit paralelním rezistorem. Ten již stačí na nižší výkon. Sestava bočníku v případě montáže musí být umístěna v měřicím přístroji pevně, nejlépe na přišroubované desce plošného spoje.

Cejchování rozsahu provádíme postupně, nejméně po 25 % plné výchylky. Chyba nikdy nesmí přesáhnout dovolenou toleranci použitého modulu.

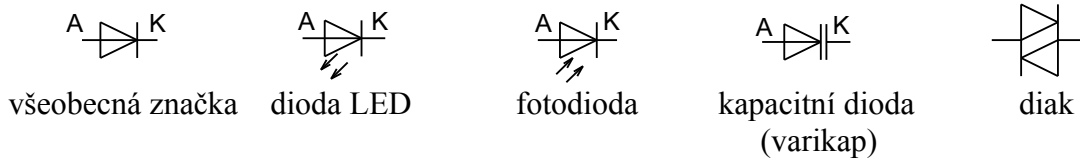
9. Měření polovodičových diskretních součástek

9.1 Měření diod - usměrňovací

Dioda je polovodičová součástka s jedním přechodem PN. Elektrody se nazývají anoda A (polovodič P) a katoda K (polovodič N).

Obrázek č. 53

Příklad značení diod různých typů



Kontrola přechodu PN:

Provádí se přímou metodou. Většina multimetrů je vybavena funkcí - test diod, akustická zkoušečka. Diodu připojíme k vývodům V, Ω (+) a COM. (-). Měříme - li v propustném směru, displej zobrazí úbytek napětí na přechodu PN - řádově 10^2 mV (u křemíkových diod). Při zapojení v závěrném směru je zobrazena I - nekonečno. Tento stav ale může značit i poruchu - přerušovaný přechod. Ozve - li akustická zkoušečka, je přechod PN zkratovaný.

V - A charakteristika diody v propustném směru:

Provádí se pro přesné proměření parametrů diody – ověření charakteristických katalogových údajů. Je možné provést měření v propustném a závěrném směru. Na usměrňovací diodě provádíme měření v propustném směru. Charakteristiku v závěrném směru z bezpečnostních důvodů (vysoké napětí) nelze jednoduše měřit.

Katalogové údaje diody: (rozlišujeme mezní a charakteristické)

Mezní: (vymezují použití součástky)

Napětí v propustném směru – $U_F =$

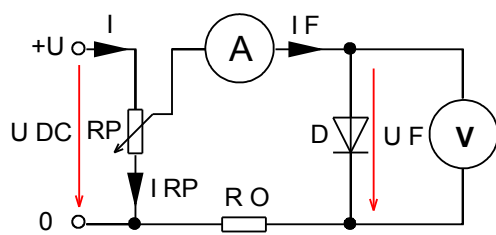
Proud v propustném směru – $I_F =$

Napětí v závěrném směru – $U_R =$

Charakteristické: (jmenovité hodnoty pro měření)

$U_F =$ při $I_F =$

Schéma zapojení zkušební obvodu:



Obrázek č. 54

V-A charakteristika v propustném směru

Podmínky pro dělič napětí R_P a omezovací rezistor R_0 : (součástky se nesmí přetížít)

Potenciometr R_P :

$R =$ $P_{TOT} =$ $\Rightarrow I_{MAX} =$

pro (zdroj) $U_{MAX} =$ $\Rightarrow I_{RPMAX} =$

Musí platit: $I_{MAX} > I$ ($I = I_{RP} + I_F$)

Rezistor R_0 : musí platit $I_{R0MAX} > I_F$

Doporučený postup měření:

Vycházíme z katalogových údajů - charakteristické hodnoty. Mezní limity se nesmí překročit. Dioda je polarizována v propustném směru. Pro jemnou regulaci napětí od " 0 " je nutný potenciometr R_p , zapojený jako dělič napětí nebo zdroj s jemnou regulací výstupního napětí.

Potenciometr musí vyhovovat pro podmínky měření svou max. výkonovou ztrátou. Pozor na $I_{RP} + I_F$. Poměrně snadno hrozí přepálení odporové dráhy potenciometru. Napájecí napětí pro dělič R_p nastavíme cca do 5 V. Pro otevření přechodů PN to bohatě stačí a vyšší hodnota by nám zbytečně zatěžovala součástky. **Pozor na max. proud I_F při plném otevření diody.** Proto je nutné omezení proudu I_F rezistorem R_0 . Stačí malá odporová hodnota s odpovídající výkonovou ztrátou. Maximální proud předem stanovíme podle katalogového údaje měřené diody.

Postupně zvyšujeme napětí, od 0 po 0,05 V. Zapisujeme úbytek napětí na diodě U_F a proud protékající diodou I_F . Při dosažení úplného otevření diody (mezní proud) nebo limitu výkonové ztráty diody už napájecí napětí nezvyšujeme. Přechod PN je již plně otevřený, a vyšším napětím a tím i vyšším proudem, bychom mohli některou diodu zničit. Nepřekračujeme katalogové údaje U_F a I_F .

Při měření se snažíme o co *nejjemnější* regulaci napětí. Vycházíme z možností použitých měřicích přístrojů a zdroje napájecího napětí. Výsledky měření zaznamenáme do tabulky.

Naměřené údaje zaneseme do grafu. Na ose X zobrazujeme napětí U_F , na ose Y proud I_F . Výsledkem grafu je křivka, která zobrazuje postupné otevírání přechodu PN diody. Měřením charakteristiky potvrdíme platnost charakteristických katalogových údajů.

9.2 Měření diod - Zenerova

Zenerova dioda je rovněž polovodičová součástka s jedním přechodem PN. Elektrody se také nazývají anoda A (polovodič P) a katoda K (polovodič N). Od běžné diody se liší svými vlastnostmi. V propustném směru se chová stejně jako běžná dioda.

V závěrném směru se při dosažení určité hodnoty napětí stává propustnou. Oproti běžné usměrňovací diodě je to napětí podstatně nižší. Tomuto napětí se říká Zenerovo a značí se U_Z . Při otevření Zenerovy diody v závěrném směru součástkou začne protékat proud – značí se I_Z . Tyto dvě hodnoty jsou hlavním katalogovým údajem těchto součástek.



Obrázek č. 55
Značka Zenerovy diody

Kontrola přechodu PN:

Můžeme provést přímou metodou. Multimetrem, podobně jako u běžné diody. Diodu připojíme k vývodům V, Ω (+) a COM. (-). V propustném směru displej zobrazí úbytek napětí na přechodu PN - řádově sta (jako u běžné diody). Chová se tedy stejně. Zenerovo napětí (v závěrném směru) tímto způsobem změřit nelze. Multimetry tak velkým zkušebním napětím na svých svorkách nedisponují. Při zapojení v závěrném směru pouze zjistíme, zda Zenerova dioda není proražená.

V - A charakteristika Zenerovy diody v závěrném směru:

Provádíme pro přesné přeměření parametrů diody – ověření charakteristických katalogových údajů. Je možné provést měření i v propustném směru, podobně jako u běžné diody, ale z hlediska použití této součástky to nemá smysl.

Katalogové údaje diody: (rozlišujeme mezní a charakteristické)

Mezní: (vymezují použití součástky)

Napětí v závěrném směru – $U_Z =$

Proud v závěrném směru – $I_Z =$

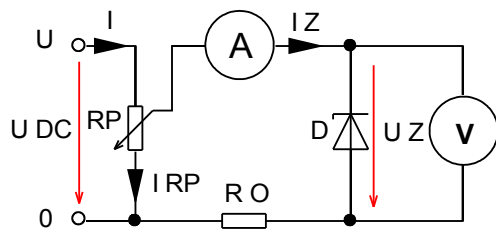
Výkonová ztráta $P_{TOT} =$

Charakteristické: (jmenovité hodnoty pro měření)

$U_Z =$ při $I_Z =$

Vždy je nutné zjistit katalogové údaje měřené diody. Jestliže nelze určit typ podle značení pouzdra, nastavíme měřicí obvod podle diod podobného typu s menšími ztrátovými výkony.

Schéma zapojení zkušebního obvodu:



Obrázek č. 56

V-A charakteristika v závěrném směru

Podmínky pro dělič napětí R_P a omezovací rezistor R_O : (součástky se nesmí přetížít)

Potenciometr R_P :

$$R = \quad P_{TOT} = \quad \Rightarrow I_{MAX} =$$

$$\text{pro (zdroj) } U_{MAX} = \quad \Rightarrow I_{RP_{MAX}} =$$

Musí platit: $I_{MAX} > I$ ($I = I_{RP} + I_Z$)

Rezistor R_O : musí platit $I_{R0_{MAX}} > I_Z$

Doporučený postup měření:

Dioda je polarizována v závěrném směru. Pro jemnější regulaci napětí v oblasti otevírání přechodu PN je vhodný potenciometr R_P , zapojený jako dělič nebo zdroj s jemnou regulací výstupního napětí. Potenciometr musí splňovat podmínky měření svou max. výkonovou ztrátou. Je nutné kontrolovat během měření $I_{RP} + I_Z$. Odporová dráha potenciometru se velmi snadno přetíží a zničí.

Napájecí napětí postupně zvyšujeme, např. po 1 V. Ve chvíli, kdy zjistíme nárůst proudu I_Z , tzn., že přechod PN se začíná otevírat, regulaci zjemníme. Např. po 0,1 – 0,2 V. Zanedbáváme vlastní spotřebu voltmetru. Protože při otevření přechodu by tekl diodou velký proud a hrozilo by její zničení, je nutné do obvodu zařadit ochranný rezistor R_O . Jeho odpor odvodíme z velikosti možného napájecího napětí a mezní hodnoty I_Z . Během měření je možné jeho hodnotu upravit. Takto vybraný rezistor spolehlivě omezí proud tekoucí obvodem na bezpečnou mez pro všechny typy Zenerovy diody. Ve skutečnosti se vždy projeví úbytek napětí U_Z na diodě a nikdy nemůže dojít ke zničení součástky. I v případě převrácené polarity – zapojení diody v propustném směru. Zapisujeme napětí a proud. Při úplném otevření diody (charakteristické hodnoty) napájecí napětí dále nezvyšujeme. Není vhodné překračovat katalogové údaje I_Z .

Při měření se snažíme o co *nejjemnější* zachycení otevírání přechodu PN. Vycházíme z možností použitých měřicích přístrojů a zdroje napájecího napětí. Výsledky měření zaneseme do grafu. Na ose X (záporné) zobrazujeme napětí U_Z , na ose Y (záporné) proud I_F . Výsledkem grafu je křivka, která zobrazuje postupné otevírání přechodu PN Zenerovy diody v závěrném směru. Na grafu lze vyznačit oblast optimálního využití proudu I_Z diody z hlediska dovolené výkonové ztráty. Měřením charakteristiky potvrdíme platnost charakteristických katalogových údajů.

Nejjednodušší přeměření napětí U_Z je možné provést pomocí stabilizovaného zdroje s proudovým omezením. Na zdroji nastavíme podle katalogu max. velikost proudu I_Z . Diodu zapojíme v závěrném směru. Potom zvyšujeme napětí až do rozsvícení kontrolky proudového limitu. Další zvyšování napětí již není možné a přiložený voltmetr indikuje hodnotu U_Z .

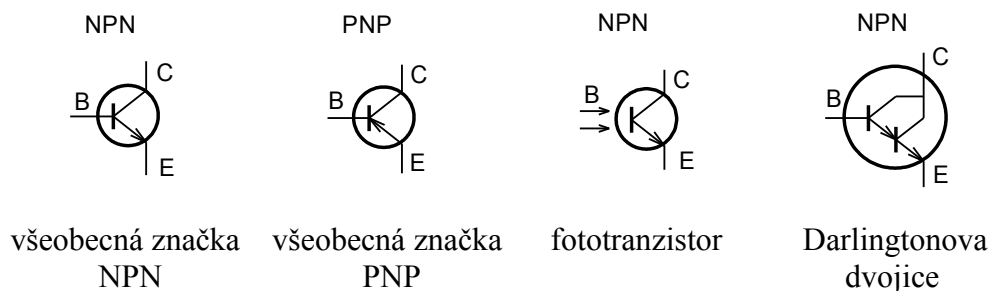
Není-li k dispozici zdroj s proudovou pojistkou, můžeme proudový limit nahradit omezovacím rezistorem.

9.3 Měření bipolárních tranzistorů

Tranzistor je polovodičová součástka. Má dva přechody PN, tři elektrody. Jmenují se kolektor C, báze B a emitor E. Podle značení NPN nebo PNP je označena vodivost příslušné elektrody: N – elektronová (negativní) a P – děrová (pozitivní). Hlavní proud teče elektrodami kolektor – emitor, malým proudem do báze lze hlavní obvod řídit.

Sortiment je velmi široký, existuje mnoho typů. Liší se parametry pro různé použití – pracovní režim. Typy pro malé, střední a vysoké výkony se liší velikostí pouzder, způsobem chlazení. Dokonce existují stejné druhy, které nemají stejně rozložené elektrody. Vždy je nutné provést pečlivou identifikaci a proměření.

Obrázek č. 57
Příklad značení tranzistorů



Značka nerozlišuje tranzistory z hlediska druhu – podle účelu použití. Důležitý je další popis.

Proměření přechodů PN bipolárních tranzistorů NPN a PNP

Kontrolní měření stavu součástky a identifikace elektrod. Typ a číslo součástky, tvar pouzdra, rozmístění vývodů najdeme v katalogu součástek – katalogovém listu výrobce. Jestliže není katalog k dispozici, dají se touto cestou rozlišit jednotlivé elektrody, ale nelze zjistit parametry součástky. K přeměření přechodů PN mezi elektrodami je ideální multimetr s diodovým testem - akustickou zkoušečkou. Touto funkcí jsou v současné době vybaveny v podstatě všechny. Měříme všechny elektrody proti sobě.

Vyhodnocení stavu:

Je - li přechod PN v pořádku - na displeji se zobrazí číslo (v řádu set) - úbytek napětí na přechodu (mV).

Je - li přechod PN přerušeny - na displeji se zobrazí 1 – nekonečno.

Je - li přechod PN zkratovaný – na displeji se zobrazí 0, multimetr píská - velmi malý odpor přechodu – zkrat.

Obrázek č. 58
Měření přechodů P-N

TABULKA STAVU: stav - a) O - otevřený, b) Z - zavřený							
NPN				PNP			
C	B	E	STAV	C	B	E	STAV
+		-	Z	+		-	Z
-		+	Z	-		+	Z
	+	-	O		+	-	Z
	-	+	Z		-	+	O
+	-		Z	+	-		O
-	+		O	-	+		Z

Není-li k dispozici multimetr, je možné proměření přechodů PN mezi elektrodami provést i obyčejnou zkoušečkou - " bzučákem ". Jen zkušební napětí nesmí překročit limit 5 V, což je hodnota u většiny tranzistorů kritická pro napětí E – B v závěrném směru. Proud zkoušečky by neměl překročit hodnotu 50 mA, což je proud pro všechny nf tranzistory bezpečný. Střídavé napětí se nesmí pro toto měření používat vůbec!!

Identifikace vývodů:

Identifikovat elektrody kolektor C a emitor E - zatím je jedno která je která - mezi sebou jsou pro obě polarity zavřené, displej zobrazuje 1. Zbývající elektroda musí být tedy báze B. Polarizujeme B proti C a E, v propustném směru a sledujeme údaj na displeji. Přechod B - E má vždy vyšší hodnotu (vyšší úbytek napětí) než přechod B - C.

Tímto způsobem snadno rozlišíme elektrody u neznámého pouzdra a zároveň máme jistotu, že se jedná o bipolární tranzistor příslušné vodivosti. Napěťové, proudové a hlavně výkonové parametry bohužel už takto jednoduše zjistit nejde.

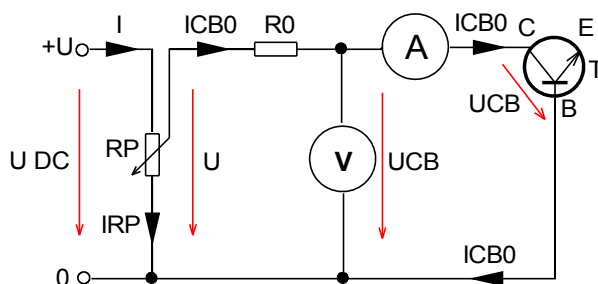
9.4 Měření zbytkových proudů

Zbytkové proudy patří u bipolárních tranzistorů mezi základní stejnosměrné parametry. Jsou závislé na teplotě. Stanovují se ze závislosti proudu na napětí mezi elektrodami v závěrném směru. Samozřejmě, v ideálním tranzistoru by neměly existovat vůbec. Zbytkové proudy měříme podle katalogových údajů výrobců tranzistorů. Naměřené hodnoty porovnáme s katalogovým údajem daného tranzistoru. Nesmí být horší!!

Měření zbytkového proudu přechodu C - B

Je to zbytkový proud v zapojení se společnou bází. Značí se I_{CB0} a je to nejdůležitější údaj, co se týká kvality tranzistoru. Většinou výrobci udávají tento jediný. Udává jakost kolektorového přechodu tranzistoru v závěrném směru.

Schéma zapojení zkušební obvodu - vodivost NPN



Obrázek č. 59

Měření zbytkového proudu I_{CB0} (NPN)

Podmínky:

Dělič napětí R_P - volíme podle proudu $I_{CB0} + I_{RP}$ a napětí $+U$. Správně dimenzovat P_{TOT} potenciometru.

Omezovací rezistor R_0 - volit podle I_{CB0} a $+U$. Správně dimenzovat P_{TOT} rezistoru.

Katalogové údaje měřeného tranzistoru:

Mezní:

$U_{CEO} =$

$I_C =$

$P_C =$

Charakteristické hodnoty:

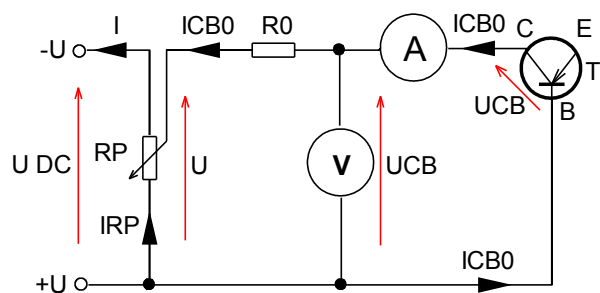
$I_{CB0} =$ při $U_{CB0} =$

$U_{CES} <$

Doporučený postup měření:

Tranzistor zapojíme do obvodu podle schématu. Podle předpokládaného proudu děličem a omezovacím rezistorem vhodně dimenzujeme součástky ve smyslu stanovených podmínek. Máme-li vhodný, jemně regulovatelný zdroj stabilizovaného napětí, můžeme dělič R_P vynechat. Nastavíme hodnotu napětí U_{CB} podle katalogového údaje a odečteme velikost proudu I_{CB0} . Porovnáme z katalogovým údajem. Čím je přechod P - N kvalitnější, tím je hodnota I_{CB0} nižší.

Schéma zapojení zkušebního obvodu- vodivost PNP



Podmínky:

Pro dělič a omezovací rezistor stejné jako u tranzistoru NPN

Obrázek č. 60

Měření zbytkového proudu I_{CB0} (PNP)

Katalogové údaje měřeného tranzistoru:

Mezní:

$U_{CEO} =$

$I_C =$

$P_C =$

Charakteristické hodnoty:

$I_{CB0} =$ při $U_{CB0} =$

$U_{CES} <$

Doporučený postup měření:

Stejný jako u tranzistoru NPN.

9.5 Měření proudového stejnosměrného zesilovacího činitele

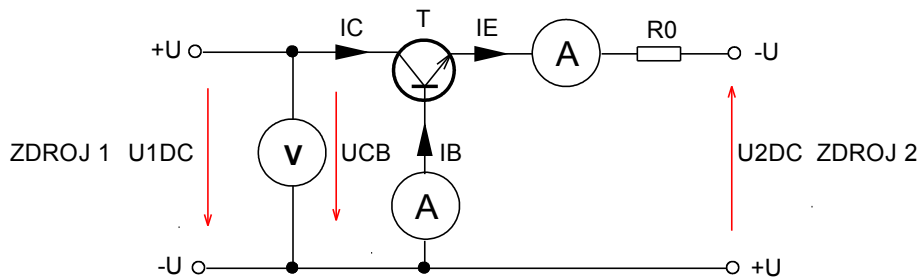
Stejnosemřný proudový zesilovací čínel nakrátko je jeden z nejdůležitějších katalogových parametrů tranzistoru. Značí se symbolem h_{21E} nebo h_{FE} . Stanovuje podíl, kolikrát je zesílen proud emitorem oproti proudu do báze tranzistoru. Nemá rozměr – nevyjadřuje se v žádných jednotkách.

Měření multimetrem:

Orientačně lze u nízkovýkonových tranzistorů tento čínel změřit přímo multimetrem. Tento měřicí rozsah obsahuje většina multimetrů. Není to ovšem podle katalogových údajů výrobce. Multimetry mají pro toto měření omezené hodnoty napětí a proudů vzhledem k možnostem napájecí baterie. Lze také takto měřit pouze nízkovýkonové tranzistory. Pro běžnou kontrolu a porovnání tranzistorů mezi sebou pro orientační výběr to ovšem stačí. Součástka musí mít rovné a naprosto čisté vývody. Jakákoli nerovnost nebo nečistota by mohly definitivně poničit konektor multimetru. Měření je jednoduché. Připravený tranzistor zasuneme podle typu vodivosti do příslušných pinů a na displeji přímo odečteme hodnotu proudového zesílení.

Měření podle katalogových údajů:

Schéma zapojení zkušebního obvodu- vodivost NPN



Obrázek č. 61
Měření h_{21E}

Podmínka: Omezovací rezistor R_0 musí být dimenzovaný na předpokládaný proud I_E .

Katalogové údaje měřeného tranzistoru:

Mezní:

$U_{CEO} =$

$I_C =$

$P_C =$

Charakteristické hodnoty:

$h_{21E} =$ při $U_{CB} =$ a $I_E =$

$U_{CES} <$

Doporučený postup měření:

Při tomto měření vycházíme z údajů výrobce. Nastavujeme dané parametry a porovnáváme shodu s údaji výrobce. Tento způsob je nutný hlavně u tranzistorů vyšších výkonů, kde multimetrem h_{21E} prakticky měřit nelze. Laboratorní stabilizované zdroje musí být schopny dodat do obvodu měřicí proud. Oba jsou zapojeny v sérii. Nejvhodnější jsou zdroje s proudovou pojistkou, jejíž pomocí můžeme snadno nastavit požadovaný proud. Pak je omezovací rezistor zbytečný. Jestliže zdroje proudovou pojistku nemají, je nutné rezistor zařadit. Stanovit pomocí

Ohmova zákona z hodnot U_{2DC} a předpokládaného I_E jeho odpor a dimenzovat ho na potřebnou výkonovou ztrátu.

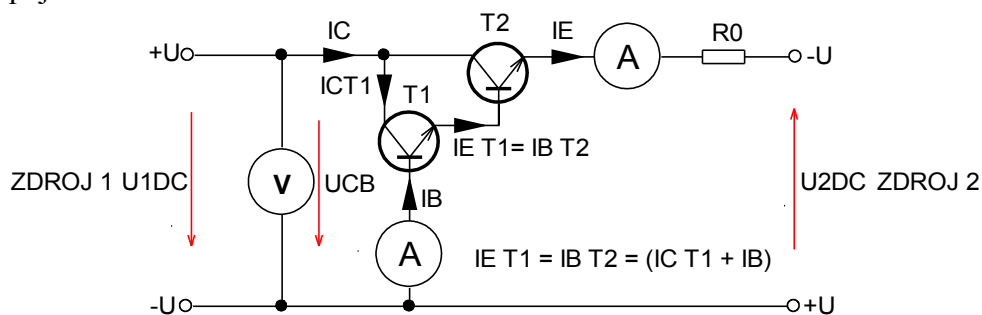
Zkušební obvod zapojíme podle schématu. Předvolíme správné rozsahy multimetrů. Na zdroji 1. nastavíme katalogovou hodnotu U_{CB} . Pomocí zdroje 2. nastavíme katalogovou hodnotu proudu I_E . Z multimetru odečteme velikost proudu do báze tranzistoru. Vypočítáme proudové zesílení.

$$h_{21E} = \frac{I_E}{I_B} - 1$$

Měření dvojice tranzistorů v Darlingtonově zapojení podle katalogových údajů:

Uvedenou dvojici tvoří dva tranzistory stejné vodivosti. Zapojení se používá zejména pro vyšší hodnotu proudového zesílení. Tranzistor T2 je výkonový, T1 je řídicí, stačí nízkovýkonový. Lze sestavit dvojici ze samostatných tranzistorů, vyrábí se i dvojice ve společném pouzdru. Při měření je nutné respektovat katalogové údaje použitých součástek. Pro sestavenou dvojici je vhodné měření v podmínkách napájení předpokládaného použití.

Schéma zapojení zkušební obvodu- vodivost NPN



Obrázek č. 62

Měření h_{21E} Darlingtonovy dvojice

Podmínka: Omezovací rezistor R_0 musí být dimenzovaný na předpokládaný proud I_E .

Katalogové údaje měřeného tranzistorů:

Tranzistor T1:

Mezní:

$U_{CEO} =$

$I_C =$

$P_C =$

Charakteristické hodnoty:

$h_{21E} =$ při $U_{CB} =$ a $I_E =$

$U_{CES} <$

Tranzistor T2:

Mezní:

$U_{CEO} =$

$I_C =$

$P_C =$

Charakteristické hodnoty:

$h_{21E} =$ při $U_{CB} =$ a $I_E =$

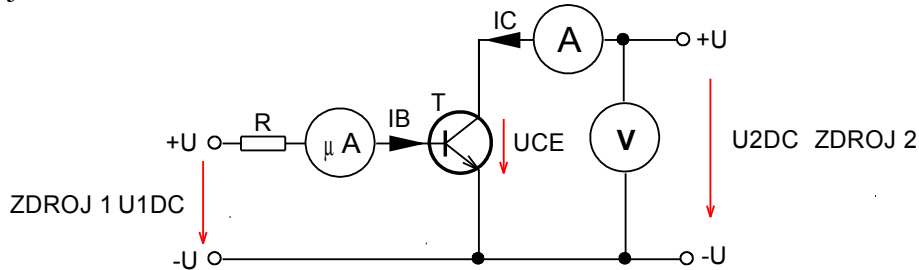
$U_{CES} <$

Doporučený postup měření a výpočet zesilovacího činitele je stejný jako u samostatného tranzistoru.

9.6 Měření voltampérové charakteristiky tranzistoru vodivosti NPN

Smyslem měření je zjištění závislosti nárůstu proudu I_C na nárůstu napětí U_C při konstantním proudu I_B . Při velkém rozmezí napětí U_C by se měl proud I_C zvyšovat jen málo. Tranzistor je v zapojení se společným emitorem. Podle naměřených údajů vytvoříme diagramy závislosti proudu I_C na napětí U_C při daném proudu I_B . Podle počtu měření vznikne několik křivek. Jejich ukončení určí oblast pracovních bodů bezpečného použití tranzistoru v závislosti na dovolené výkonové ztrátě P_{TOT} .

Schéma zapojení zkušebního obvodu:



Obrázek č. 63

Měření stejnosměrné V-A charakteristiky tranzistoru NPN

Mezní katalogové údaje měřeného tranzistoru:

$U_{CEO} =$

$I_C =$

$P_{TOT} =$

Doporučený postup měření:

Napájecí zdroje musí být stabilizované, s obvyklou regulací napětí. Proudová pojistka je vhodná, není nutná. Obvod zapojíme podle schématu. Velikosti proudů I_B volíme podle typu tranzistoru. Většinou se provádí měření při několika proudech I_B , které jsou pravidelně odstupňované. Např. po 50 μA . Hodnotu rezistoru R vypočítáme podle Ohmova zákona z U_1 a zvoleného proudu I_B . Napětí U_{BE} lze v tomto případě zanedbat.

Nastavíme nejmenší velikost I_B . Postupně nastavujeme hodnoty U_{CE} , např. po 1 V a odečítáme hodnoty I_C . Proud I_B musí být konstantní. Naměřené hodnoty zaznamenáváme do tabulky. Postupně provádíme totožné měření při zvolených hodnotách I_B . Během každého měření kontrolujeme výkonovou ztrátu na tranzistoru P_{TOT} , zvláště při vyšších hodnotách U_{CE} a I_C . **Nesmí dojít k přetížení!** Při dosažení kterékoli mezní katalogové hodnoty měření ukončíme.

Obrázek č. 64

Příklad tabulky měření

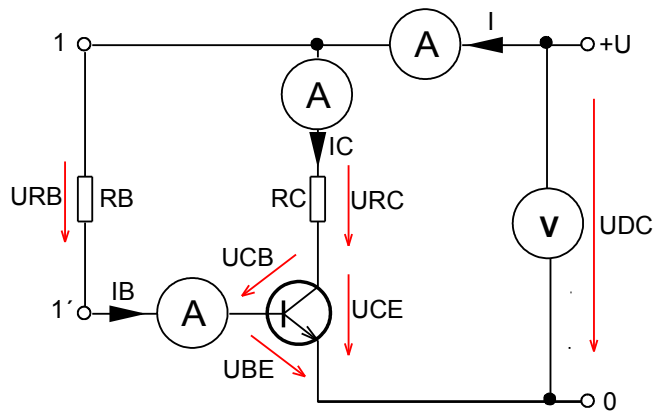
Tranzistor :								
Měření při $I_B =$			Měření při $I_B =$			Měření při $I_B =$		
U_{CE}	I_C	P_{TOT}	U_{CE}	I_C	P_{TOT}	U_{CE}	I_C	P_{TOT}

(Počet řádků upravíme podle požadavků)

9.7 Měření na tranzistoru vodivosti NPN – postupné otevírání přechodů

Záměrem tohoto měření je potvrdit závislosti mezi napětími a proudy v obvodu při postupném otevírání tranzistoru, který je v nejpoužívanějším zapojení se společným emitorem. Zvyšováním proudu do báze se tranzistor otevírá, tj. narůstá proud do kolektoru. Napětí na kolektoru se zmenšuje. Zároveň se mění výkonová ztráta na kolektoru. Při dosažení některého z mezních údajů měření ukončíme.

Schéma zapojení zkušební obvodu:



Obrázek č. 65
Zapojení obvodu

Mezní katalogové údaje měřeného tranzistoru:

$$U_{CEO} =$$

$$I_C =$$

$$P_C =$$

Během měření se nesmí překročit kterákoli z nich.

Vztahy: (Kirchhoffovy zákony)

$$U_{DC} = U_{RC} + U_{CE} \quad U_{DC} = U_{RB} + U_{BE}$$

$$I = I_C + I_B \quad P_C = U_{CE} \cdot I_C$$

Doporučený postup měření:

Obvod zapojíme podle schématu. Zvolíme velikost napětí U_{DC} . Vycházíme z katalogových údajů a běžných hodnot napájecích napětí v praxi (10 – 20 V). Vypočítáme rezistor R_C . Jeho odpor určuje v tomto případě napájecí napětí a mezní tranzistorem I_C podle Ohmova zákona při zachování dovolené výkonové ztráty P_C . Rezistor lze nahradit vhodnou žárovkou a sledovat postupné rozsvícení. „Bázový“ rezistor zapojujeme do měřících bodů 1 – 1'. Měříme proudy do elektrod tranzistoru, celkový proud a všechny úbytky napětí na rezistorech, zdroji a elektrodách tranzistoru.

Pro první měření necháme svorky 1 – 1' volné. Nastavíme U_{DC} . Změříme a zapíšeme všechny hodnoty. Pak postupně zapojujeme na místo R_B rezistory od hodnoty např. 4,7 MΩ. Následující rezistor volíme přibližně poloviční. Samozřejmě v mezích dostupné odporové řady. Pečlivě měříme a zapisujeme všechny hodnoty. Je velmi vhodné po každém měření vypočítat a kontrolovat výkonovou ztrátu.

Obrázek č. 66
Příklad tabulky měření

U_{DC}	I	R_B	I_C	I_B	U_{CE}	U_{CB}	U_{RC}	U_{BE}	U_{RB}	P_C

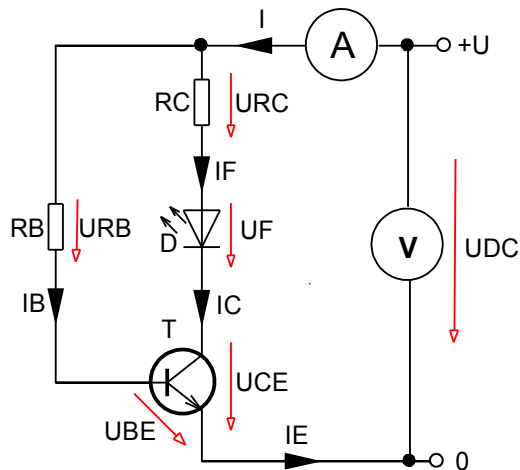
(Počet řádků upravíme podle požadavků)

Zkontrolujeme změny pracovních bodů (U_{CE} ; I_C). Porovnáme je z hlediska spínacího a zesilovacího režimu.

9.8 Měření tranzistoru ve spínacím režimu

Tranzistor je v zapojení se společným emitorem. V kolektorovém obvodu je spínána světelná dioda, která určuje kolektorový proud tranzistoru. Tento proud omezuje rezistor R_C . V tomto zapojení je nutné, aby úbytek na tranzistoru byl co nejmenší. Pracovní bod tedy volíme v oblasti úplného otevření tranzistoru.

Schéma zapojení zkušebního obvodu:



Obrázek č. 67
Spínání LED

Mezní katalogové údaje:

Tranzistor:

$U_{CEO} =$

$I_C =$

$P_C =$

Změříme $h_{21E} =$

Dioda LED:

$U_F =$

$I_F =$

Vztahy: (Kirchhoffovy zákony)

$$U_{DC} = U_{RC} + U_F + U_{CE}$$

$$I = I_C(I_F) + I_B$$

$$U_{DC} = U_{RB} + U_{BE}$$

$$I_C = I_F$$

$$P_C = U_{CE} \cdot I_C$$

Orientační výpočet:

Zvolíme napětí U_{DC}

Napětí U_{CE} při otevřeném tranzistoru bývá v praxi v řádech $10^{-1}V$. Volíme max. $U_{CE SAT} < 1,5 V$

Napětí U_F diody najdeme v katalogu pro příslušnou barvu. Rovněž proud I_F .

$$\text{Výpočet } R_C = \frac{U_{DC} - (U_F + U_{CE})}{I_F(I_C)}$$

Napětí U_{BE} při otevřeném přechodu bývá v rozmezí 0,6 – 0,8 V. Protože proud I_B je přibližně vůči I_C menší v podílu činitele zesílení, pak:

$$I_B = \frac{I_C}{h_{21E}}$$

$$\text{Výpočet } R_B = \frac{U_{DC} - U_{BE}}{I_B}$$

Doporučený postup měření:

Obvod zapojíme podle schématu s navrženými součástkami. Připojíme stabilizovaný zdroj a postupně zvyšujeme napájecí napětí. Současně sledujeme odběr proudu. Při dosažení zvolené velikosti U_{DC} provedeme změření všech napětí a proudů podle schématu.

Obrázek č. 68
Příklad tabulky měření

U_{DC}	I	R_C	R_B	$I_C (I_F)$	I_B	U_F	U_{CE}	U_{RC}	U_{BE}	U_{RB}	P_C

(Počet řádků upravíme podle požadavků)

Proudy, které nelze přímo změřit stanovíme podle Ohmova zákona nepřímou metodou.

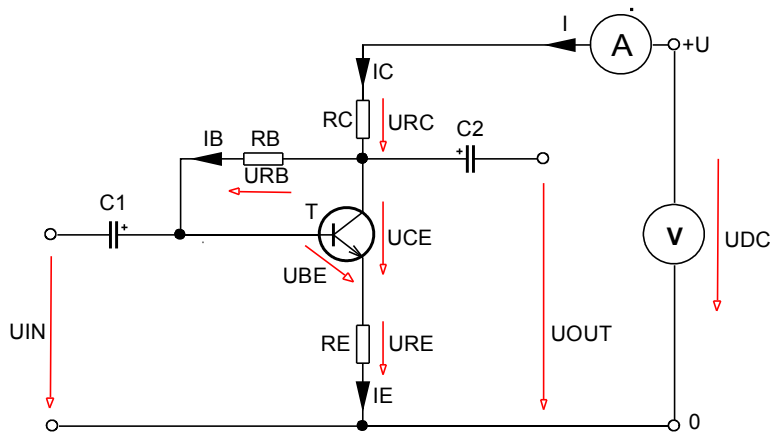
Změnou rezistoru R_B podle potřeby změníme pracovní bod tranzistoru. V tomto zapojení je žádoucí, aby byl maximálně otevřený. Výkonová ztráta je pak minimální a spotřebič (dioda LED) má nejvyšší napájecí napětí.

Při spínání jiného spotřebiče (žárovka, relé) se samozřejmě mění požadavky na spínaný proud a napětí. To ovlivňuje volbu tranzistoru, popřípadě vyžaduje připojení odrušovacích obvodů.

9.9 Měření tranzistoru v zesilovacím režimu

V této jedné z nejjednodušších konstrukcí zesilovače je tranzistor v zapojení se společným emitorem. Pracovní bod volíme v oblasti polovičního otevření tranzistoru. Tím máme možnost docílit max. zesílení zpracovávaného signálu při zachování symetrie. Rezistor R_C v kolektorovém obvodu představuje pracovní impedanci, určuje výstupní odpor zesilovacího stupně a kolektorový proud tranzistoru. Rezistorem R_B je nastaven pracovní bod a zároveň tvoří zápornou napěťovou zpětnou vazbu – stabilizaci pracovního bodu. Rezistor R_E tvoří zápornou proudovou zpětnou vazbu, teplotní stabilizaci pracovního bodu a ovlivňuje vstupní odpor stupně. Je možné ho vynechat. Kondenzátory C_1 a C_2 zesilovač stejnosměrně oddělují od ostatních přístrojů.

Schéma zapojení zkušebního obvodu:



Obrázek č. 69
Zapojení předzesilovače

Mezní katalogové údaje:

Tranzistor:

$U_{CE0} =$

$I_C =$

$P_C =$

Změříme $h_{21E} =$

Zadané údaje:

Napájecí napětí U_{DC}

Zesílení stupně A_U

Vstupní odpor R_{IN}

Výstupní odpor R_{OUT}

Vztahy: (Kirchhoffovy zákony)

$$U_{DC} = U_{RC} + U_{CE} + U_{RE}$$

$$U_{DC} = U_{RC} + U_{RB} + U_{BE} + U_{RE}$$

$$U_{CE} = U_{RB} + U_{BE}$$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{21E}}$$

$$I \approx I_C \approx I_E$$

$$P_C = U_{CE} \cdot I_C$$

Orientační výpočet:

Rezistor R_E lze odvodit z hodnoty požadovaného vstupního odporu a zesilovacího činitele tranzistoru. Vliv rezistoru se projevuje na vstupu signálu v závislosti na činitel h_{21E} .

$$R_E = \frac{R_{IN}}{h_{21E}} \quad (\text{zaokrouhlíme na řadu E 12, nižší hodnoty})$$

Rezistor R_C ovlivňuje výstupní impedanci a v podílu k R_E napěťové zesílení stupně A_U .

$$R_C = A_U \cdot R_E \quad (\text{zaokrouhlíme na řadu E 12, vyšší hodnoty})$$

Pracovní bod tranzistoru:

Napětí U_{CE} volíme do poloviny $U_{DC} \Rightarrow U_{CE} = U_{DC} : 2$
 Protože proud I_C je totožný s proudem I_{RC} , pak přibližně:

$$I_C = \frac{U_{DC} - U_{CE}}{R_C + R_E}$$

Napětí U_{BE} při otevřeném přechodu bývá v rozmezí 0,6 – 0,8 V. Protože proud I_B je přibližně vůči I_C menší v podílu činitele zesílení, pak:

$$I_B = \frac{I_C}{h_{21E}}$$

$$\text{Výpočet } R_B = \frac{U_{CE} - U_{BE}}{I_B} \quad (\text{zaokrouhlíme na nejbližší hodnotu v řadě E 12})$$

Návrh vazebních kondenzátorů C_1, C_2 :

Protože se prakticky jedná o RC člen – horní propust, vycházíme z tzv. mezního kmitočtu. Pro přenos celého nf pásma je vhodné počítat s kmitočtem max. od 20 Hz. Pro dosažení R uvažujeme vstupní a výstupní odpor zesilovače. Hodnoty kapacit zaokrouhlíme na vyšší.

$$\text{Výpočet } C_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_{IN}}$$

$$\text{Výpočet } C_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_{OUT}}$$

Doporučený postup měření:

Stejnoseměrné (statické) parametry: obvod zapojíme podle schéma s navrženými součástkami. Připojíme stabilizovaný zdroj a postupně zvyšujeme napájecí napětí. Současně sledujeme odběr proudu. Při dosažení zvolené velikosti U_{DC} provedeme změření všech napětí a proudů podle schéma.

Obrázek č. 70
 Příklad tabulky měření

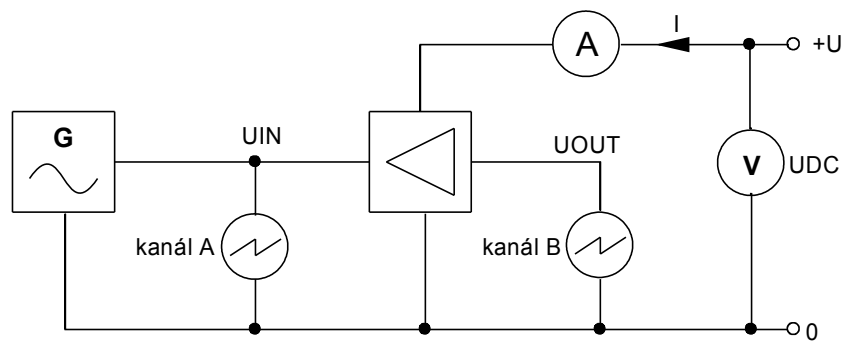
U_{DC}	I	R_C	R_B	R_E	I_C	I_B	I_E	U_{CE}	U_{RC}	U_{RE}	U_{BE}	U_{RB}	P_C

(Počet řádků upravíme podle požadavků)

Proudy, které nelze přímo změřit odvodíme podle Ohmova zákona nepřímou metodou.

Změnou rezistoru R_B podle potřeby změníme pracovní bod tranzistoru. Snažíme se upravit

pracovní bod (U_{CE} , I_C) – aby napětí na kolektoru proti zemi bylo poloviční (ideální stav).



Obrázek č. 71
Zapojení měřicího obvodu

Střídavé (dynamické) parametry: nastavený zesilovač zapojíme do obvodu s nf generátorem a osciloskopem. Nastavíme napětí vstupního signálu U_{IN} a změříme výstupní napětí U_{OUT} .

Změříme max. vybuditelnost stupně, tj. max. velikost vstupního signálu, který je zesilovač schopen zpracovat bez zkreslení. Zkontrolujeme nastavení pracovního bodu. Výstupní signál by měl být symetrický, nezkreslený. Při přebuzení by mělo docházet v obou půlvlnách k limitaci současně.

Vypočítáme napěťové zesílení A_U : (bezrozměrné číslo)

$$A_U = \frac{U_{OUT}}{U_{IN}}$$

nebo zisk: (udávaný v dB)

$$A_U = 20 \cdot \log \frac{U_{OUT}}{U_{IN}}$$

Většinou při takto jednoduchém návrhu napoprvé naměřené hodnoty nesouhlasí se zadáním.

Zesilovač neobsahuje záporné střídavé zpětné vazby pro ovlivnění dynamických vlastností. Oprava výstupních parametrů je možná ve smyslu uvedených vztahů.

10. Příklady měření – vzory úloh

10.1 Jednostupňový nf předzesilovač (v zapojení SE)

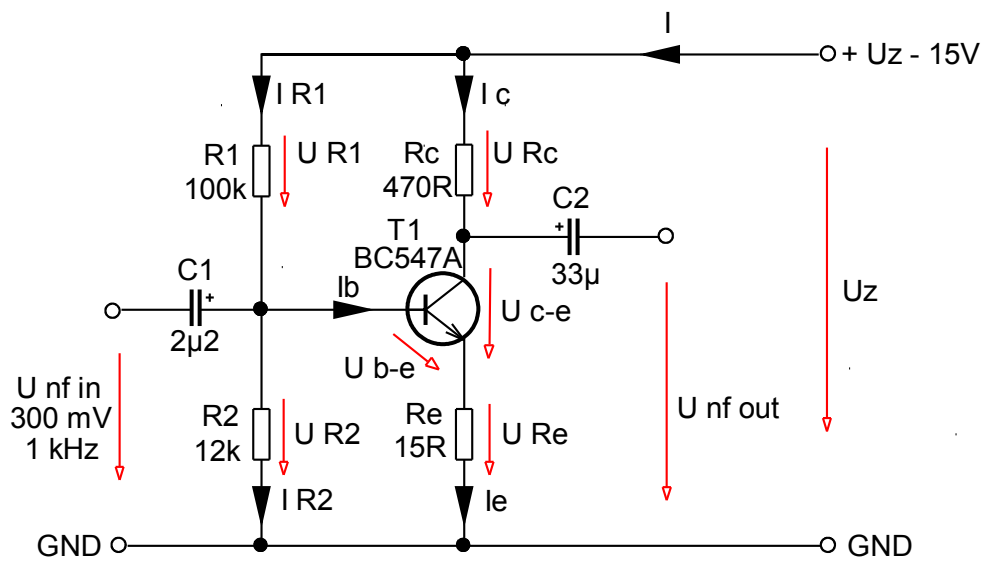
1) Popis zapojení – Aktivním prvkem zesilovače je bipolární tranzistor vodivosti NPN v zapojení se společným emitorem. Toto zapojení se vyznačuje velkým napěťovým zesílením, velkým vstupním a nízkým výstupním odporem. Napětí na kolektoru tranzistoru - v pracovním bodě - je nejvýhodnější nastavit do poloviny napájecího napětí - docílí se maximální symetrie výstupního nf napětí. Vstupní odpor zadáváme řádově v k Ω . Výslednou hodnotu samozřejmě nepříznivě ovlivňuje rezistor R2 – je paralelně ke vstupu. Přesto pro správnou funkci a impedanční přizpůsobení je uvažovaná hodnota nezbytná. Zesílení je přibližně dáno podílem rezistorů $R_C : R_E$. Vstupní signál přichází přes vazební kondenzátor C1 na bázi tranzistoru, je zesílen a odebrán z kolektoru přes vazební kondenzátor C2. Proti vstupu je fázově posunutý o 180°. Kondenzátory C1 a C2 odfiltrovávají stejnosměrnou složku od střídavé složky signálu. Rezistory R1 a R2, které jsou zapojeny do děliče, nastavují pracovní bod tranzistoru. Rezistor R_C převádí změny proudu I_C na změny napětí U_{RC} (pracovní impedance). Rezistor R_E zajišťuje tepelnou stabilizaci pracovního bodu tranzistoru – vyrovnává změny způsobené zahříváním tranzistoru.

2) Zadání - Podle schéma zapojení a zadaných hodnot součástek ze simulačního programu sestavte obvod předzesilovače. Nastavte napájecí a budící napětí podle zadaných hodnot a proveďte odečet z přístrojů. Sejměte průběhy z obrazovky. Všechny hodnoty zapište do tabulky. Porovnejte tyto výsledky se simulačním programem. Schéma zapojení, sejmuté displeje ampérmetrů a všechny naměřené hodnoty součástek vložte do protokolu a pošlete v souboru zpět na dílnu DSIM.

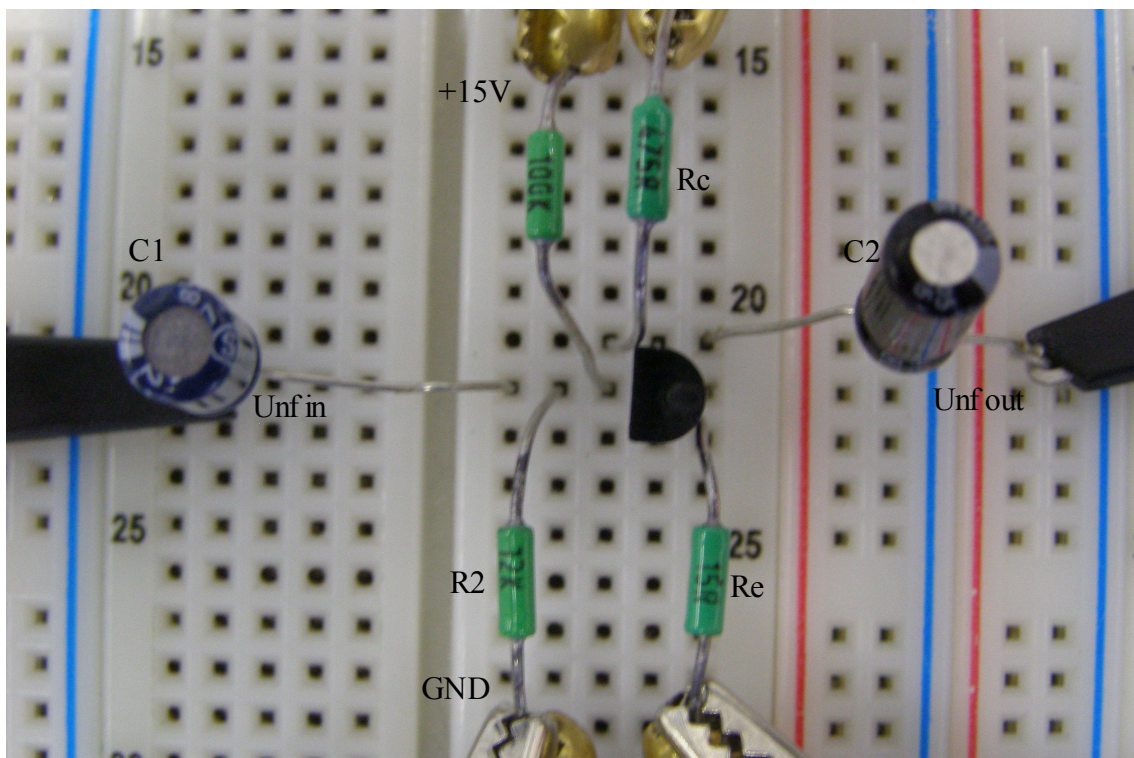
Struktura protokolu

- 1) popis zapojení obvodu
- 2) zadání protokolu
- 3) schéma zapojení obvodu
- 4) sestava obvodu na nepájivém poli
- 5) schéma zkušebního obvodu
- 6) průběhy na obrazovkách osciloskopu a multimetrů
- 7) tabulka naměřených hodnot
- 8) porovnání naměřených a vypočtených hodnot
- 9) závěr

3) Schéma zapojení obvodu -

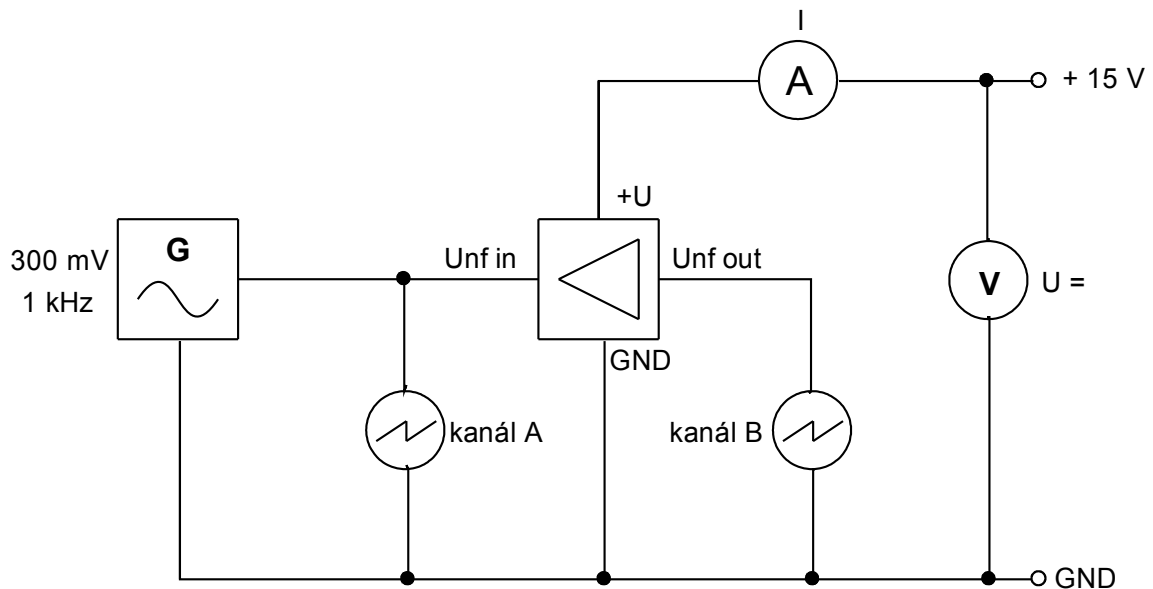


4) Sestava obvodu na nepájivém poli -



Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky

5) Schéma zkušebního obvodu -



6) Průběhy na obrazkách osciloskopu a multimetrů -

- napájecí napětí



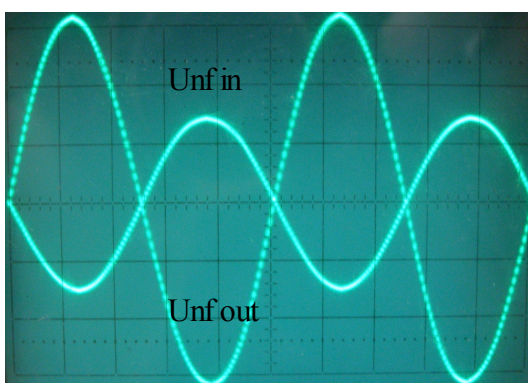
a

odběr proudu

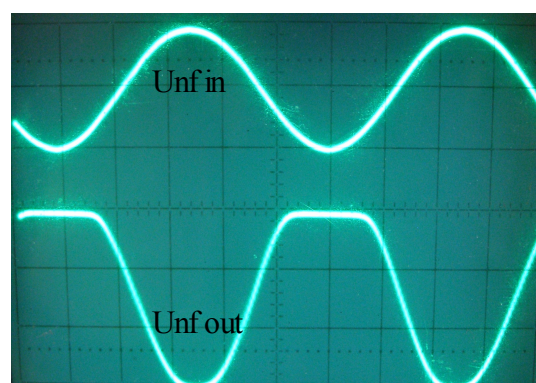


- průběh obou kanálů – porovnání vstupního a výstupního signálu

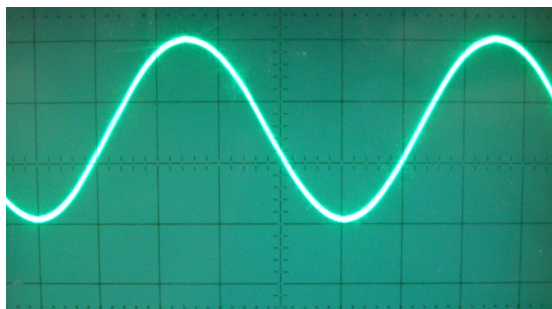
symetrický průběh



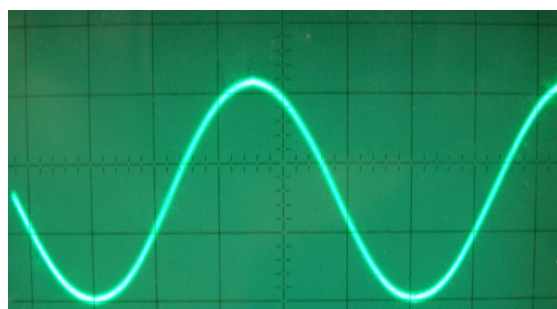
přebuzení vstupu - limitace



kanál A – 100 mV/díl, 0,2 ms/díl



kanál B – 2 V/díl, 0,2 ms/díl



7) Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot -

Přímé měření		Nepřímé měření - výpočty	
$+U_Z = 14,98 \text{ V}$	$I = 14,38 \text{ mA}$	$I_C = 14 \text{ mA}$	$I_{R1} = 0,14 \text{ mA}$
$U_{C-E} = 8,19 \text{ V}$	$U_{B-E} = 0,673 \text{ V}$	$I_E = 14,87 \text{ mA}$	$I_{R2} = 0,075 \text{ mA}$
$U_{Rc} = 6,58 \text{ V}$	$U_{Re} = 0,223 \text{ V}$		
$U_{R1} = 14,12 \text{ V}$	$U_{R2} = 0,899 \text{ V}$		
$h_{21E} = 220$			
$U_{NF IN} = 300 \text{ mV}$	$f = 1 \text{ kHz}$		
$U_{NF OUT} = 6,4 \text{ V}$	$A_U = 21,33$	$A_U = 26,6 \text{ dB}$	

Ověřovací vztahy:

$$+U_Z = U_{R1} + U_{R2} = 14,12 + 0,899 = 15,02 \text{ V}$$

$$+U_Z = U_{Rc} + U_{C-E} + U_{Re} = 6,58 + 8,19 + 0,223 = 15,7 \text{ V}$$

$$+U_Z = U_{R1} + U_{B-E} + U_{Re} = 14,12 + 0,673 + 0,223 = 15,02 \text{ V}$$

$$U_{R2} = U_{B-E} + U_{Re} = 0,673 + 0,223 = 0,896 \text{ V}$$

$$I = I_{R1} + I_C = 14 + 0,14 = 14,14 \text{ mA}$$

$$I = I_{R2} + I_E = 0,075 + 14,87 = 14,95 \text{ mA}$$

8) Porovnání naměřených a vypočtených hodnot –

Stejnoseměrné hodnoty – odpovídají zadání.

Střídavé hodnoty – napětěvé zesílení odpovídá předpokladu. Vlivem hodnot odporu rezistorů řady E12 nelze přesně nastavit pracovní bod tranzistoru a při přebuzení vstupu dochází k nesymetrii na výstupu – limitaci jedné půlvlny. Při správně nastaveném pracovním bodu by i přebuzení bylo symetrické. Ověřovací výpočty dokazují funkčnost konstrukce.

9) Závěr – Při realizaci se nevyskytly žádné nedostatky, obvod pracoval podle zadaných parametrů. Výstupní napětí je posunutě o 180° a při nepřebuzeném vstupu je nezkrácené. Oproti simulačnímu programu je zesílení nižší. Odchytky naměřených hodnot oproti předpokládaným jsou důsledkem tolerance použitých rezistorů, odlišnému činiteli h_{21E} tranzistoru a nepřesnosti měřících přístrojů.

10.2 Astabilní klopný obvod (multivibrátor, ako)

1) Funkce - Astabilní klopný obvod je obvodem, který samovolně a periodicky přechází mezi dvěma stavy, tj. mezi prvním stavem, kdy je tranzistor T1 rozepnut a T2 sepnut a mezi druhým stavem, kdy je tomu naopak. Předpokladem rozběhu astabilního klopného obvodu je, byť nepatrná, asymetrie tohoto obvodu. V případě, že by obvod byl naprosto symetrický, nemůže se rozkmitat. Všechny obvody, byť elektricky nesymetrické, jsou v tomto zapojení považovány za obvodově (schematicky) symetrické.

Návrh AKO vychází z potřeby odebrat z obvodu signál obdélníkového průběhu a to průběhu kolektorového napětí U_{CE1} nebo U_{CE2} . Generované napětí měříme na kolektorech obou tranzistorů. Pro pomalejší kmitočty, cca do 10 Hz, lze zapojit do obvodu kolektoru zdroj světla – LED diodu, Pro vyšší kmitočty musíme použít osciloskop.

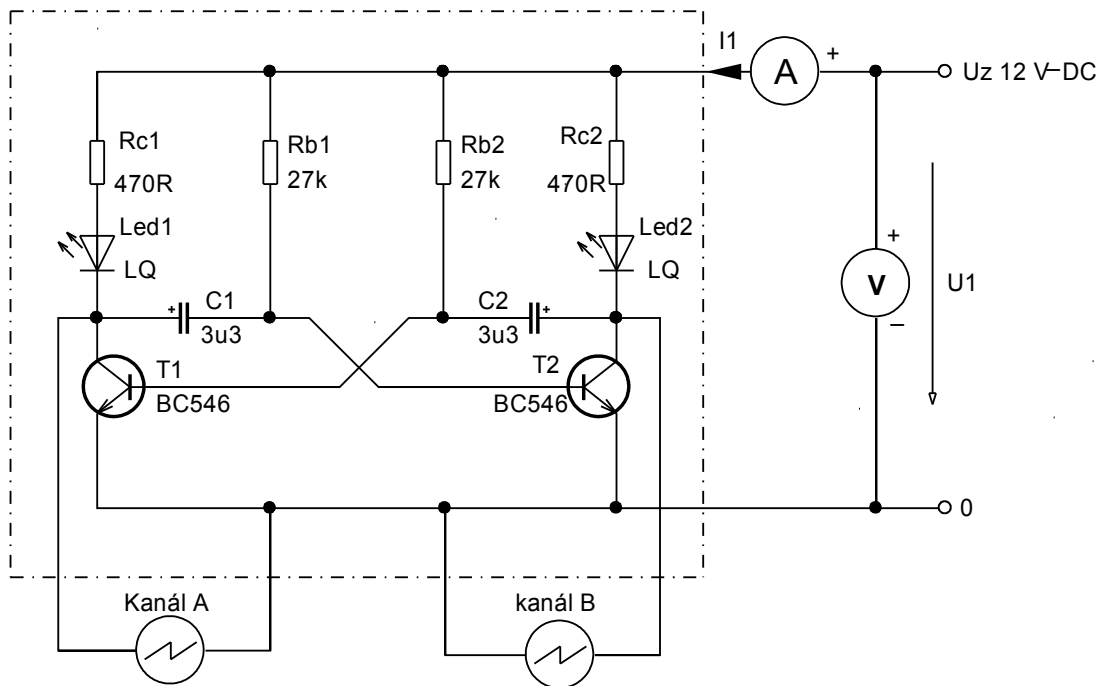
2) Zadání – Podle schéma zapojení a zadaných hodnot součástek sestavte oba typy klopných obvodů, pro kmitočty 10 Hz a 5 kHz, odzkoušené v simulačním programu. Proměřte všechny elektrické hodnoty a zapište do tabulek. Porovnejte tyto hodnoty se simulačním programem.

Struktura protokolu

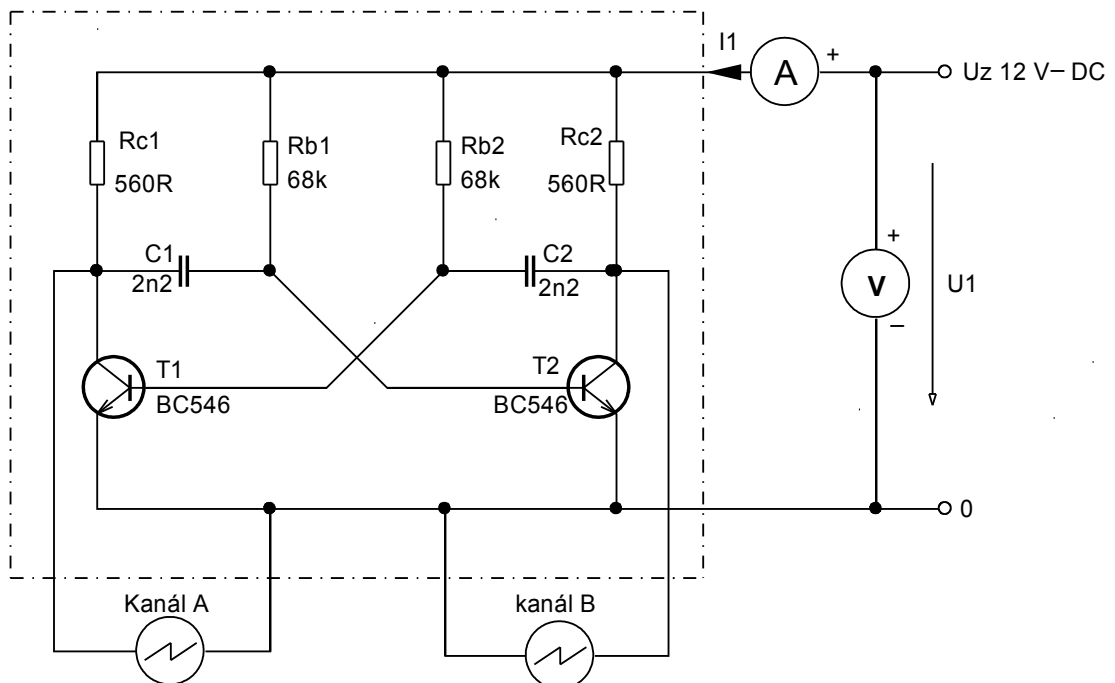
- 1) funkce obvodu
- 2) zadání protokolu
- 3) schéma zapojení obvodů
- 4) sestavy obvodů na nepájivých polích
- 5) průběhy na obrazovkách osciloskopů
- 6) tabulky naměřených hodnot
- 7) porovnání naměřených hodnot
- 8) závěr

3) Schéma zapojení obvodů -

- pro $f = 10 \text{ Hz}$

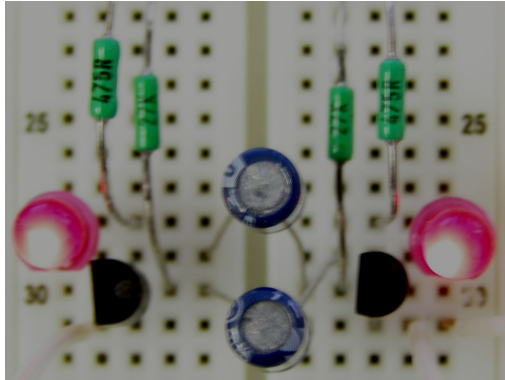


- pro $f = 5 \text{ kHz}$

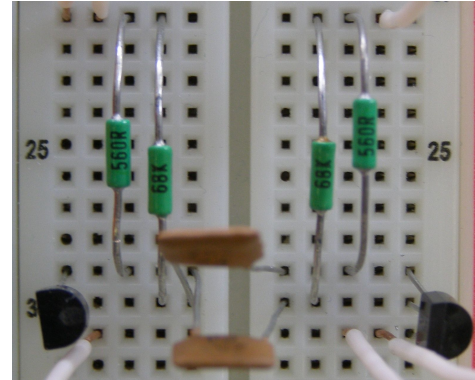


4) Sestavy obvodů na nepájivých polích -

- pro $f = 10\text{ Hz}$



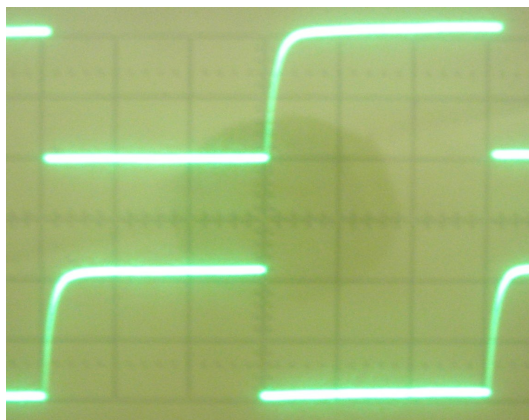
- pro $f = 5\text{ kHz}$



5) Průběhy na obrazovkách osciloskopů -

- pro $f = 10\text{ Hz}$

5 V/div, 20 ms/div

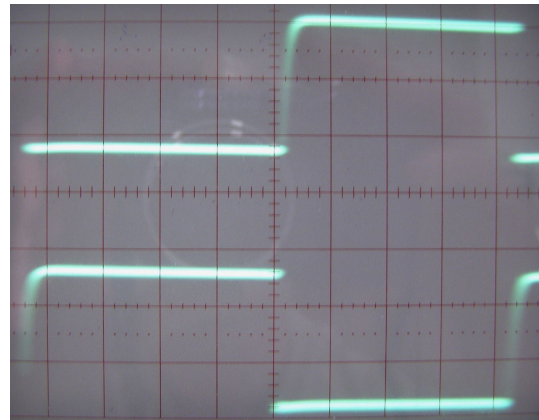


kanál A

kanál B

- pro $f = 5\text{ kHz}$

5 V/div, 20 μs /div



Na sejmutých obrazovkách jsou vidět průběhy napětí na kolektorech obou tranzistorů. Vždy je jeden zavřený a druhý otevřený.

6) Tabulky naměřených hodnot -

f = 10 Hz			
U_z	I	t	f
12,01 V	21,7 mA	120 ms	8,33 Hz
f = 5 kHz			
U_z	I	t	f
12,02 V	23,4 mA	180 μ s	5 555 Hz

7) Porovnání naměřených hodnot -

f = 10 Hz: Naměřené hodnoty napětí a proudu odpovídají zadání. Doba periody je delší, kmitočet nižší. Odchytky jsou pravděpodobně způsobeny tolerancí součástek a možnou chybou rozsahu časové základny staršího osciloskopu. Symetrie je zachována – oba tranzistory jsou otevřeny po stejnou dobu.

f = 5 kHz: Naměřené hodnoty napětí a proudu odpovídají zadání. Doba periody je kratší, kmitočet vyšší, vlivem nepřesnosti součástek. Průběh je téměř pravoúhlý. Symetrie zachována zcela není, jedna půlperiody je kratší - projevuje se velká výrobní tolerance hodnot kapacity starších keramických kondenzátorů.

8) Závěr -

Astabilní klopný obvod pracoval dle schematického návrhu zapojení a hodnot součástek použitých v simulaci z dílny DSIM.

10.3 Předzesilovač s tranzistorem FET

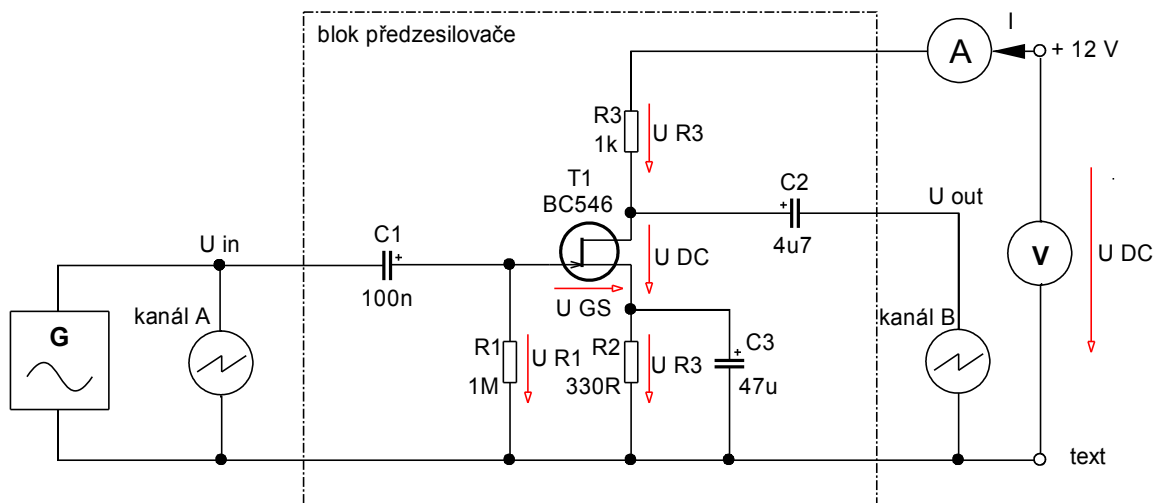
1) Popis zapojení - Aktivní součástí tohoto zesilovače je tranzistor řízený polem – J-FET, s kanálem N. Od bipolárního se liší vnitřní konstrukcí. V tomto případě se jedná o kanál vodivosti N mezi elektrodami drain D (kolektor) – source S (emitor), který je v principu „přiškrcovaný“ napětím na elektrodě gate G (báze) – S (source). Z toho vyplývá, že do G prakticky neteče žádný proud, v praxi se zanedbává. Na rozdíl od bipolárního tranzistoru, kde proud kolektoru je řízen proudem tekoucím do báze. Pro úplnost je třeba dodat, že voltampérové charakteristiky tranzistorů FET se ze všech polovodičových součástek nejvíce podobají charakteristikám elektronek. Návrh zesilovače s tranzistorem FET není tak jednoduchý jako konstrukce zesilovače s bipolárním tranzistorem. Vstupní odpor ovlivňuje hodnota R1. Pro správné nastavení pracovního bodu je důležitý rezistor R2, pro větší napěťové zesílení přemostěný kondenzátorem C3. Úbytek napětí na R3 by měl být přibližně stejný jako napětí na tranzistoru. Kondenzátory C1, C2 jsou vazební, pro stejnosměrné oddělení zesilovače.

2) Zadání - Podle schéma zapojení a zadaných hodnot součástek ze simulačního programu sestavte obvod předzesilovače. Nastavte napájecí a budící napětí podle zadaných hodnot a proveďte odečet z přístrojů. Sejměte průběhy z obrazovky. Všechny hodnoty запиšte do tabulky. Porovnejte tyto výsledky se simulačním programem. Schéma zapojení, sejmuté displeje voltmetru, ampérmetru, osciloskopu a všechny naměřené a odvozené hodnoty součástek vložte do protokolu a pošlete v souboru zpět na dílnu DSIM.

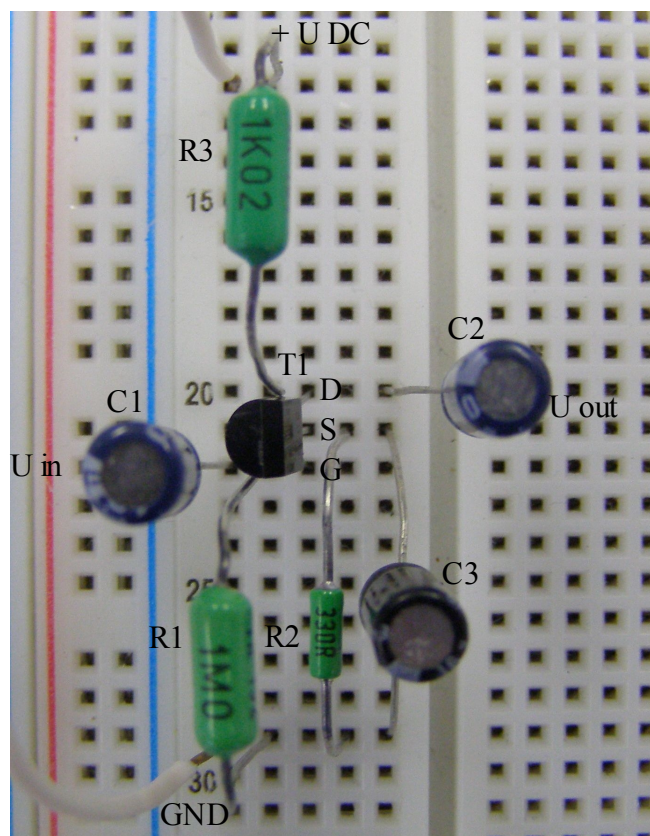
Struktura protokolu

- 1) popis zapojení obvodu
- 2) zadání protokolu
- 3) schéma zapojení obvodu
- 4) sestava obvodu na nepájivém poli
- 5) průběhy na obrazovkách osciloskopu a multimetru
- 6) tabulky naměřených hodnot
- 7) porovnání naměřených a vypočtených hodnot
- 8) závěr

3) Schéma zapojení obvodu -



4) Sestava obvodu na nepájivém poli -



Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky

5) Průběhy na obrazovkách osciloskopu a multimetrů -

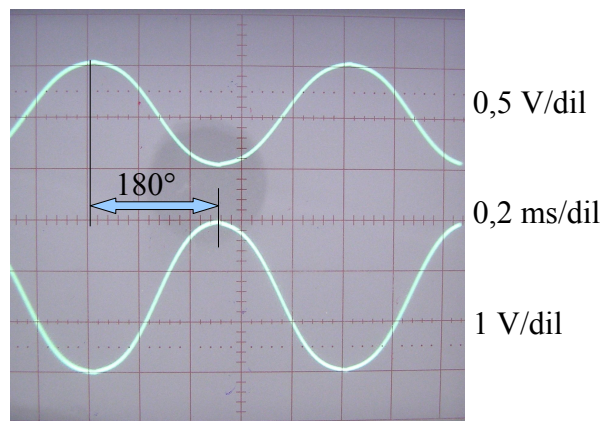
napájecí napětí U_{DC}



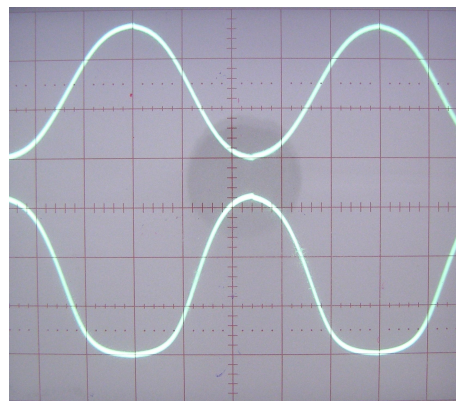
odebíraný proud I



průběh nf napětí



přebuzení - limitace



6) Tabulky naměřených a odvozených hodnot -

Stejnoseměrné parametry -

U_{DC}	I	U_{R1}	U_{R2}	U_{R3}	U_{DS}	U_{GS}
11,99 V	5,56 mA	0	1,81 V	5,55 V	4,57 V	- 1,72 V
I_{R2}	I_{R3}					
5,5 mA	5,55 mA					

$$I_{R2} = U_{R2} : R2 = 1,81 : 330 = 5,5 \text{ mA}$$

$$I_{R3} = U_{R3} : R3 = 5,55 : 1000 = 5,55 \text{ mA}$$

Střídavé parametry -

f	T	U_{IN}	U_{OUT}	A_U	A_U
1 kHz	1 ms	1 V	3 V	3	9,54 dB

$$A_U = U_{OUT} : U_{IN} = 3 : 1 = 3 - \text{výstupní signál je 3x zesílený}$$

$$A_U = 20 \cdot \log (U_{OUT} : U_{IN}) = 20 \cdot \log (3 : 1) = 9,54 \text{ dB} - \text{zisk zesilovače}$$

7) Porovnání naměřených a vypočtených hodnot –

Stejnoseměrné hodnoty – odpovídají zadání.

Napájecí napětí a změřené úbytky na elektrodách tranzistoru a rezistorech:

$U_{DC} = U_{R2} + U_{DS} + U_{R3} = 1,81 + 4,57 + 5,55 = 11,93 \text{ V}$ – s přihlédnutím k toleranci hodnot rezistorů odpovídá hodnotě U_{DC} . Naměřený proud I je přibližně totožný s vypočtenými proudy rezistory I_{R2} a I_{R3} . Napětí $U_{GS} = - 1,72 \text{ V}$ odpovídá pracovnímu bodu cca v 1/3 charakteristiky – doporučeno výrobcem. Napětí na D (drain) tranzistoru proti zemi ($U_{R2} + U_{DS}$) je vyšší než optimální hodnota – $\frac{1}{2} U_{DC}$ (6 V). Tomu odpovídá nižší proud I_{DS} oproti předpokládané hodnotě 6 mA. Maximální výstupní nf napětí tedy nemůže být ideálně symetrické.

Střídavé hodnoty – napěťové zesílení odpovídá předpokladu. Vlivem hodnot odporu rezistorů řady E12 nelze přesně nastavit pracovní bod tranzistoru a při přebuzení vstupu dochází k nesymetrii na výstupu – limitaci jedné půlvlny.

8) Závěr – Při realizaci se nevyskytly žádné nedostatky, zesilovač pracoval podle zadaných parametrů. Výstupní napětí je posunutě o 180° a při nepřebuzení vstupu je nezkrácené. Oproti simulačnímu programu je zesílení vyšší. Odchytky naměřených hodnot oproti předpokládaným jsou důsledkem tolerance použitých rezistorů a nepřesnosti měřicích přístrojů.

10.4 Galvanické (izolované) oddělení mezi obvody - optočlen

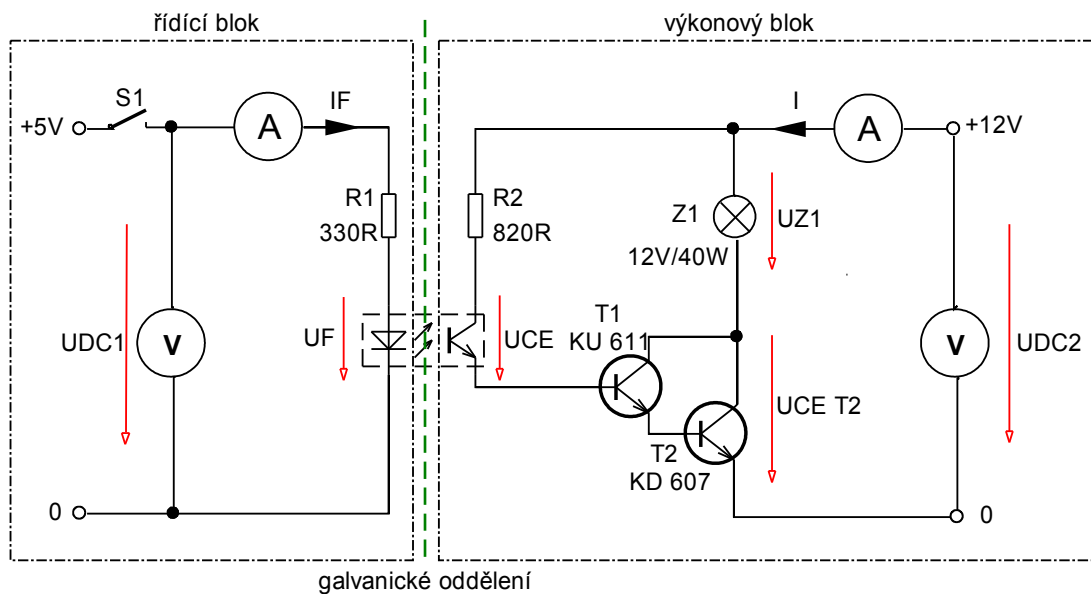
1) Popis zapojení – v této konstrukci se jedná o způsob oddělení dvou elektrických obvodů. Např. řídicího (spínacího) a výkonového. Většinou je požadavek nevodivě – izolovaně oddělit řídicí obvod malého napětí a výkonový obvod, který pak může pracovat i v sítích nn. Vše závisí na druhu použité součástky – optočlenu. Vyrábí se v několika modifikacích, v pouzdru je obsažena světelná dioda (LED) a fotopolovodič (dioda - tranzistor, dioda - triak, dioda – tyristor). Izolační napětí bývá v řádech kV, což je naprosto dostačující a zcela bezpečné. Vstupní strana tedy obsahuje LED diodu, výstupní stranu obvodu ovládá např. fototranzistor. Není-li na vstupu napětí, tj. neprotéká-li diodou proud, nesvítí a např. na bázi fototranzistoru nedopadá světlo a tudíž zůstane zavřený. Když přivedeme na vstup optočlenu malé napětí potřebné na rozsvícení LED diody, začne se fototranzistor otevírat podle proudu procházejícího diodou - čím větší proud, tím více světla a tím se i více otevře tranzistor . Otevřený přechod tranzistoru mezi kolektorem a emitorem způsobí uzavření elektrického obvodu na výstupu (spotřebič je pod napětím). V praxi se může stát, že ovládaný proud je mnohonásobně větší a zesilovací činitele jednotlivých výkonových tranzistorů nestačí. Pak se nabízí spínání spotřebiče např. Darlingtonovo dvojicí tranzistorů. Použití optočlenů je časté tam, kde potřebujeme mít úplně oddělená zařízení - včetně zemních (nulových) propojení, (například ve zdravotnictví, spínané zdroje, spínání výkonových obvodů u procesorů...).

2) Zadání - podle schéma zapojení a zadaných hodnot součástek ze simulačního programu sestavte obvod spínání obvodu žárovky pomocí optočlenu. Nastavte napájecí řídicí a pracovní napětí podle zadaných hodnot a proveďte odečet z přístrojů. Jestliže řízení žárovky nebude možné, nahraďte spínací tranzistor Darlingtonovo dvojicí. Sejměte údaje multimetrů. Všechny hodnoty запиšte do tabulky. Porovnejte tyto výsledky se simulačním programem. Schéma zapojení, sejmuté displeje voltmetrů, ampérmetrů a všechny naměřené a odvozené hodnoty součástek vložte do protokolu a pošlete v souboru zpět na dílnu DSIM.

Struktura protokolu

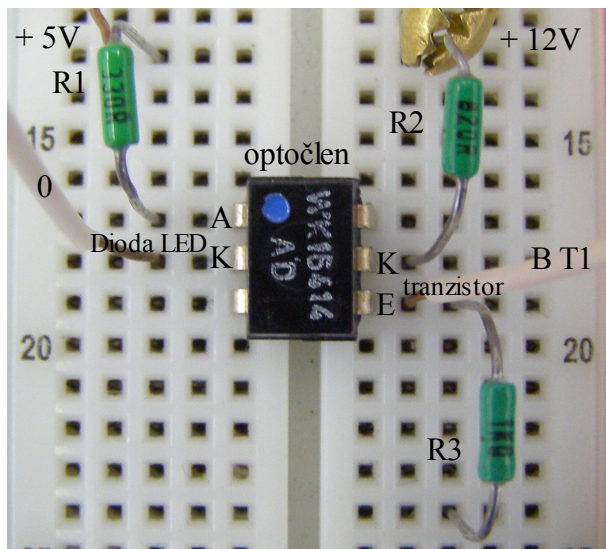
- 1) popis zapojení obvodu
- 2) zadání protokolu
- 3) schéma zapojení obvodu
- 4) sestava obvodu na nepájivém poli
- 5) hodnoty na měřicích přístrojích
- 6) tabulky naměřených hodnot
- 7) porovnání naměřených a odvozených hodnot
- 8) závěr

3) Schéma zapojení obvodu -

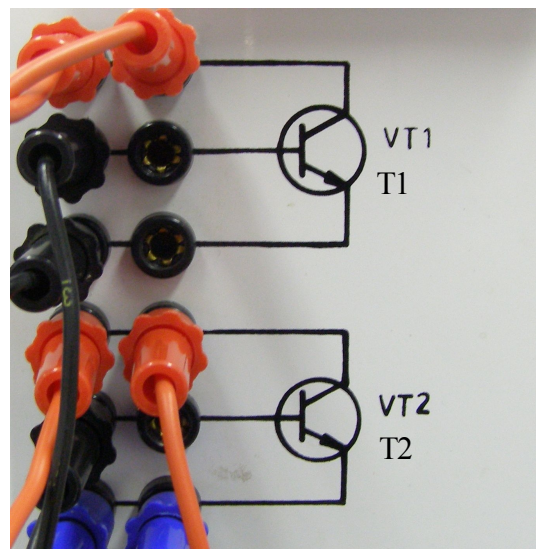


Pro spínání použité autožárovky bylo nutné použít Darlingtonovu dvojici tranzistorů. Pro větší proudové zesílení.

4) Sestava obvodu na nepájivém poli -



Darlingtonovo zapojení tranzistorů



Rezistor R3 (simulační program) pro reálné měření není nutné zapojit. Dvojici tranzistorů v Darlingtonovo zapojení tvoří panel v rozvaděči ELKO 1.

5) hodnoty na měřících přístrojích -

Stav – vypnuto
řídící obvod



zapnuto
silový obvod



Stav – zapnuto
řídící obvod



zapnuto
silový obvod



6) Tabulky naměřených hodnot -

Řídící obvod - vypnuto			Silový obvod - zapnuto				
U_{DC1}	I_F	U_F	U_{DC2}	I	U_{CE}	U_{Z1}	U_{R2}
0 V	0 mA	0 V	11,99 V	0 A	11,3 V	0 V	0 V
U_{R1}			$U_{BE T1}$	$U_{BE T2}$	$U_{CE T1}$	$U_{CE T2}$	
0 V			0,46 V	0,38 V	11,68 V	12,05 V	

Řídící obvod - zapnuto			Silový obvod - zapnuto				
U_{DC1}	I_F	U_F	U_{DC2}	I	U_{CE}	U_{Z1}	U_{R2}
4,97 V	11,42 mA	1,14 V	12,04 V	3,15 A	0,4 V	10 V	9,1 V
U_{R1}			$U_{BE T1}$	$U_{BE T2}$	$U_{CE T1}$	$U_{CE T2}$	
3,73 V			0,66 V	0,78 V	0,09 V	0,62 V	

7) Porovnání naměřených a odvozených hodnot – při stavu „vypnuto“ je řídicí obvod odpojený od napájecího zdroje, optočlenem – diodou neteče žádný proud. Silový obvod je sice pod napětím, ale tranzistor v optočlenu je zahrazený a spínací výkonové tranzistory jsou zavřené. Žárovka je zhasnutá. Jakmile zapneme řídicí obvod na napětí, optočlenem – diodou začne protékat proud, LED se rozsvítí a otevře fototranzistor. Tím přivedeme napětí na bázi T1 v Darlingtonovo dvojici a výkonový tranzistor T2 sepne silový obvod. Z obou tabulek je patrné, že součty úbytků napětí na součástkách přibližně odpovídají na základě Kirchhoffova zákona naměřeným hodnotám. Nepřesnosti jsou způsobeny tolerancí hodnot součástek a rozsahů měřících přístrojů.

Kontrola: stav – řídicí vypnuto, silový zapnuto

$$U_{DC2} = U_{Z1} + U_{CE T2} = 0 + 12,05 = 12,05 \text{ V}$$

$$U_{DC2} = U_{R2} + U_{CE} + U_{BE T1} + U_{BE T2} = 0 + 11,3 + 0,46 + 0,38 = 12,14 \text{ V}$$

stav – řídicí zapnuto, silový zapnuto

$$U_{DC1} = U_F + U_{R1} = 1,14 + 3,73 = 4,87 \text{ V}$$

$$U_{DC2} = U_{Z1} + U_{CE T2} = 10 + 0,62 = 10,62 \text{ V}$$

$$U_{DC2} = U_{R2} + U_{CE} + U_{BE T1} + U_{BE T2} = 9,1 + 0,4 + 0,66 + 0,78 = 10,94 \text{ V}$$

$$I_F = U_{R1} : R1 = 3,73 : 330 = 11,3 \text{ mA}$$

8) Závěr – Měřený obvod pracoval správně podle uvedeného zadání. Náhrada spínacího tranzistoru T1 Darlingtonovo dvojicí byla vynucena větším proudem použité žárovky.

10.5 Operační zesilovač jako aktivní filtr – dolní propust

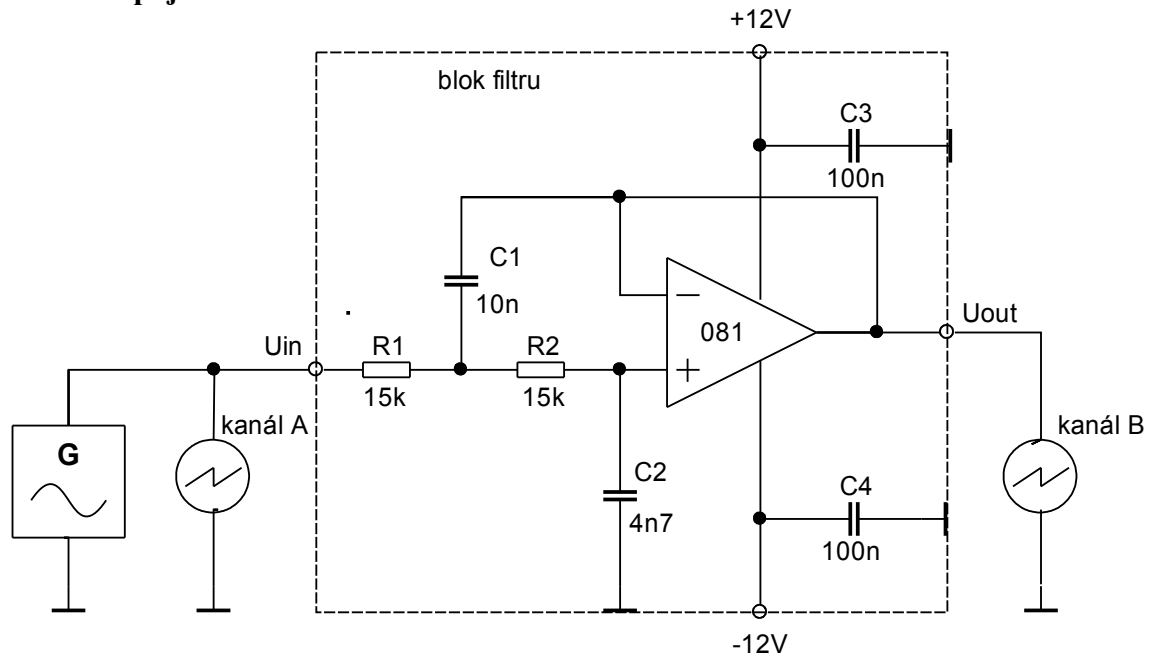
1) Popis zapojení - Aktivní filtry jsou určeny k potlačení nebo naopak k zvýraznění určité části frekvenčního spektra signálu. Aktivní filtry jsou tvořeny zesilovači s odporově kapacitní zpětnovazební sítí. Filtry s OZ jsou obvykle jednodušěji realizovatelné než filtry pasivní. Jejich návrh je navíc možné provést tak, aby nebylo nutné použít cívek. Butterworthovy filtry mají na mezním kmitočtu f_c pokles -3 dB. Od tohoto kmitočtu se zmenšuje přenos tím rychleji, čím je řád filtru vyšší. V našem zapojení je použita dolní propust 2. řádu, s předpokládanou strmostí cca -40 dB/dekádu. Jde o zapojení neinvertujícího zesilovače jako sledovače signálu se ziskem $A_U = 1$. Má největší vstupní odpor ze všech možných zapojení. Signál se přivádí na $+$ vstup (neinvertující) OZ. Strmost (přenos) lze udávat v dB/oktávu nebo v dB/dekádu a má vždy zápornou hodnotu.

2) Zadání - Podle schéma zapojení a zadaných hodnot součástek ze simulačního programu sestavte obvod aktivní dolní propusti s operačním zesilovačem. Při změně hodnot součástek přepočítejte f_c . Nastavte postupně budící napětí a kmitočty v daných hodnotách v pásmu slyšitelného spektra a provádějte odečty z přístrojů. Sejměte průběhy vstupních a výstupních napětí z obrazovky při 5 – 6 hodnotách kmitočtu, pokud možno zachytit oblast mezního kmitočtu. Porovnejte fázový posun. Naměřené veličiny zapište do tabulky. V tabulkovém editoru vytvořte graf. Všechny údaje vložte do protokolu a pošlete v souboru zpět na dílnu DSIM. Při vyhodnocení je nutné brát v úvahu toleranci hodnot použitých součástek a chybu použitých měřících přístrojů, hlavně časové základny analogového osciloskopu.

Struktura protokolu

- 1) popis zapojení obvodu
- 2) zadání protokolu
- 3) schéma zapojení obvodu
- 4) sestava obvodu na nepájivém poli
- 5) průběhy na obrazovce osciloskopu
- 6) tabulka naměřených hodnot
- 7) graf
- 8) porovnání naměřených hodnot
- 9) závěr

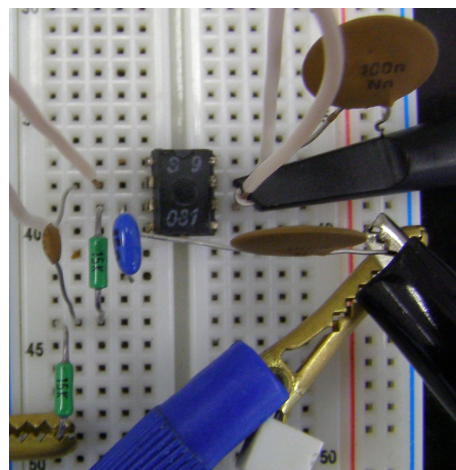
3) Schéma zapojení obvodu -



Předpokládaný mezní kmitočet pro dolní propust po změně kondenzátoru - f_c -

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{R1 \cdot R2 \cdot C1 \cdot C2}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{15000 \cdot 15000 \cdot 0,0000000047 \cdot 0,000000010}} = 1547,7 \text{ Hz}$$

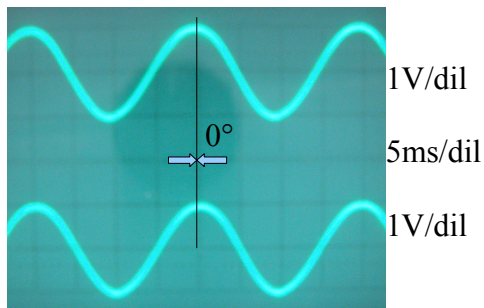
4) Sestava obvodu na nepájivém poli -



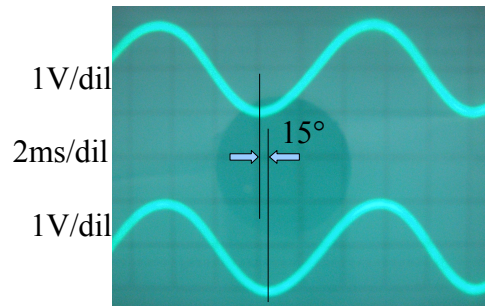
Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky

5) Průběhy na obrazovce osciloskopu -

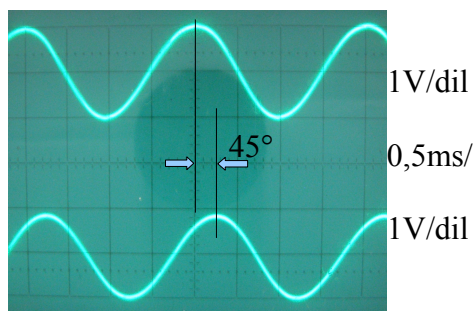
$f = 50 \text{ Hz}$, $U_{\text{IN}} = 2 \text{ V}$, $U_{\text{OUT}} = 2 \text{ V}$



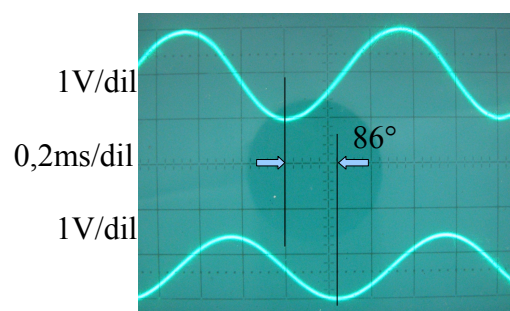
$f = 100 \text{ Hz}$, $U_{\text{IN}} = 2 \text{ V}$, $U_{\text{OUT}} = 2 \text{ V}$



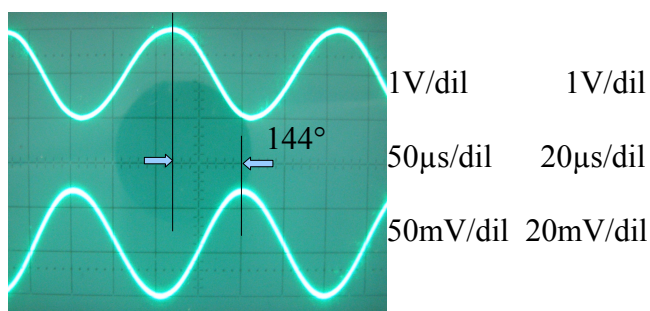
$f = 500 \text{ Hz}$, $U_{\text{IN}} = 2 \text{ V}$, $U_{\text{OUT}} = 1,9 \text{ V}$



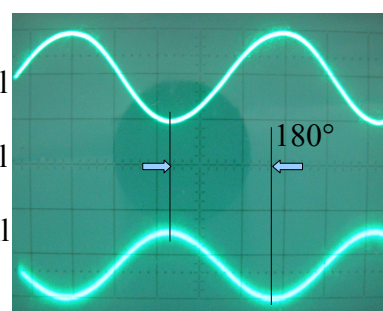
$f = 1 \text{ kHz}$, $U_{\text{IN}} = 2 \text{ V}$, $U_{\text{OUT}} = 1,5 \text{ V}$



$f = 5 \text{ kHz}$, $U_{\text{IN}} = 2 \text{ V}$, $U_{\text{OUT}} = 120 \text{ mV}$



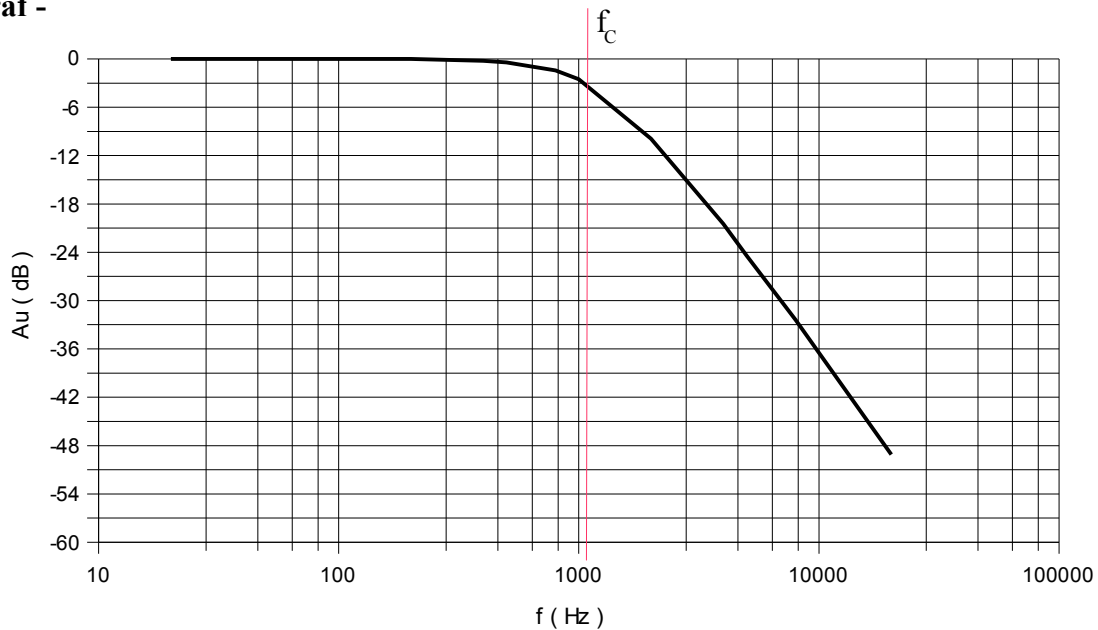
$f = 10 \text{ kHz}$, $U_{\text{IN}} = 2 \text{ V}$, $U_{\text{OUT}} = 30 \text{ mV}$



6) Tabulka naměřených hodnot -

f(Hz)	U _{in} (V)	U _{out} (V)	A _u (dB)	f(kHz)	U _{in} (V)	U _{out} (V)	A _u (dB)
20	2	2	0	1	2	1,5	-2,5
40	2	2	0	2	2	0,64	-9,9
50	2	2	0	4	2	0,19	-20,45
80	2	2	0	5	2	0,12	-24,44
100	2	2	0	8	2	0,048	-32,4
200	2	2	0	10	2	0,03	-36,48
400	2	1,95	-0,22	20	2	0,007	-49,12
500	2	1,9	-0,45				
800	2	1,7	-1,41				

7) Graf -



8) Porovnání naměřených hodnot – mezní kmitočet propusti se určuje při útlumu (poklesu) $A_U = -3$ dB, což odpovídá cca $0,7 U_{IN}$. Oproti simulačnímu programu je patrné, že hodnota f_C neodpovídá přesně zadání. Odchylka je způsobená poměrně velkou tolerancí hodnot použitých rezistorů a kondenzátorů. Téměř do dosažení f_C je přenos cca roven 1 \Rightarrow 0 dB. Při dalším zvyšování kmitočtu je strmost cca - 33 dB/dekádu. Úměrně s kmitočtem narůstal fázový posun.

9) Závěr – Při realizaci se nevyklyly žádné nedostatky a závady. Nebylo nutné měnit schéma obvodu.

Literatura:

Vítejček Emanuel, Hos Vladimír: Elektrické měření pro elektrotechnické obory
SNTL 1974

ing. Čermák Jindřich, Csc.: Kurs polovodičové techniky
SNTL 1976

Svoboda Ladislav, ing. Štefan Miloslav: Reprodukory a reproduktorové soustavy
SNTL 1983

doc. ing. Vackář Jiří: Amatérská měřicí technika
SNTL 1990

ing. Láníček Robert: Elektronika i za školou
Konstrukční elektronika 1996

ing. Belza Jaroslav: Zapojení s operačními zesilovači
Konstrukční elektronika 1996

ing. Hájek Jan: Časovač 555
BEN 1996

ing. Vlček Jiří: Měření elektrických veličin
Vlček 1998

Malina Václav: Poznáváme elektroniku I. - VII.
Kopp 1998 – 2002

Dietmeier Ulrich: Vzorce pro elektroniku
BEN 1999

Elektrotechnická měření
BEN 2002

Kotisa Zdeněk: Nf zesilovače
BEN 2003