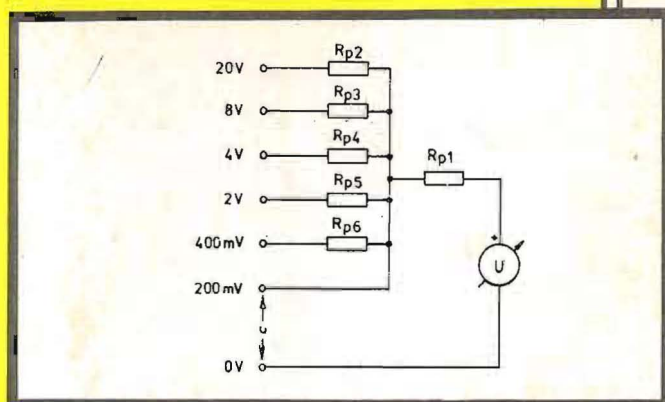


STAVEBNÍ NÁVODY PRO RADIOTECHNIKU

JAN BOCEK

5 Základní měřicí přístroje



ÚV SVAZU PRO SPOLUPRÁCI S ARMÁDOU

STAVEBNÍ NÁVODY PRO RADIOTECHNIKU

JAN BOCEK

5 Základní měřicí přístroje

ÚV SVAZU PRO SPOLUPRÁCI S ARMÁDOU

OBSAH

1.	Měření napětí a proudu	7
1.1.	Záznamy o měření	7
1.2.	Měření napětí a proudu	8
1.3.	Měření napětí	9
1.4.	Měření proudu	12
1.5.	Přepínání rozsahů ampérmetru	14
1.6.	Volba vhodných rozsahů	14
1.7.	Konstrukce univerzálního přístroje	16
1.8.	Měření střídavých napětí	18
2.	Konstrukce voltmetru s vysokým vstupním odporem	23
3.	Konstrukce milivoltmetru s operačním zesilovačem	30
4.	Jednoduchý měřič napětí	34
5.	Regulátor napětí s proudovým omezením	36
6.	Měření tranzistorů	37
6.1.	Jednoduchá zkoušečka	39
6.2.	Akustická zkoušečka tranzistorů	41
6.3.	Zkoušečka s optickou a akustickou signalizací	43
6.4.	Měření zesilovacího činitele	48
6.5.	Analogový měřič tranzistorů	51

1. MĚŘENÍ NAPĚTÍ A PROUDU

Při konstrukci a oživování radiotechnických přístrojů se neobejdeme bez měření. Měřením ověřujeme kvalitu a hodnoty používaných součástek, průběhy napětí a proudů v obvodech, funkci jednotlivých dílů i celých přístrojů. Uvádění pracně postavených přístrojů do provozu bez možnosti měřit a nastavovat potřebné hodnoty je většinou pouze ztrátou času a mnohdy nás odradí od další práce. Pro úspěšnou práci se budeme řídit následujícími radami.

1.1. ZÁZNAMY O MĚŘENÍ

Při stavbě různých přístrojů je nutné vést technický deník, do kterého kreslíme schémata zapojení a zapisujeme technické poznámky. Do stejného deníku budeme zapisovat i výsledky měření na každém přístroji. Poznámky o naměřených hodnotách na kousku papíru se většinou poztrácejí a po uplynutí určité doby nemáme o naměřených hodnotách žádný přehled.

Měříme-li vzájemnou závislost dvou veličin, nakreslíme si do technického deníku i grafické znázornění průběhu.

K těmto poznámkám se nejlépe hodí sešit formátu A4 se čtve-

rečkováním papírem, který umožňuje jednoduché kreslení přehledných schémat, tabulek i grafů.

1.2. MĚŘENÍ NAPĚTÍ A PROUDU

K měření proudů a napětí se většinou používají továrně vyráběné univerzální měřicí přístroje, které v sobě sdružují miliampérmetr s několika rozsahy, voltmetr s několika rozsahy, ohmmetr, někdy i měřič tranzistorů, generátor určité frekvence apod. Ze známých typů lze jmenovat např. Avomet, DU 10, či novější PU 120 a další. Výhodou těchto přístrojů je jejich vysoká přesnost a univerzálnost, nevýhodou pak vyšší cena.

Právě vyšší cena továrně vyráběných přístrojů nás někdy staví před nutnost postavit vlastní měřicí přístroj. Obzvláště máme-li v zásobě vhodný jednorozsahový měřicí přístroj.

Nejprve musíme posoudit vhodnost tohoto přístroje k zamýšlenému účelu. Většinu údajů potřebných pro posouzení najdeme na stupnici. Podle těchto údajů zjistíme:

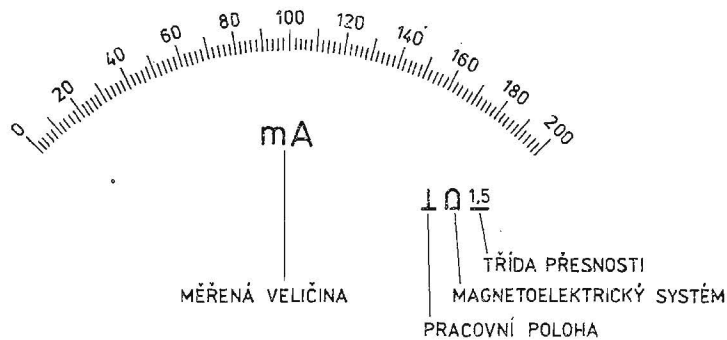
- a/ použití přístroje /voltmetr nebo ampérmetr/
- b/ rozsah přístroje
- c/ druh měřicího systému
- d/ třídu přesnosti.

Příklad lineární stupnice měřicího přístroje je na obr.1.

Pro konstrukci univerzálního měřicího přístroje vybereme měřicí přístroj s magnetoelektrickým systémem a co největší citlivostí.

1.3. MĚŘENÍ NAPĚTÍ

Při měření napětí připojujeme měřicí přístroj přímo ke svorkám zdroje, jehož napětí měříme. Protože vlastní systém měřicího přístroje má velmi malý vnitřní odpor, můžeme takto měřit



Obr.1. Příklad řešení stupnice přístroje

pouze velmi malá napětí řádu mV. Po připojení přístroje na napětí vyšší by přístrojem procházel velký proud a měřicí systém bychom zničili.

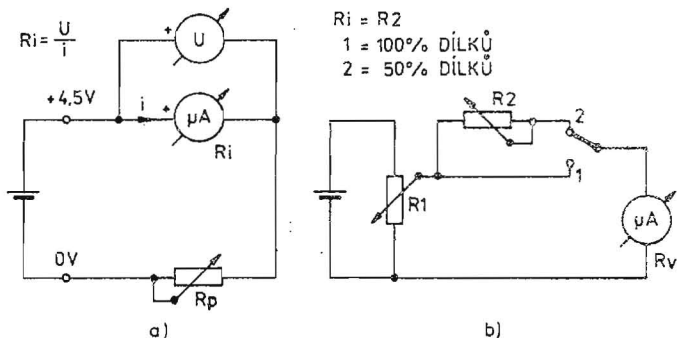
Pro měření vyšších napětí musíme rozsah měřicího přístroje upravit. Před přístroj zapojujeme předřadný rezistor R_p , kterým prochází stejně velký proud jako měřicím systémem. Tento proud vyvolá na předřadném rezistoru úbytek napětí, který bude úměrný protékajícímu proudu a hodnotě použitého rezistoru. Volbou vhodné velikosti rezistoru R_p zvětšíme rozsah měření např. 2x, 5x, 10x apod. Velikost předřadného rezistoru vypočítáme podle vzorce

$$R_p = (n - 1) \cdot R_i$$

$n =$ požadované zvětšení rozsahu /např. 10x/

$R_i =$ vnitřní odpor přístroje v ohmech

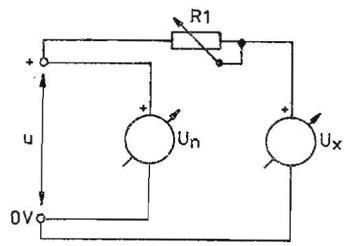
Mnohdy se stává, že neznáme hodnotu vnitřního odporu přístroje R_i . Můžeme ji změřit podle zapojení na obr.2a/, 2b/. Zapojení 2a/ je vhodné pro případ, kdy známe proud měřidla. Na obr. 2b/ postupujeme tak, že přepínač je v poloze 1 a potenciometrem



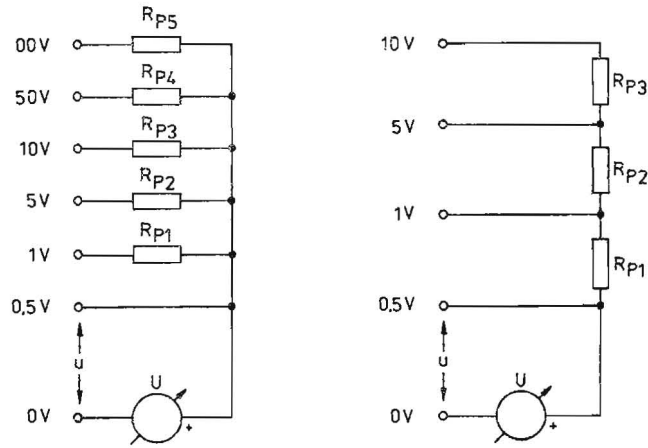
Obr.2a. Měření vnitřního odporu měřidla

Obr.2b. Měření proudu srovnáním

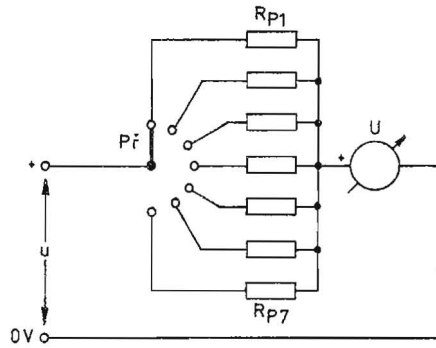
R_1 nastavíme plnou výchylku měřícího přístroje. Pak přepneme přepínač do polohy 2 a potenciometrem R_2 nastavíme poloviční výchylku přístroje. Hodnota R_2 se rovná vnitřnímu odporu přístroje. Z naměřených hodnot podle obr.2a/ vypočítáme vnitřní odpor podle Ohmova zákona. Možná je i další metoda. Podle zapojení na obr.3 zapojíme do série s měřícím přístrojem potenciometr, kterým nastavíme výchylku tak, aby odpovídala výchylce na kontrolním přístroji. Hodnotu odporu nastaveného na potenciometru pak přesně změříme a potenciometr nahradíme pevnými rezistory zapojenými sériově či paralelně. Voltmetr s několika rozsahy pak zapojíme podle obr.4, kde přepínáme rozsahy zasunováním pří-



Obr.3. Nastavení předřazeného odporu



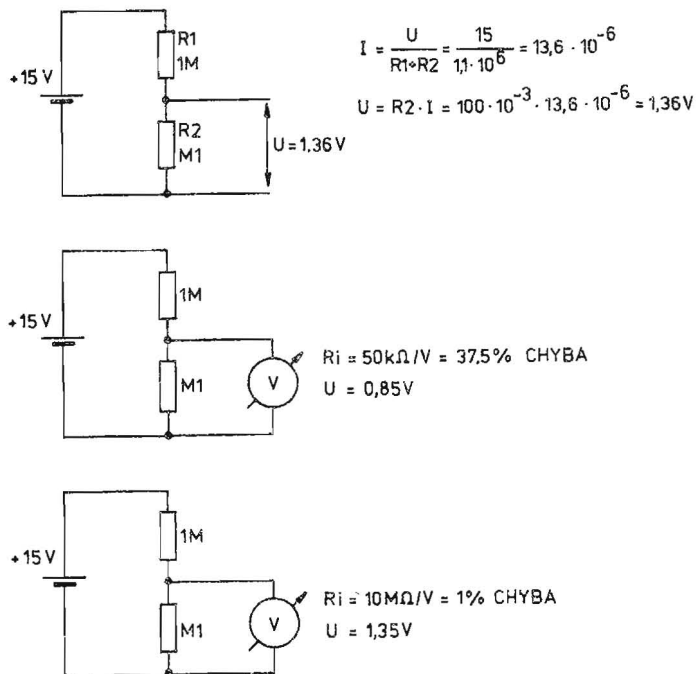
Obr.4. Voltmetr s více rozsahy



Obr.5. Přepínání rozsahu voltmetru

vodů do zdířek voltmetru pro jednotlivé rozsahy, nebo podle obr.5, kde k přepínání použijeme vhodný přepínač.

Vliv vnitřního odporu voltmetru názorně ukazuje obr.6.



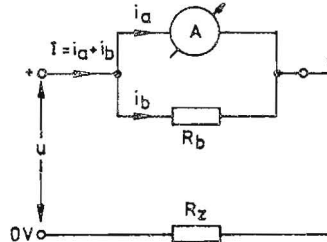
Obr.6. Vliv vnitřního odporu měřidla na měření

1.4. MĚŘENÍ PROUDU

Zatímco u voltmetru se snažíme dosáhnout co nejvyššího vnitřního odporu, který by při měření nezatěžoval měřený obvod vlastní spotřebou, u ampérmetru má být vnitřní odpor co nejmenší. Při zařazení měřícího přístroje do měřeného obvodu na něm dochá-

zí k úbytku napětí, který je úměrný odporu přístroje a protékajícímu proudu.

Rozsah ampérmetru zvýšíme tak, že paralelně k měřicímu systému zapojíme přídatný rezistor, zvaný bočník a označovaný R_b . Celkový proud tekoucí obvodem se nám pak rozdělí v nepřímém poměru velikosti odporů R_i a R_b . Schéma tohoto zapojení je na obr.7.



Obr.7. Zapojení bočníku k ampérmetru

Hodnotu bočníku R_b můžeme vypočítat podle vzorce

$$R_b = \frac{R_i}{n - 1}$$

Zde nemůžeme použít způsobu uvedeného u voltmetru a bočník nahradit potenciometrem, protože potenciometry potřebných hodnot /mΩ/ se nevyrábějí. Můžeme si ale pomoci tak, že zhotovíme bočník s poněkud vyšším odporem, než je potřebná hodnota. Na tomto bočníku dochází při průtoku proudu k úbytku napětí, který vlastně měříme měřicím přístrojem. Do série s měřicím přístrojem zařadíme odporový trimr, kterým nastavíme požadovanou výchylku. Schéma tohoto zapojení je na obr.8.

1.5. PŘEPÍNÁNÍ ROZSAHŮ AMPÉRMETRU

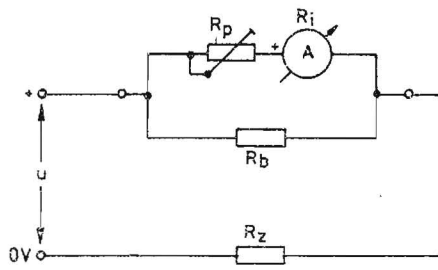
Přepínání rozsahů ampérmetru je složitější než u voltmetru. Lze použít přepínač zapojený podle obr.9. Přepínač však musí mít kontakty dimenzované na přepínání největšího měřeného proudu. Přechodový odpor kontaktů přepínače musí být zanedbatelný, vzhledem k hodnotám bočnicku. Dále musí být přepínač konstrukčně řešen tak, aby při přepínání zkratoval dva sousední kontakty dříve, než běžec opustí předcházející kontakt. V opačném případě by zůstal při přepínání měřicí systém zapojen bez bočnicku, což by vedlo při vyšších rozsazích k jeho zničení.

Proto je vhodnější další způsob použití tzv. řetězového bočnicku podle obr.10. Tento bočník je trvale připojen k měřicímu přístroji. K přepínání rozsahů můžeme použít buď přepínač, nebo přepínáme rozsahy pomocí jednotlivých zdířek. Nevýhodou tohoto bočnicku je složitější výpočet, který je uveden v každé literatuře o měření. Další nevýhodou je to, že každý z bočníků ovlivňuje všechny použité rozsahy. Jejich nastavení je proto pracnější.

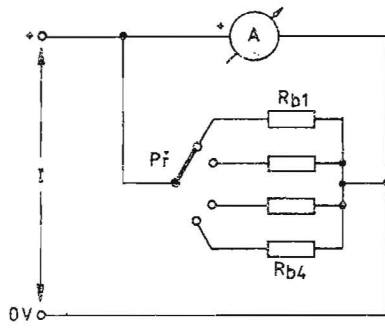
1.6. VOLBA VHODNÝCH ROZSAHŮ

Při volbě vhodných rozsahů musíme vycházet z označení stupnice přístroje a ze základního rozsahu. Každý vyšší rozsah pak musí být celým násobkem základního rozsahu. Zvyšování rozsahu vždy 10x je ale příliš hrubé. Využijeme proto možnosti zvýšení např. 2x, 3x, 5x apod.

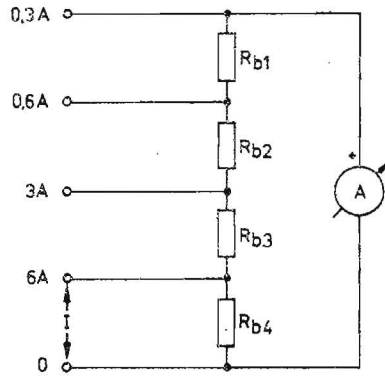
Při použití miliampérmetru k měření napětí se stává, že ozna-



Obr.8. Zvětšení rozsahu ampérmetru

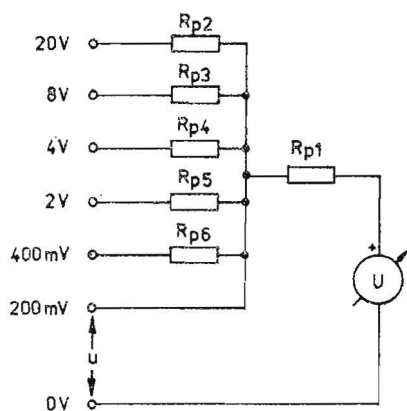


Obr.9. Přepínání rozsahu ampérmetru



Obr.10. Zapojení řetězového bočníku

čeni dílků stupnice nesouhlasí s vhodnou hodnotou napětí. Např. plné výchylky přístroje se stupnicí s 200 dílky dosáhneme při 130 mV. Zapojíme proto před přístroj trvale předřadný rezistor



Obr.11. Zvětšení základního rozsahu přístroje

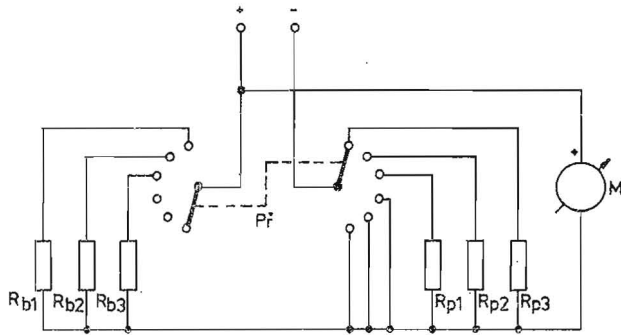
R_{p1} , který zvětší základní rozsah přístroje na 200 mV. Dalšími předřadnými rezistory R_{p2} až R_{p6} zvýšíme jednotlivé rozsahy na 400 mV, 2V, 4V, 8V, 20V. Schéma zapojení je na obr.11.

1.7. KONSTRUKCE UNIVERZÁLNÍHO PŘÍSTROJE

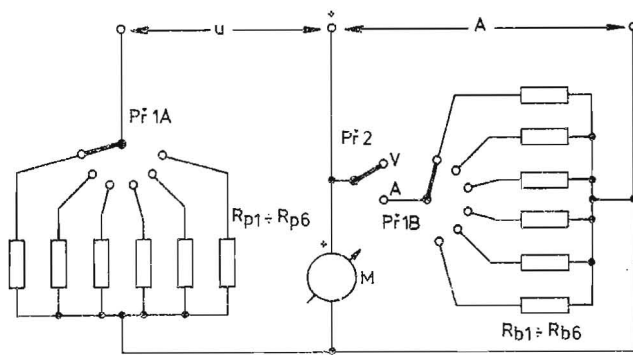
Nejdražší částí každého měřicího přístroje je vlastní měřicí systém. Snažíme se jej proto využít v jednom univerzálním přístroji, jak k měření proudů, tak k měření napětí. Příklad zapojení univerzálního přístroje je na obr.12.

Konstrukce tohoto přístroje vychází z vhodného šestipólového dvouřadového přepínače. Tři polohy přepínače byly použity

pro měření napětí, tři pro měření proudů. Nevýhodou tohoto zapojení je malý počet rozsahů i při dostatečném počtu přepínacích kontaktů. Výhodou je, že přístroj má pouze dvě vstupní svorky společné pro proudové i napěťové rozsahy.



Obr.12. Zapojení univerzálního měřicího přístroje



Obr.13. Univerzální měřicí přístroj se třemi svorkami

Malý počet rozsahů odstraňuje zapojení podle obr.13. Jeden ze segmentů přepínače př. 1A je použit pro přepínání předřad-

ných rezistorů, druhý segment př. 1B pro přepínání bočníků. Přívodní svorky jsou tři: jedna společná, jedna pro měření proudu a jedna pro měření napětí. Navíc je ale nutný přepínač funkcí, př. 2.

Vnitřní odpor všech těchto měřících přístrojů bude závislý na vlastní spotřebě měřícího systému. Při použití citlivého měřidla, např. 20 μ A, dosáhneme obvykle odporu 50 k Ω /V. Při měření napětí na obvodech s velkým odporem, jak ukazuje obr.4, je měření zatíženo značnou chybou. Pro dosažení vyšších vnitřních odporů voltmetru používáme aktivní zesilovače s polovodiči. Takové přístroje jsou dále popsány. Lze pak sestavit i citlivé milivoltmetry s velkým vstupním odporem až několik megohmů.

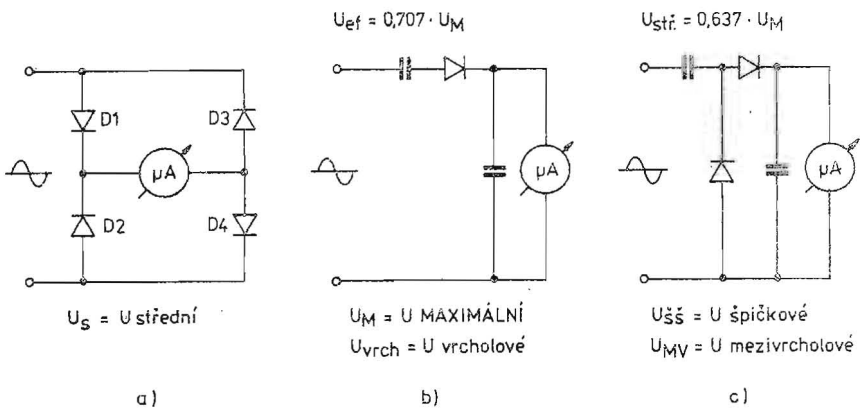
1.8. MĚŘENÍ STŘÍDAVÝCH NAPĚTÍ

Přímé měření střídavých veličin je obtížné. Pro zachování dostatečné přesnosti používáme opět magnetoelektrické přístroje. Ty ale mohou měřit pouze stejnosměrný proud. Proto střídavý proud musíme nejdříve usměrnit.

Pak již mluvíme o elektronických měřících přístrojích pro měření střídavého proudu. Teoretická odvození najdeme v literatuře o měření, která je dosti obsáhlá. V tomto stavebním návodu se zaměříme jen na základní převodníky střídavého proudu.

Na obr.14 jsou základní typy používaných usměrňovačů pro měření harmonického průběhu střídavého proudu. V nízkofrekvenční technice se často používá můstkové zapojení podle obr.14a/. Měřící přístroj měří střední hodnotu střídavého proudu. Většinou je ale ocejchován v efektivní hodnotě. Cejchování platí pouze

pro harmonický průběh střídavého proudu. Pro jiné průběhy je měření pouze informativní, anebo musíme používat kvadratické voltmetry. Další používaný usměrňovač je na obr.14b/. Usměrňovač usměrňuje jednu půlvlnu a měřený proud je úměrný vrcholové



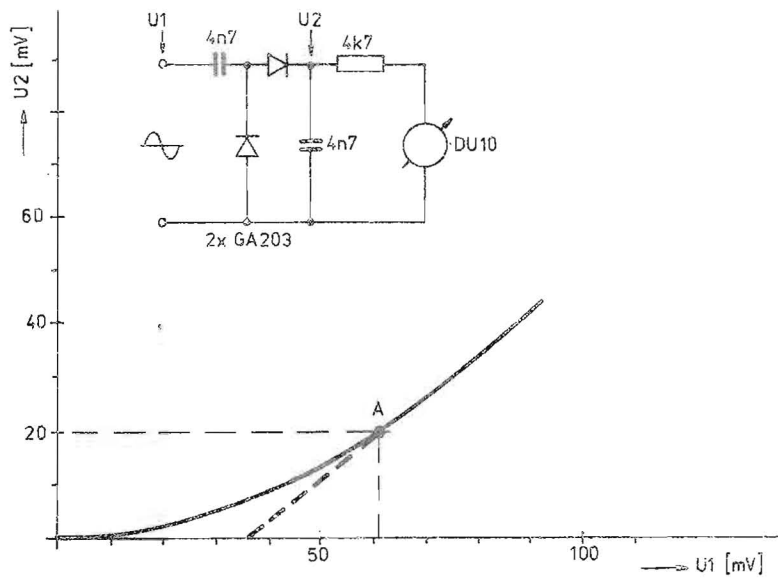
Obr.14. Základní typy měřících usměrňovačů

hodnotě. V případě zapojení na obr.14c/ je měřený proud úměrný mezivrcholové hodnotě. U všech těchto usměrňovačů je nutné konečné cejchování stupnice. Většinou je výhodné cejchování pomocí převodní tabulky. Na obr.15 jsou příklady použití usměrňovačů pro vyšší kmitočty. Tyto usměrňovače jsou většinou konstruovány jako samostatné sondy a k měřicímu přístroji se připojují stíněným kablíkem. Se sondou podle příkladu 3 lze měřit malá napětí asi od 15 mV. Na obr.16 je převodní charakteristika této sondy. Lineární oblast, ve které je možno měřit, začíná bodem A. Prahová úroveň je při 10 mV. Naměřené hodnoty s přístrojem

	ZAPOJENÍ	CITLIVOST	ROZSAH
1		100mV	0,1 ÷ 1V
2		300mV	0,3 ÷ 1V
3		60mV	0,06 ÷ 1V
4		10mV	10 ÷ 100mV
5		100μV	0,1 ÷ 100mV

Obr.15. Výběr usměrňovačů pro měření

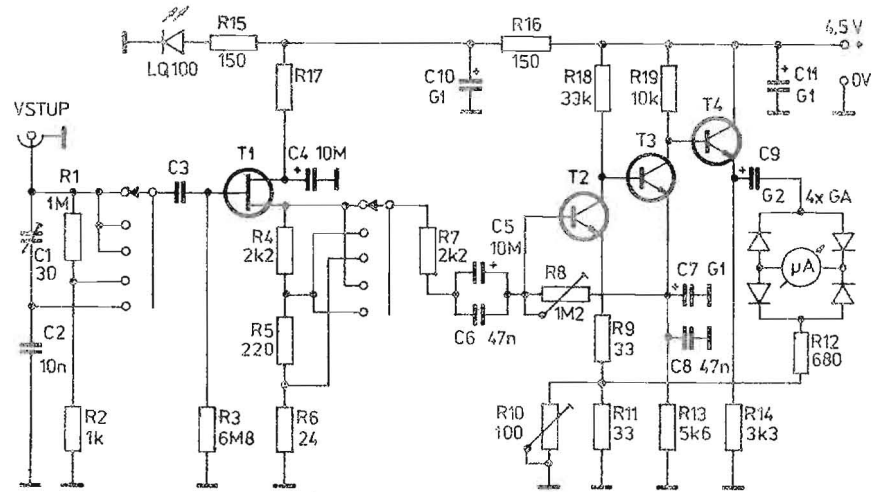
DU10 jsou v tabulce 1. Sondy uvedené pod body 4 a 5 budou popsány v další části stavebního návodu "Střídavá měření v radio-technice".



Obr.16. Grafická závislost napětí měřicího usměrňovače

Tabulka č.1

f 1	10 MHz	Rozsah DU10 = 300 mV	f 1	10 MHz	Rozsah DU10 = 300 mV
U 1	mV	U 2	U 1	mV	U 2
		mV			mV
	18	2,5		100	50
	26	5		160	100
	40	10		220	150
	52	15		260	200
	60	20		300	250
	70	25		340	300

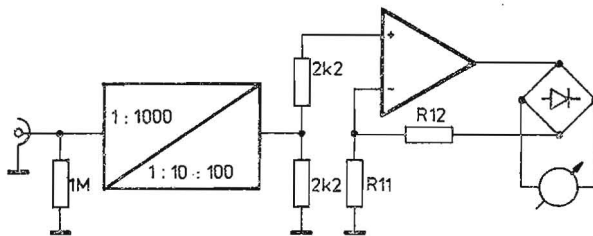


1mV \circ — \circ
 10mV \circ
 100mV \circ
 1V \circ
 10V \circ

T1 - KF521, BF245, 2N3S19, KP303 a pod.
 T2,3,4 - KC507, 508, SC239E a pod.
 μ A - 100 μ A

Obr.17. Střídavý milivoltmetr do 100 kHz

Pro měření v oblasti nízkých kmitočtů je nutno zvětšit úměrně kapacity v sondě. Vhodná hodnota je minimálně M 47. Zapojení kvalitního milivoltmetru je na obr.17. Samotný můstkový usměrňovač můžeme použít pro měření napětí dané kolenem charakteristiky diod /bod A na obr.16/. Pro měření nižších úrovní napětí



Obr.18. Princip milivoltmetru s velkým vstupním odporem

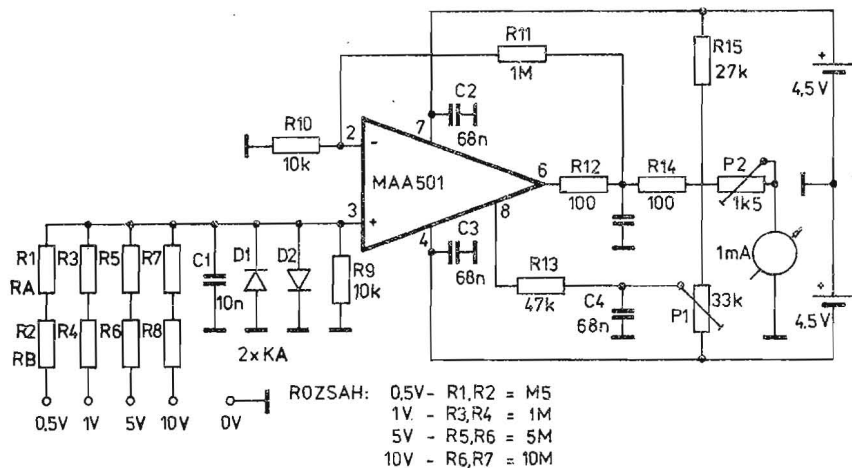
musíme použít zesilovač. Na obr.17 je zesilovač tvořen třístupňovým zesilovačem se zápornými zpětnými vazbami. Tento zesilovač je doplněn impedančním převodníkem pro získání velkého vstupního odporu. Princip měření je na obr.18.

2. KONSTRUKCE VOLTMETRU S VYSOKÝM VSTUPNÍM ODPOREM

Nevýhodou běžných ručkových měřících přístrojů je jejich nízký vstupní odpor. Při měření napětí na zdroji, který není dostatečně "tvrdý", pak naměříme nepřesné hodnoty. Tuto nevýhodu můžeme odstranit tím, že ke konstrukci voltmetru použijeme tranzistor nebo operační zesilovač.

Popis zapojení

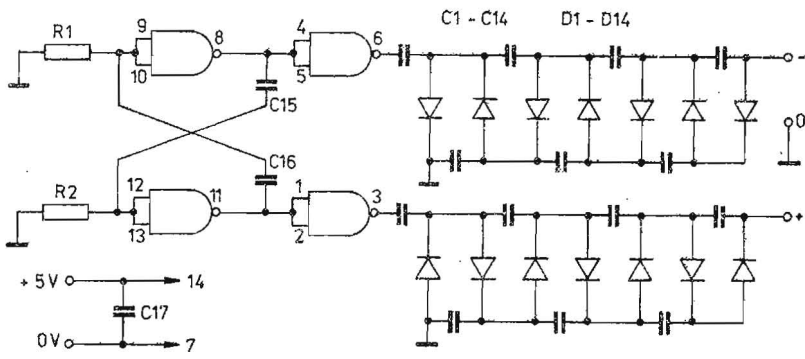
Ke konstrukci elektronického voltmetru podle schématu na obr. 19 je použit operační zesilovač. Měřené napětí je přiváděno přes předřadné odpory na vývod č.3. Tento vývod chrání proti přepětí dvě antiparalelně zapojené diody a blokuje kondenzátor 10 k.



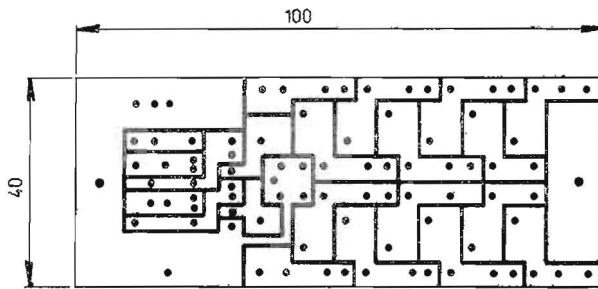
Obr.19. Stejnoseměrný voltmetr s velkým vstupním odporem

Ručkový měřicí přístroj je zapojen mezi vývod 6 a nulový potenciál zdroje. Rezistory 100 Ω a trimr lk5 slouží jako předřadné rezistory měřícího přístroje.

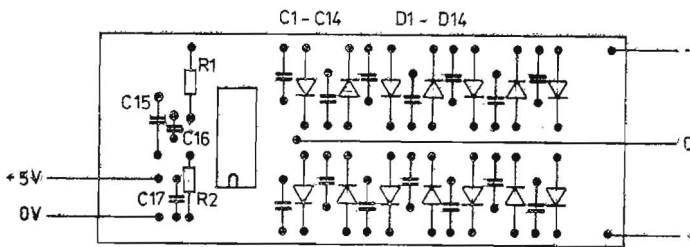
K napájení je možno použít dvě ploché baterie nebo zdroj 2 x 15 V. Nevýhodu použití dvou plochých baterií můžeme odstranit zdrojem s IO MH7404 podle schématu na obr.20. Výkres plošného spoje je na obr.21 a rozložení součástek na obr.22. Přívoody napájecího napětí k operačnímu zesilovači, tj. vývody 4 a



Obr.20. Zdroj symetrického napětí ± 15 V



Obr.21. Plošný spoj zdroje



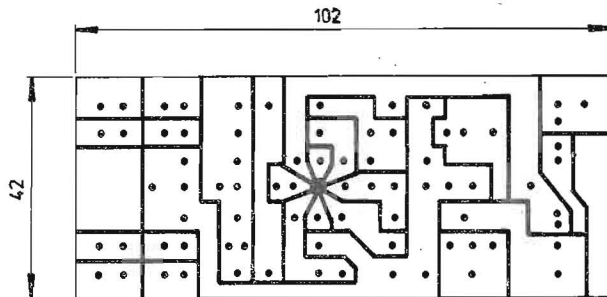
Obr.22. Rozmístění součástek zdroje

7, je nutno blokovat. Rovněž je vhodné blokovat podle schématu vývody 6 a 8.

K vyvážení operačního zesilovače je zapojen dělič napětí složený z rezistoru $27\text{k}\Omega$ a trimru $33\text{k}\Omega$. Hodnoty součástek v děliči musí být přizpůsobeny použitému napájecímu napětí a použitému operačnímu zesilovači. Rezistor $27\text{k}\Omega$ proto nezapájíme definitivně, ale až při oživování. Podle potřeby jej můžeme nahradit vyšší či nižší hodnotou /až $220\text{k}\Omega$ / tak, aby bylo možno nastavit nulovou výchylku měřícího přístroje. Rovněž předřadné rezistory na vstupu označené R1 až R8 zapojíme až při oživování.

Použité součástky

Voltmetr je postaven na plošném spoji o rozměrech 40×100 mm podle obr.23. Rozložení součástek na plošném spoji je na

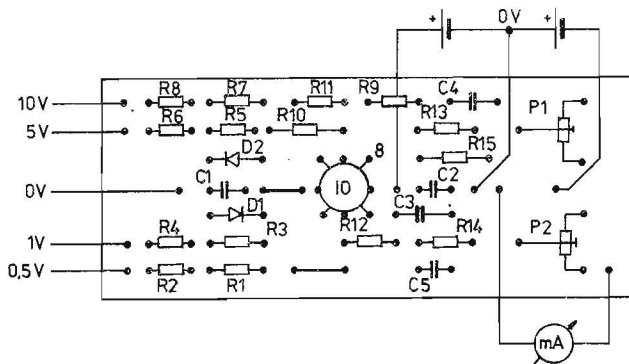


Obr.23. Plošný spoj voltmetru

obr.24. Rezistory použijeme typu TR 151, při menších nárocích postačí i TR 112a. Odporové trimry je vhodnější použít keramické /např. TP 017, TP 062/. Při menších nárocích postačí i TP 041.

Operační zesilovač pájíme do plošného spoje až naposled. Vývod č.8 operačního zesilovače je na plošném spoji označen tečkou.

Hodnoty rezistorů R1 až R8 na vstupu voltmetru nejsou uvede-



Obr.24. Rozmístění součástek voltmetru

ny. Tyto hodnoty vybereme a zapájíme až při cejchování přístroje podle požadovaných rozsahů.

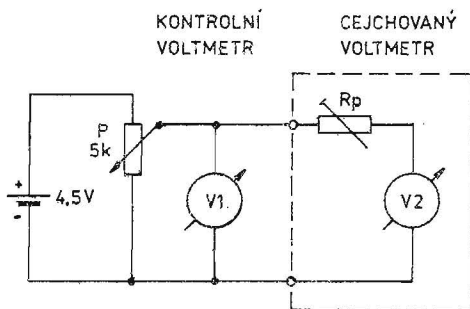
Oživení a cejchování přístroje

Pro oživení a cejchování potřebujeme měřicí přístroj, např. DU 10 nebo PU 120, zdroj napájecího napětí $2 \times 4,5$ V a zdroj srovnávacího napětí. Zde nám postačí další plochá baterie s potenciometrem $5k\Omega$. Schéma zapojení pro cejchování je na obr.25.

Po důkladné kontrole zapojení připojíme napájecí napětí a sledujeme výchylku měřicího přístroje. Tato výchylka může být kladná i záporná, různé velikosti. Pokusíme se ji vyrovnat

trimrem $33k\Omega$ na nulu. Pokud ji vyrovnat nelze, zaměníme rezistor $27k\Omega$ za jinou hodnotu.

Po vyrovnání výchylky měřicího přístroje na nulu zapojíme na vstup rezistor $R_3 = 1M\Omega$. Na zdroji srovnávacího napětí nastavíme přesně 1 V. Toto napětí měříme kontrolním měřicím přístrojem.



Obr.25. Cejchování voltmetru

Trimrem $1k5$ se snažíme nastavit výchylku ručky měřicího přístroje na konec stupnice. Pokud se nám to nepodaří, musíme změnit hodnotu vstupního rezistoru R_3 .

Po nastavení rozsahu 1 V nastavíme obdobným způsobem další vyšší i nižší rozsahy. Aby bylo možno nastavit potřebný odpor z vyráběných hodnot, je na plošném spoji možno zapojit dva odpory sériově. Celkové hodnoty předřadných rezistorů vypočítáme z hodnoty odporu pro rozsah 1 V.

Dosažené parametry

Dosažitelný vnitřní odpor a citlivost voltmetru závisí na citlivosti použitého měřicího přístroje.

S přístrojem 1 mA bylo dosaženo citlivosti až 0,5 V na plnou

výchylku měřidla při použití rezistoru $R_1 = 1\text{M}\Omega$ tj. vstupního odporu $2\text{M}\Omega/\text{V}$. Z praktických důvodů však byl základní rozsah upraven trimrem lk5 na 1 V. Dosažený vstupní odpor $1\text{M}\Omega/\text{V}$ lze považovat za plně vyhovující. Při rozšiřování rozsahu voltmetru pro vyšší napětí je příliš vysoký vstupní odpor určitou nevýhodou, protože maximální vyráběná hodnota rezistorů je $10\text{M}\Omega$. Vyšší hodnoty se obtížně realizují.

Tabulka č.2

Rozsah	RA	RB
0,5 V	M47	27k
1 V	1M	-
5 V	4M7	M27
10 V	10M	-

Jako předřadné rezistory byly použity hodnoty podle tabulky 2.

Další možnosti rozšíření

Citlivost 0,5 V na plnou výchylku měřidla je pro běžné použití zcela dostačující. Pokud by bylo nutno měřit napětí menší, je možno zapojit mezi popsany voltmetr a měřící přístroj další operační zesilovač zapojený stejným způsobem, který bude zesilovat 100x. Celková citlivost se tak zvýší na 0,005 V na plnou výchylku. Při konstrukci je však nutno dbát na dokonalé blokování, protože celkové zesílení obou operačních zesilovačů je 10 000 a zapojení má sklony ke kmitání.

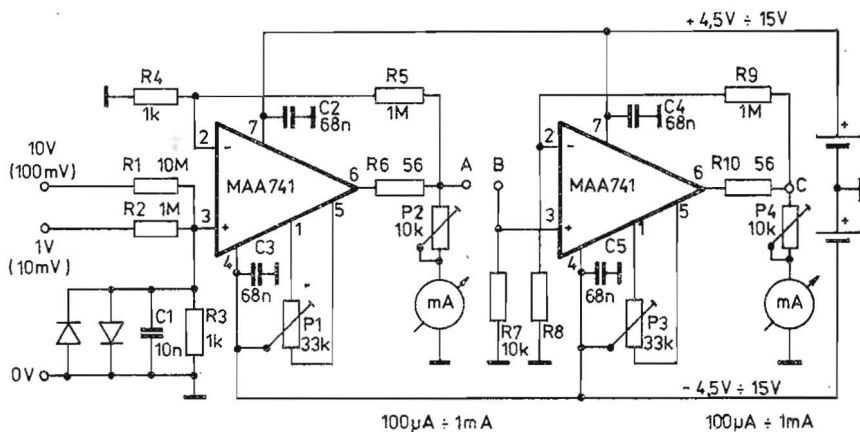
Pro zvýšení rozsahu na 50 V je možno použít sondu, do které

zapojíme čtyři odpory 10 M Ω . Při přepnutí na rozsah 10 V bude tak vstupní odpor celkem 50 M Ω .

Pro měření střídavých napětí doplníme voltmetr vhodnou sondou.

3. KONSTRUKCE MILIVOLTMETRU S OPERAČNÍM ZESILOVAČEM

Elektronický milivoltmetr je navržen tak, aby nebylo nutné používat přepínač rozsahů. Změna rozsahů se děje přepojováním banánků do příslušných zdířek na vstupu a podobným způsobem je možno změnit základní citlivost přístroje.



Obr.26. Elektronický milivoltmetr

Přístroj je osazen dvěma operačními zesilovači. První z nich, OZ1, pracuje jako impedanční převodník, tzn. že velikost odporů R1, R2 určuje vstupní odpor celého voltmetru. Vstupní obvod

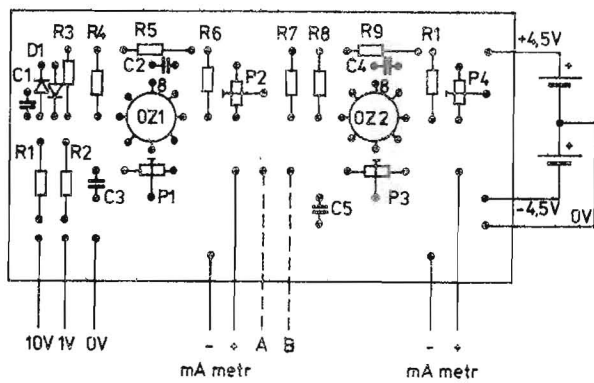
je dále upraven tak, aby bylo možno chránit vstup proti případnému přepětí diodami D1 a D2. Na výstupní svorky označené "V-metr" je možno připojit libovolný ručkový měřicí přístroj - miliampérmetr - s citlivostí $100 \mu\text{A} \div 1 \text{ mA}$. Přizpůsobení elektromických obvodů použitému měřidlu se provede změnou nastavení odporového trimru P2. Potenciometrem P1 můžeme vyrovnat případnou nesymetrii operačního zesilovače, která se projeví nenulovou výchylkou měřicího přístroje při nulovém vstupním napětí.

Citlivost přístroje lze jednoduchým způsobem 100x zvětšit propojením zdívek A, B a přepojením měřicího přístroje do zdívek "mV-metr". Tím je zařazen do funkce operační zesilovač OZ2, který je zapojen jako neinvertující zesilovač se zesílením 100. Vstupní odpor přístroje se tímto způsobem zvýší rovněž stokrát. Celý přístroj lze napájet jakýmkoli stabilizovaným zdrojem symetrického napětí, tj. i dvěma plochými bateriemi. Schéma milivoltmetru je na obr.26, rozložení součástek na plošném spoji na obr.27 a výkres plošného spoje /ze strany spojů/ je na obr.28.

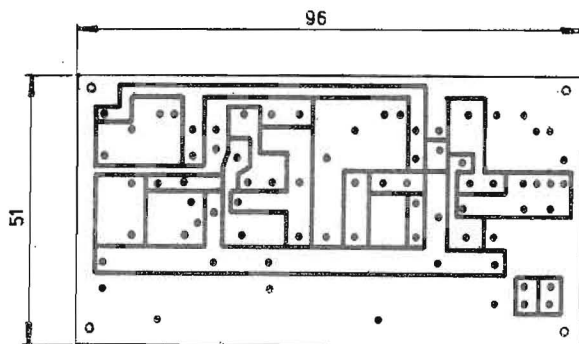
Stavba přístroje, oživení

Pro stavbu V-metru je navržena destička s plošným spojem o rozměrech 90 x 50 mm. Jsou použity součástky běžných hodnot. Při menších nárocích na přesnost V-metru je možno rezistory TR 161 nahradit typem TR 151 nebo jeho obdobami.

Poněkud větší pozornost je potřeba věnovat odporovým trimrům. Trimry s uhlíkovou odporovou dráhou nezaručí stálost nastavení, a totéž platí o jakýchkoli jiných trimrech, pokud je jejich odporová dráha již nekvalitní vlivem častého používání nebo vlivem nečistot.



Obr.27. Rozmístění součástek milivoltmetru



Obr.28. Plošný spoj milivoltmetru

Aktivní prvky - operační zesilovače - při stavbě zasouváme do objímek až po zapájení všech ostatních součástí. Je třeba věnovat zvýšenou pozornost správné orientaci vývodů operačního zesilovače. Vývod č.8 je na plošném spoji označen šipkou. Po zasunutí operačních zesilovačů a po řádném zkontrolování celého zapojení /pozor na studené spoje, příp. zkratky kapkami cínu/ můžeme přistoupit k oživení V-metru. K prvnímu oživení nám postačí běžný měřicí přístroj Avomet, PU 120 apod. Přesnější přístroj musíme použít až při konečném cejchování voltmetru. Nejprve vyrovnáme vstupní napěťovou nesymetrii obou operačních zesilovačů. Do bodu A /obr.26/ připojíme V-metr přepnutý na rozsah asi 6 - 10 V. Připojíme napájecí napětí /pozor na prepólování/ a sledujeme výchylku V-metru. Výchylka může být různě veliká a může mít kladné i záporné hodnoty. V každém případě ji vyrovnáme trimrem P1 na nulu. Kontrolní V-metr přepínáme postupně na nižší rozsahy a výchylku vždy znovu vyrovnáme. Totéž provedeme u OZ2 pomocí trimru P3 /voltmetr připojen do bodu C/. Jelikož teplotní poměry uvnitř pouzdra operačního zesilovače se ustálí přibližně až po půlhodině provozu, musíme půl hodiny po zapnutí napájecích zdrojů znovu provést vyrovnaní napěťové nesymetrie, tentokrát konečné. Je nutno počítat s tím, že po čase dojde k posunutí původních hodnot nesymetrie, proto je dobré čas od času zkontrolovat před měřením, zda má ručkové měřidlo nulovou výchylku při nezapojených vstupních svorkách, a to zvláště při zařazení operačního zesilovače OZ2. Po vyrovnaní nesymetrie je možno připojit na výstup "V-metr" náš zvolený měřicí přístroj. Na vstupní svorku "1V" připojíme regulovatelný zdroj stabilizovaného napětí a nastavíme jej na 1 V /kontrolu-

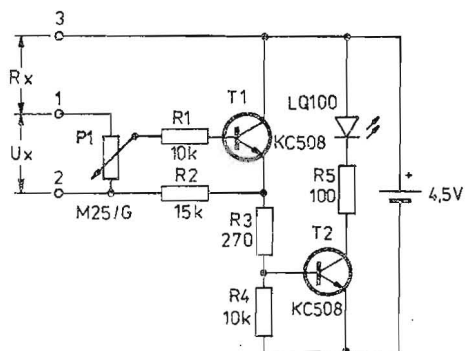
Jeme V-metrem/. Potenciometrem P2 nastavíme plnou výchylku mA-metru. Nastavení OZ2 můžeme provést tak, že použijeme vstup 10 V /100 mV/, na který přivedeme z děliče napětí 100 mV. Ke kontrole musíme ovšem použít mV-metr. V nouzi můžeme vstupní napětí 1 V připojit na svorku B /A-B rozpojeny/. Rezistor R9 přemostíme rezistorem 10k Ω a dále postupujeme jako při nastavení prvního operačního zesilovače s tím rozdílem, že mA-metr připojíme na svorku "mV-metr" a k nastavení použijeme P4. Po nastavení odstraníme přemostění rezistoru R9. Tímto způsobem je přístroj připraven k vestavění do vhodné krabičky nebo skřínky. Abychom se vyhnuli použití přepínačů, vyvedeme vstupní svorky 1 V, 10 V, 0 V, dále body A, B a výstupní svorky V-metr, mV-metr, 0 V na zdířky, které pak vhodným způsobem propojujeme.

4. JEDNODUCHÝ MĚŘIČ NAPĚTÍ

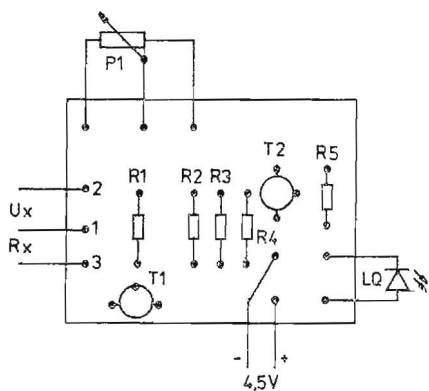
Pro kontrolu napětí používaných při práci s tranzistory nám místo drahého měřicího přístroje stejně dobře poslouží jednoduchý měřič napětí podle schématu na obr.29.

Měřené napětí přivádíme mezi zdířky 1 a 2 na potenciometr P1. Z běžce potenciometru přivádíme napětí do báze tranzistoru T1. Dosáhne-li toto napětí velikosti asi 0,65 V, tranzistor T1 se otevře. Protékající proud otevře i tranzistor T2 a rozsvítí se LED dioda. Protože rozsvícení diody je téměř okamžité a nastavení běžce potenciometru do určité polohy závisí na velikosti napětí přivedeného do zdířky, můžeme toto zapojení použít pro měření napětí.

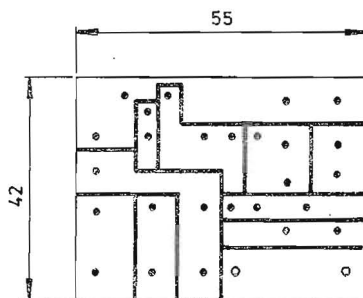
Veškeré součástky jsou připájeny na destičce plošných spojů podle obr.30. Výkres plošného spoje je na obr.31. Do destičky jsou připájeny i vývody potenciometru P1. Tím je vyřešeno upevnění destičky v přístroji.



Obr.29. Jednoduchý voltmetr



Obr.30. Rozmístění součástek



Obr.31. Plošný spoj voltmetru podle obr.29

Celý přístroj vestavíme do krabičky z umělé hmoty U6, do které vyvrtáme v horní části otvor pro uchycení potenciometru a pro LED diodu a do dolního dílu pro 3 zdičky. Pod maticí po-

tenciometru uchytneme papír, na který při cejchování nakreslíme stupnici.

Cejchování provedeme pomocí měřicího přístroje a regulovatelného zdroje napětí. Na zdroji nastavíme podle měřicího přístroje vždy celé hodnoty napětí /např. 3 V, 4 V, 5 V atd./ a na stupnici měřiče vyznačíme body, kde se LED dioda právě rozsvítí. Průběh stupnice a rozsah závisí na vlastnostech použitých tranzistorů, zejména T1, který by měl mít zesilovací činitel alespoň 400.

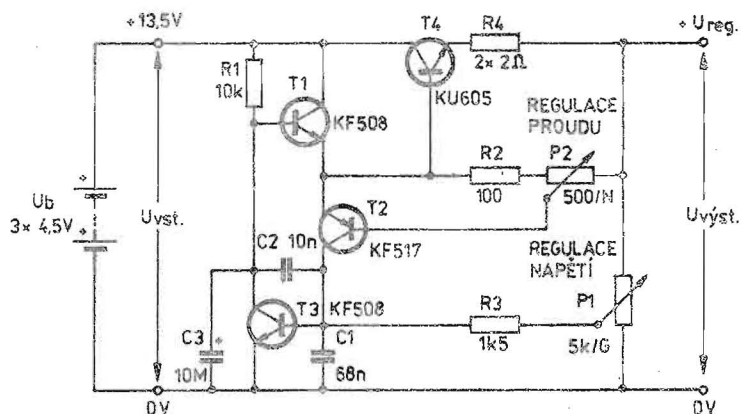
Tímto měřičem lze měřit i rezistory. Měřený rezistor připojíme mezi zdířku 1 a 3. Měřený rezistor tvoří s potenciometrem P1 dělič napětí. Otáčením potenciometru měníme napětí na bázi tranzistoru až do okamžiku, kdy LED dioda zhasne. Pro měření rezistorů nakreslíme zvláštní stupnici, kterou ocejchujeme podle zakoupených rezistorů v hodnotách řady E 12. Dosažitelný rozsah opět závisí na kvalitě tranzistorů a je asi od 18kΩ do 1MΩ.

5. REGULÁTOR NAPĚTÍ S PROUDOVÝM OMEZENÍM

Uvedený regulátor je výhodným doplňkem každého zdroje napětí. Jednak můžeme nastavit potřebné napětí, a co je hlavní výhodou, i výstupní proud. Používáním tohoto doplňku si ušetříme mnoho práce i součástek, zejména tranzistorů.

Celkové schéma regulátoru je na obr.32. Výstupní napětí je přivedeno na potenciometr 5k/G. Tímto potenciometrem nastavujeme požadované výstupní napětí. Napětím z běžce potenciometru

je ovládán tranzistor T3. Otevřením tohoto tranzistoru se otevírá i tranzistor T1, kterým je řízen tranzistor T4. Tranzistor T1 je navíc ovládán tranzistorem T2, na který je přiváděn úby-



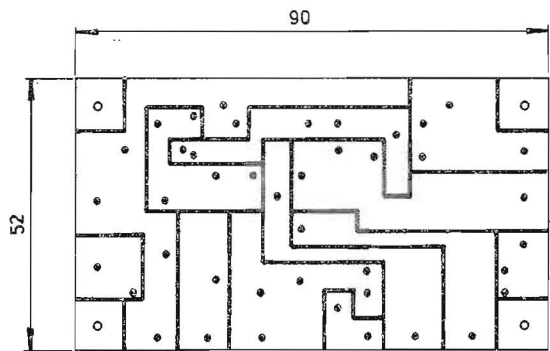
Obr.32. Zdroj s regulací napětí a proudovým omezením

tek napětí z potenciometru P2 a z rezistoru R4. Úbytek napětí na tomto rezistoru závisí na velikosti výstupního proudu.

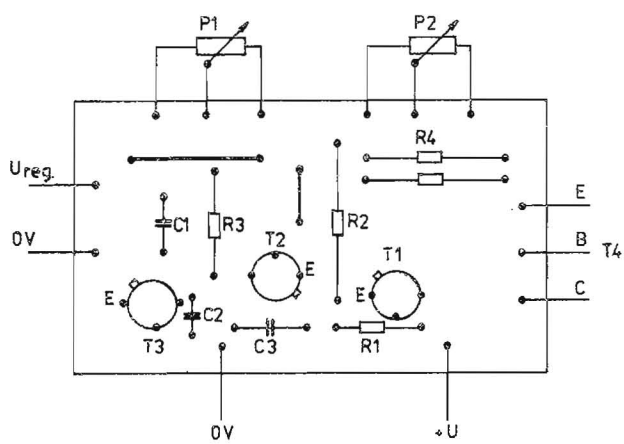
Všechny součástky včetně obou potenciometrů jsou připájeny na destičku plošných spojů podle obr.33. Rozložení součástek je na obr.34. Na destičce není pouze tranzistor T4, který připevníme na vhodný a dostatečně dimenzovaný chladič.

6. MĚŘENÍ TRANZISTORŮ

V amatérské praxi se setkáváme s měřením tranzistorů velmi často. Většinou potřebujeme mít jistotu, zda je tranzistor

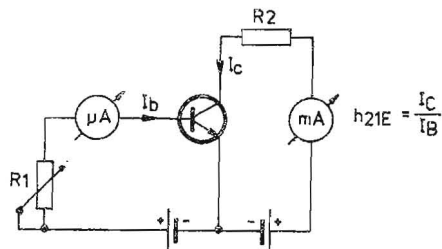


Obr.33. Plošný spoj zdroje



Obr.34. Rozmístění součástek zdroje

dobrý. Toto ověření je jednoduché a mnohdy dostačující. Při všech měřeních se vychází ze základní funkce tranzistoru jako zesilovače. Na obr.35 je základní zapojení tranzistorů se společným emitorem. Malý proud báze /asi 0,1 až 2 % kolektorového

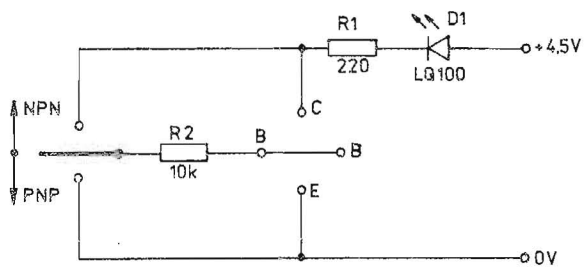


Obr.35. Závislost kolektorového proudu na řídicím proudu báze

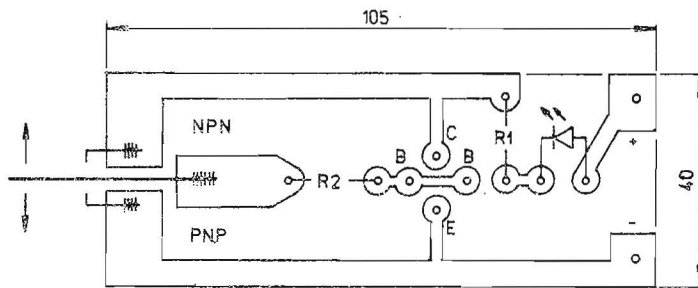
proudu/ vyvolá velkou změnu proudu v přechodu kolektor-emitor. Poměr těchto proudů je proudové zesílení tranzistoru v zapojení se společným emitorem a označuje se jako parametr h_{21E} . I když je zapojení těchto měřících přístrojů poměrně jednoduché, vyžaduje použití měřících systémů, které jsou dosti drahé. Proto je mnohdy vhodné sestavit levnější zkoušečku.

6.1. JEDNODUCHÁ ZKOUŠEČKA TRANZISTORŮ DOBRÝ - ŠPATNÝ

Velmi jednoduchá je zkoušečka tranzistorů na obr.36. Pokud je tranzistor dobrý, vybudí proud báze tranzistor do sepnutého stavu a dioda LED bude svítit. Podle sepnutého spínače určíme polaritu tranzistoru. Plošný spoj na obr.37 je opatřen objímkou pro tranzistory. Jako spínače je použito pružného



Obr.36. Jednoduchá zkoušečka tranzistorů

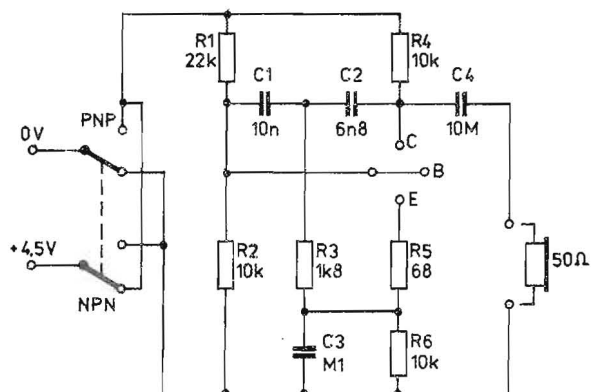


Obr.37. Plošný spoj zkoušečky tranzistorů

drátku. V nouzi je možné použít i delší vývod /jazýček/ z ploché baterie.

6.2. AKUSTICKÁ ZKOUŠEČKA TRANZISTORŮ

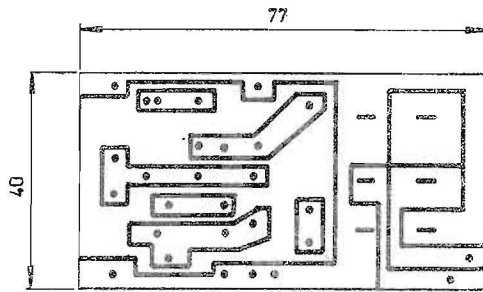
Další zkoušečkou je tranzistorový oscilátor, jehož součástí je měřený tranzistor. Na obr.38 je zapojení oscilátoru se zpět-



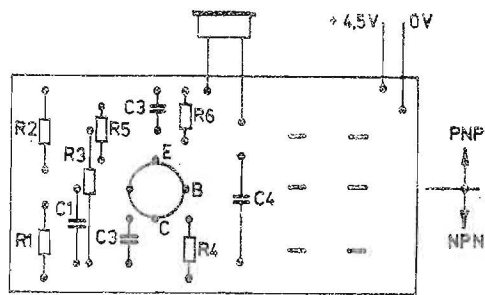
Obr.38. Akustická zkoušečka tranzistorů

novazebním T článkem. Odporů jsou voleny tak, aby se při nesprávně přepnutém přepínači měřený tranzistor nezničil. Ozve-li se ze sluchátka zvuk, je tranzistor dobrý a polarita odpovídá poloze přepínače.

Přepínač je páčkový dvojitý a je vpájen přímo do plošného spoje. Pro tranzistor je zapájená objímka. Použité kondenzátory jsou keramické polštářkové. Plošný spoj je na obr.39, rozložení součástek na destičce je na obr.40.



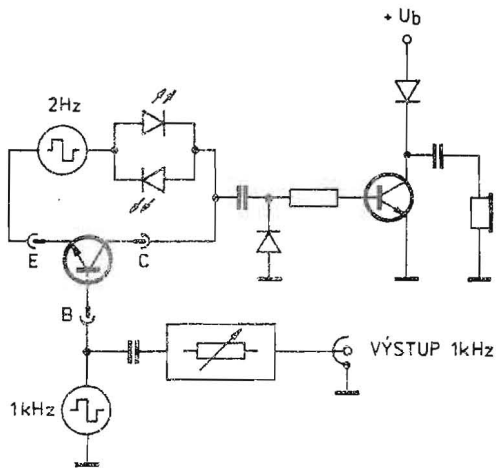
Obr.39. Plošný spoj zkoušečky



Obr.40. Rozmístění součástek

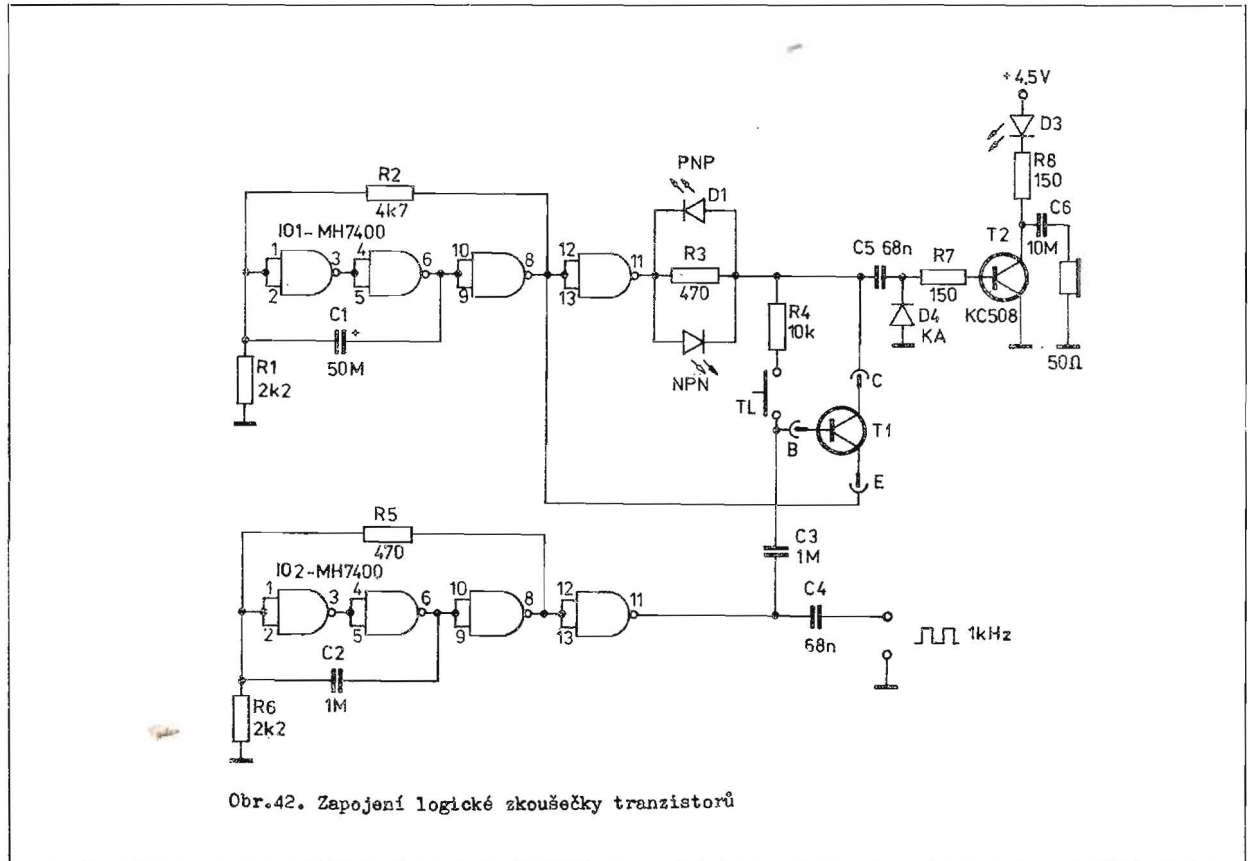
6.3. ZKOUŠEČKA S OPTICKOU A AKUSTICKOU SIGNALIZACÍ

Blokové schéma je na obr.41. Měřený tranzistor je buzen do báze střídavým napětím o zvukovém kmitočtu. Je-li tranzistor dobrý, spíná se tímto kmitočtem jeho přechod C-E. Tranzistor



Obr.41. Blokové schéma logické zkoušečky

pracuje jako spínač a spíná obvod dvou antiparalelně spojených diod ke zdroji druhého generátoru o nízkém kmitočtu několika herců. Rozsvítí se krátce vždy jen jedna dioda, podle polarity tranzistoru. Tím je jednoznačně určeno, že je tranzistor dobrý a jakou má polaritu. Aby však byla jistota, že je tranzistor opravdu dobrý, je zařazen ještě jeden tranzistorový zesilovač. V jeho kolektoru je zařazena dioda LED a také zapojeno sluchátko. Je-li tranzistor dobrý, bude dioda D3 blikat a ve sluchát-



Obr.42. Zapojení logické zkoušečky tranzistorů

kách bude přerušovaný tón. Funkce zkoušečky vyplývá z tabulky č.3.

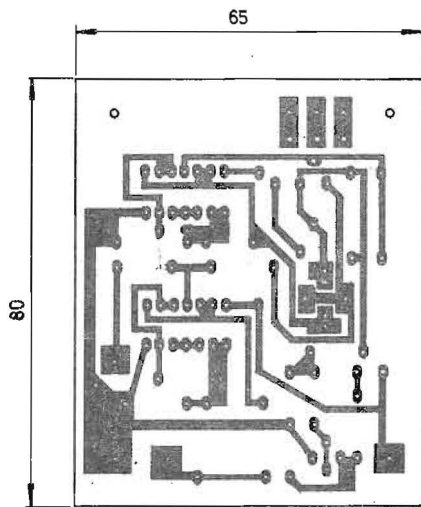
Zkoušečku můžeme rozšířit tak, že kmitočet 1 kHz vyvedeme přes dělič na výstupní svorku a používáme jej jako kalibrátor a zdroj pevného n_f signálu ke zkoušení různých obvodů. Vrcholové napětí 2 V můžeme použít pro jednoduchý měřič kondenzátorů od $10\mu F$ do $100\mu F$.

Tabulka č.3 Stav zkoušečky

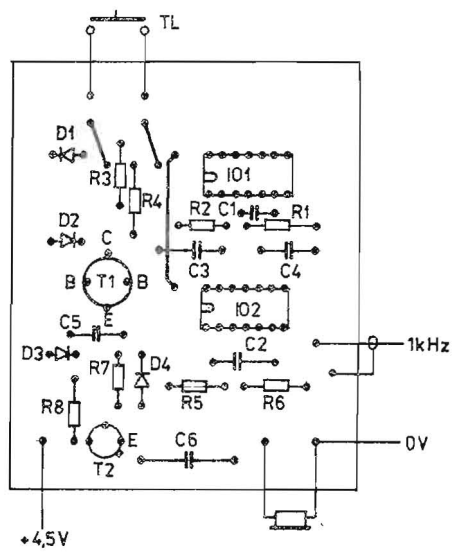
dobrý NPN	bliká D1 + D3, přerušovaný tón
dobrý PNP	bliká D2 + D3, přerušovaný tón
zkrat	bliká D1 + D2, střídavě D3 nesvítí, není tón
přerušený	nesvítí žádná dioda a není tón

Praktické zapojení je na obr.42. Generátory tvoří obvody MH 7400, které ještě uspokojivě pracují při napětí 4,5 V /plochá baterie/. Výstup generátoru 2 Hz je veden přes odpor R3 do báze tranzistoru. Po sepnutí tranzistoru jsou do obvodu CE zapojeny obě diody D1, D2. Tím je ověřena "stejnoseměrná" funkce tranzistoru. Funkce tranzistoru jako střídavého zesilovače je ověřena funkcí D3 a sluchátkem. Střídavý signál 1 kHz je přes oddělovací kondenzátor C3 přiveden do báze ověřeného tranzistoru. Zesílený signál se objeví na kolektoru a je přiveden do tranzistoru T2. Průběh napětí na C4 je na obr.43.

Kmitočet 1 kHz můžeme používat jako zdroj obdélníkového napětí ke zkoušení zesilovačů. Výstupní napětí je pro tyto účely veliké, proto zapojíme dělič napětí podle obr.44. Použijeme-li

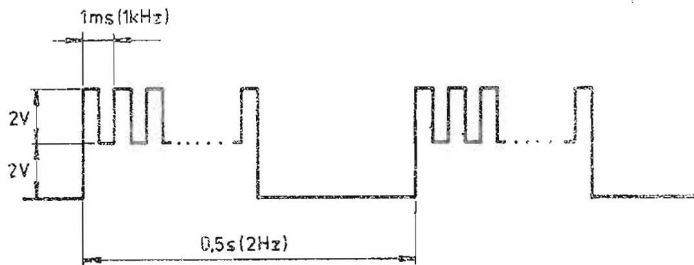


Obr.42a. Plošný spoj logické zkoušečky

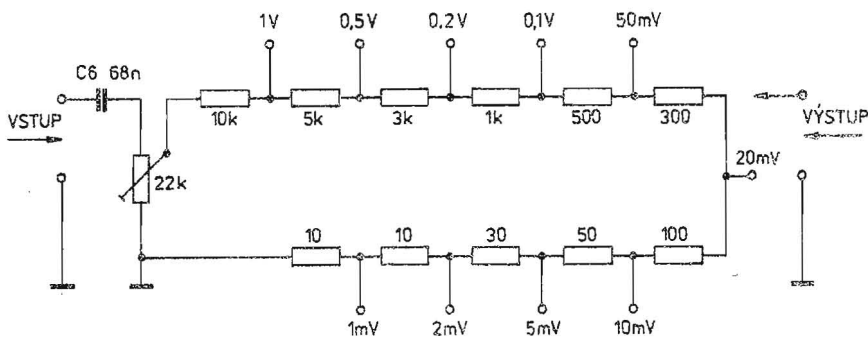


Obr.42b. Rozmístění součástek

přesné rezistory, stačí měřit úroveň napětí 1 V, kterou nastavíme trimrem 22 K Ω . Ostatní napětí pak musí odpovídat podle nastaveného děliče.



Obr.43. Průběh výstupního napětí na C 4



Obr.44. Výstupní dělič napětí

Zkoušečku můžeme doplnit o oscilátory 10 kHz a 100 kHz, případně jen 100 kHz a o dvě děličky deseti. Pak využijeme měřič tranzistorů i pro měření kondenzátorů pro měření při 10 kHz v rozsahu kapacit od 1k do 10k a při kmitočtu 100 kHz v rozsahu kapacit od 100 do 1000 pF. Měření kapacit je ale popsáno

na jiném místě. Jde nám především o měření tranzistorů. Kmitočet oscilátoru vypočteme

$$f = \frac{1}{3 RC} \quad /kHz, k\Omega, \mu F/$$

V našem případě bude

$$f_1 = \frac{1}{3 \cdot 0,47 \cdot 0,68} \approx 1,04 \text{ kHz}$$

$$f_2 = \frac{1}{3 \cdot 4,7 \cdot 50} = 1,4 \text{ Hz}$$

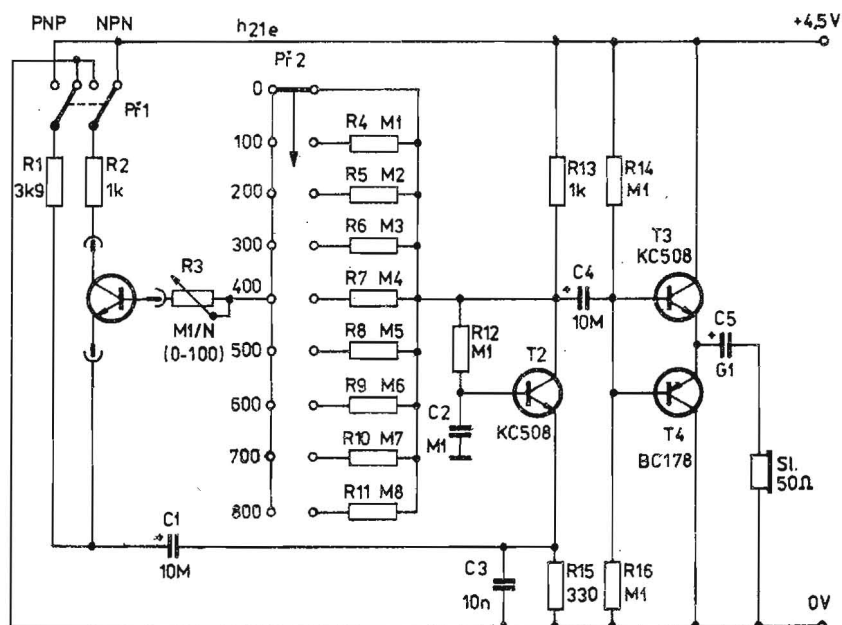
Tolerance C1 je značná +20 a -50 %/, proto bylo naměřeno 2 Hz. Výpočet je uveden pro případný výpočet jiného kmitočtu /10 kHz, 100 kHz/.

6.4. MĚŘENÍ ZESILOVACÍHO ČINITELE

Předešlé zkoušečky slouží ke zjišťování, zda je tranzistor dobrý nebo špatný. Tranzistory mají dnes velký rozsah proudových zesilovacích činitelů h_{21e}. Rozsah je od 10 do 800. V kroužcích často používáme tovární měřiče tranzistorů, které mají rozsah h_{21e} jen do 200. Na obr.45 je zapojení měřiče h_{21e} s rozsahem do 900. Další zvláštností je to, že se nepoužívá měřící přístroj. Princip měření spočívá v tom, že měřený tranzistor T1 tvoří s tranzistorem T2 multivibrátor. Tento oscilátor začne kmitat tehdy, když odpor vřazený do báze T1 bude rovný h_{21e}. Z výstupu multivibrátoru je vedeno střídavé napětí do nf zesilovače, který tvoří tranzistory T3, T4. Na výstup je zapojeno telefonní sluchátko 50 ohmů.

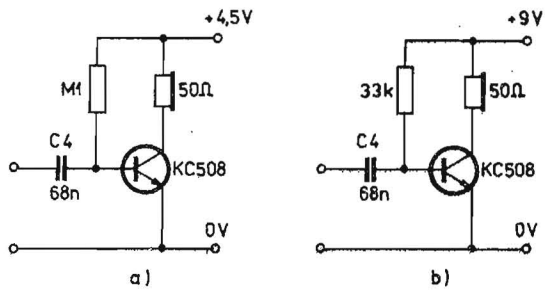
Bude-li zařazený odpor v bázi větší, nevznikne žádný tón.

Přepínačem zmenšujeme odpor, až se ozve tón. Pak ubíráme odpor pomocí potenciometru R3 až nalezneme rozhraní, kdy je tón souvislý a kdy začíná vynechávat. K hodnotě na přepínači přičteme hodnotu na R3 ocejchovanou v hodnotách 0 - 100. Polaritu tranzistoru volíme přepínačem Př1.

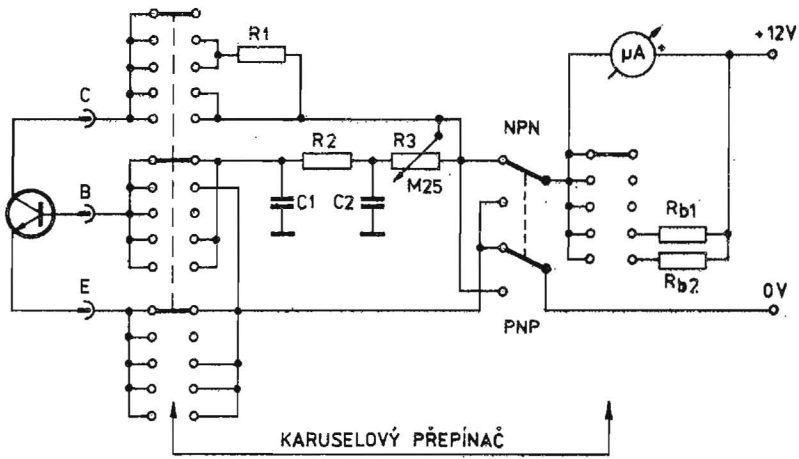


Obr.45. Měření proudového zesilovacího činitele

Zesilovač pro nf signál můžeme použít i jednodušší. Na obr. 46 je použit tranzistor KC508. Velmi dobrá hlasitost je při použití tranzistoru KF508, ale napájecí napětí je 9 V. Při tomto napětí přístroj pracuje uspokojivě.



Obr.46. Nizkofrekvenční zesilovač



Obr.47. Analogový měřič tranzistorů

6.5. ANALGOVÝ MĚŘIČ TRANZISTORŮ

Jednoduchý přístroj k měření tranzistorů můžeme zhotovit podle schématu na obr.47. Tento přístroj nejen zjišťuje stav tranzistoru, ale měří i zbytkové proudy I_{BEO} , I_{CBO} , I_{CEO} a zesilovací činitel tranzistoru podle vztahu

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

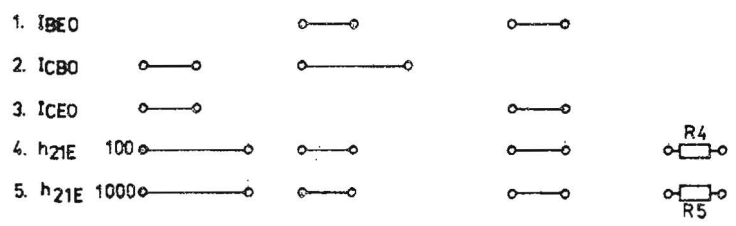
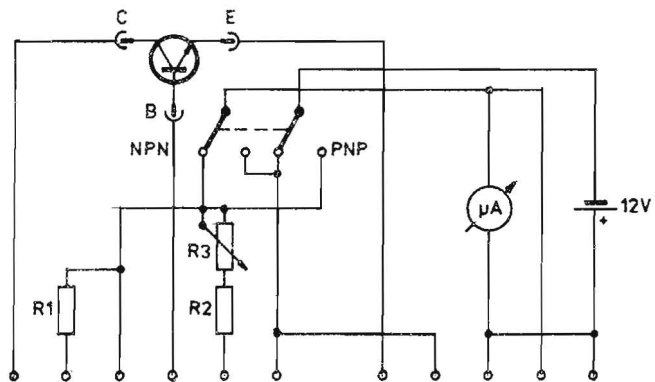
K měření je použit měřicí přístroj 500 $\mu\text{A}/\text{LV}$. V jednotlivých polohách měříme:

- I I_{BEO} - nastavíme potenciometrem M25 proud báze na 100 μA
- II I_{CBO}
- III I_{CEO}
- IV h_{21E} v rozsahu do 1000
- V h_{21E} v rozsahu do 100

Pro měření na rozsazích I až III postačuje původní rozsah měřicího přístroje 500 μA . Na rozsazích IV a V je rozsah zvětšen připojením bočniců čtvrtou sekcí přepínače na 10 mA a 100 mA. Způsob přepínání je poměrně složitý. Měřič proto vyžaduje mimo přepínače napájecího napětí pro tranzistory PNP a NPN nejméně čtyřnásobný pětipolohový přepínač. K tomu lze využít karuselu ze staršího televizního tuneru. Zde pro sběrací lištu přivedeme označené vývody podle obr.48 a kontakty na jednotlivých lištách je propojujeme podle požadavku.

Schéma zapojení karuselu jako přepínače je na obr.48. Pro napájení měřiče bylo použito napětí 12 V. Použitému napětí je nutno přizpůsobit velikost rezistorů R_1 a R_2 a velikost bočniců R_{b1} a R_{b2} .

Velikost rezistoru R1 volíme tak, aby při zkratu v měřeném tranzistoru C-B do CE protékal měřicím přístrojem jmenovitý proud. Velikost rezistoru R2 zvolíme tak, aby bylo možno pro křemíkové i germaniové tranzistory nastavit požadovaný proud



Obr.48. Zapojení přepínacích lišt měřiče

100 μ A. V poloze přepínače I CBO můžeme mezi kontakty C a B ověřovat i kvalitu polovodičových diod. Maximální proud při zkratované diodě je opět omezen rezistorem R1.

Při měření tranzistorů připojíme tranzistor do vhodných svorek, např. do objímky. Přepínačem přepínáme jednotlivé rozsahy v uvedeném pořadí. Ukáže-li měřicí přístroj v polohách I až III maximální výchylku, má tranzistor vnitřní zkrat.