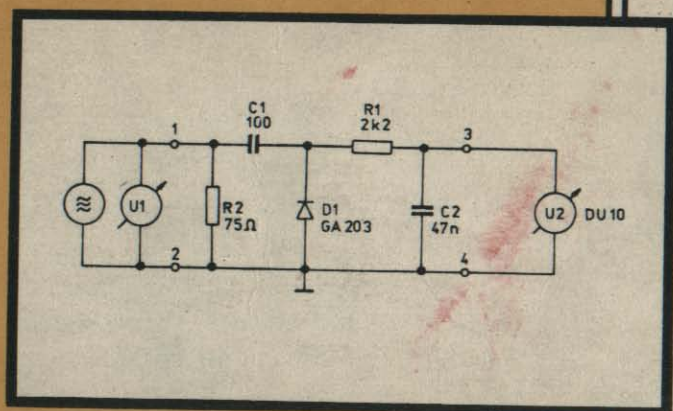


# STAVEBNÍ NÁVODY PRO RADIOTECHNIKU

JAN BOCEK

7 Střídavá měření  
v amatérské radiotechnice



ÚV SVAZU PRO SPOLUPRÁCI S ARMÁDOU

# STAVEBNÍ NÁVODY PRO RADIOTECHNIKU

JAN BOCEK

## **7** Střídavá měření v amatérské radiotechnice

ÚV SVAZU PRO SPOLUPRÁCI S ARMÁDOU

## OBSAH

1.	Úvod . . . . .	7
2.	Měření vysokofrekvenčního napětí . . . . .	9
2.1	Měření napětí pomocí širokopásmového zesilovače . . . . .	19
2.2	Měření napětí do kmitočtu 1 MHz . . . . .	26
2.3	Lineární diodový milivoltmetr do 500 MHz . . . . .	28
2.4	Voltmetr s velkým vstupním odporem . . . . .	28
3.	Měření vysokofrekvenčních proudů . . . . .	31
4.	Měření vysokofrekvenčního výkonu . . . . .	34
4.1	Logaritmický měřič vf výkonu . . . . .	43
5.	Měření impedancí . . . . .	45
5.1	Místkový měřič impedance . . . . .	48
5.2	Výkonový měřič impedance . . . . .	57
5.3	Měření vstupní a výstupní impedance zesilovačů . . . . .	62
5.4	Měření charakteristické impedance vedení . . . . .	65
5.5	Měření činitele zkrácení u vedení . . . . .	66
6.	Měření rezonance . . . . .	68
6.1	Měření rezonance pomocí GDO . . . . .	76
6.2	Elektronkový GDO . . . . .	79
6.3	Tranzistorový GDO . . . . .	86
7.	Měření kmitočtu absorbním vlnoměrem . . . . .	95
8.	Vysokofrekvenční generátory . . . . .	98
8.1	Jednoduchý generátor 500 kHz až 2 MHz . . . . .	101
8.2	Generátor s rozsahem 0,1 až 30 MHz . . . . .	103
8.3	Generátor se stabilizací výstupního napětí . . . . .	107
	Použitá literatura . . . . .	114

---

---

## 1. ÚVOD

---

Měření je prostředek k hodnocení vlastností objektů a procesů. Srovnáváme při něm skutečnost s mezinárodně dohodnutými jednotkami. S rostoucími požadavky na úroveň techniky se zvyšují i nároky kladené na jakost měřících přístrojů a zařízení.

Měření je užitečné a ekonomické tehdy, zvolíme-li správný měřící přístroj a metodu. Druhů měřících přístrojů pro střídavá měření v amatérské radiotechnice je značný počet. Má-li tento stavební návod splnit svůj účel, nemůže zabíhat do přílišných detailů. Proto jsou vybrány jen některé návody, které se osvědčily v amatérských podmínkách. Mnohé přístroje byly také v poslední době uveřejněny, proto jsou na ně jen odkazy.

Měřící přístroje se dají rozřadit podle různých hledisek. V těchto stavebních návodech jsme zvolili třídění podle potřeby měření.

### 1. Měření základních veličin

- a/ měření stejnosměrného napětí a proudu
- b/ měření střídavého napětí a proudu
- c/ měření vlastností aktivních součástek

### 2. Měření vlastností pasivních součástek

- a/ měření R
- b/ měření L

c/ měření C

d/ měření RLC

### 3. Střídavá měření

a/ měření vysokofrekvenčního napětí a proudu

b/ měření vysokofrekvenčního výkonu

c/ měření impedance

d/ měření rezonance

e/ zdroje  $\omega f$  a  $n f$  kmitů

Do základní skupiny měřících přístrojů pro střídavá měření patří také osciloskop. Do speciální skupiny pak rozmítač, selektivní voltmetr, můstky pro měření impedance a fáze, logaritmické voltmetry, šumové generátory, Q-metry, analyzátory spektra a delší přístroje. Většinou se jedná o složité a nákladné přístroje. Každý takový měřící přístroj vyžaduje samostatný stavební návod. Pokud je vlastní návod doplněn základní teorií a návody na použití, pak se obsah tématu rovná obsáhlé knize.

Proto přístroj pro sledování průběhů elektrických veličin, osciloskop, nebyl do tohoto stavebního návodu zařazen.

V úvodu tohoto návodu je nutno také se zmínit o bezpečnosti, jak při stavbě elektronických přístrojů, tak při měření. Kvalifikace pracovníků v elektrotechnice je určena ve Sbírce zákonů č.50/1978. Vyhláška řeší, jak nabyt potřebné kvalifikace. Požadavky na kvalifikaci pak stanoví ČSN 34 3100. ČSN 34 1010 stanoví bezpečné napětí, s kterým je možno pracovat bez zvláštní elektrotechnické kvalifikace. Aby se vyhovělo nejnepříznivějším podmínkám, stanoví uvedená norma napětí 24 V stejnosměrných, případně 12 V střídavých. Při tomto napětí nehrozí nebezpečí.

úrazu elektrickým proudem. Je nutno připomenout, že i měření je práce na elektrickém zařízení, ke které musí být elektrotechnická kvalifikace.

Převedeno do praxe, musí mít pracovník, který sestaví síťový zdroj, patřičnou elektrotechnickou kvalifikaci. V krajním případě musí sestavený zdroj zkontrolovat a proměřit ještě před uvedením do provozu pracovník, který má elektrotechnickou kvalifikaci a je řádně přezkoušen podle vyhlášky č.50/78. Používá-li se takový přístroj v radioklubu anebo v kroužku mládeže, musí být vystaven protokol o měření a přístroj musí být pravidelně revidován. V zásadě platí, že přístroj, který je napájen ze sítě:

- a/ má dvojitou izolaci a pak může být napojen jen dvěma vodiči
- b/ má-li kovové části bez dvojitě izolace, musí být vždy připojen pomocí třížilové šňůry se správným připojením ochranného vodiče. Odpor ochranného vodiče mezi dutinkou zástrčky a kostrou přístroje se musí měřit a nesmí přesáhnout hodnotu 0,1 ohmů. Toto měření se musí provést proti všem dostupným kovovým částem přístroje. Z toho také plyne, že všechny kovové části přístroje musí být pospojované.

---

## **2. MĚŘENÍ VYSOKOFREKVENČNÍHO NAPĚTÍ**

---

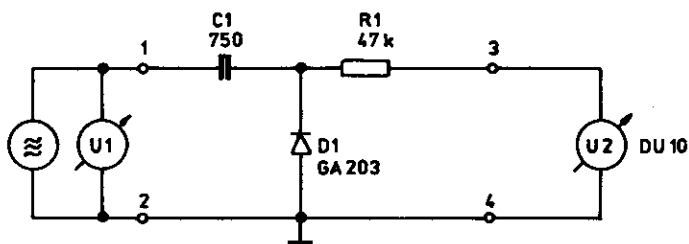
Použitelnost klasických měřících přístrojů k měření střídavého napětí je značně omezená pro nevyhovující kmitočtový rozsah, citlivost nebo vstupní impedanci. Výrazně lepších vlast-

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

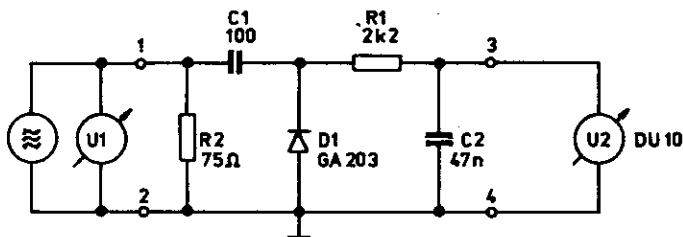
Obr.1. Výběr usměrňovačů /střídavých sond/ k měření střídavého napětí

ností dosáhneme tím, že k ručkovému měřicímu přístroji přidáme elektronickou část. Úkolem elektronické části je pak zpracovat měřená střídavá napětí tak, aby ručkový přístroj mohl ukazovat měřenou hodnotu. Pro vyšší úrovně napětí obvykle stačí předřadit jednoduchý usměrňovač. Výběr těchto měřicích sond je na obr.1. V případě 1 a 2 se jedná o paralelní detekci, kdy se získává vrcholová hodnota střídavého napětí. Závislost usměrňovaného napětí na amplitudě měřeného napětí je od 100 mV téměř lineární a pro napětí menší než 50 mV je přibližně kvadratické.

Konkrétní zapojení je na obr.2 a naměřené hodnoty jsou v tab. 1 a 2. Z měření je zřejmá frekvenční závislost usměrňovače. Na obr.3 je zapojení sondy se vstupním odporem 75 ohmů. Závislost



Obr.2. Jednoduchý usměrňovač k měření  $v_f$  napětí



Obr.3. Usměrňovač se vstupním odporem 75 ohmů



Tabulka 1. Detektor podle obr.2, měřeno v rozsahu 3,5 až 10 MHz

$f = 3,5 \div 10$  MHz

U1 [mV]	U2 [mV]	Rozsah
300	85	300 mV
400	325	3 V
500	425	3 V
600	500	3 V
700	600	3 V
800	700	3 V
900	775	3 V
1000	875	3 V

Tabulka 2. Detektor podle obr.2, měřeno v rozsahu 1 až 3,5 MHz

$f = 1 \div 3,5$  MHz

U1 [mV]	U2 [mV]	Rozsah
100	50	3 V
200	150	3 V
300	250	3 V
400	350	3 V
500	450	3 V
600	550	3 V
700	650	3 V
800	750	3 V
900	850	3 V
1000	950	3 V

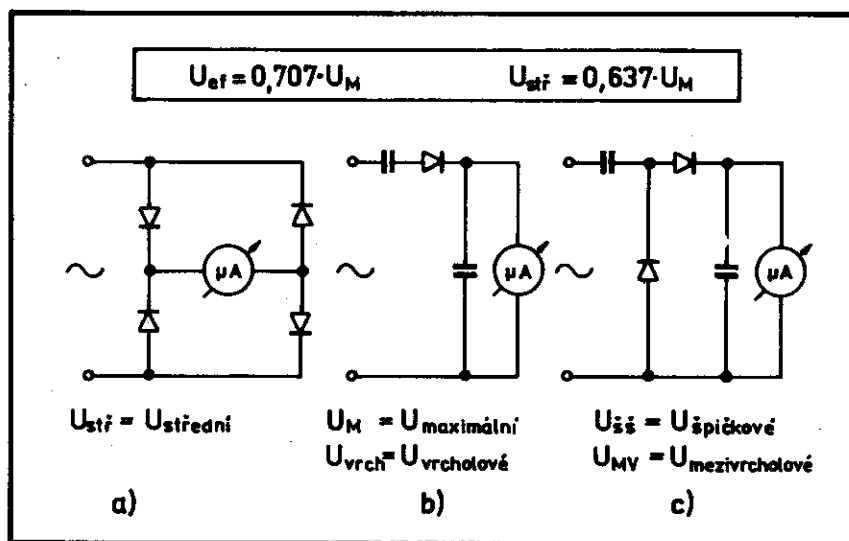
U1/U2 je téměř lineární, jak vyplývá z tab.3. Obě zapojení jsou velmi výhodná pro svou jednoduchost a dobrou linearitu v širokém frekvenčním rozsahu. Těchto sond se používá do kmitočtu až 300 MHz.

Tabulka 3. Detektor podle obr.3, měřeno v rozsahu 1 až 10 MHz

$f = 1 \div 10$  MHz

$U_1$ ef [mV]	$U_2$ vrch. [mV]	Rozsah
300	305	3 V
400	395	3 V
500	505	3 V
600	600	3 V
700	700	3 V
800	800	3 V
900	900	3 V
1000	1010	3 V

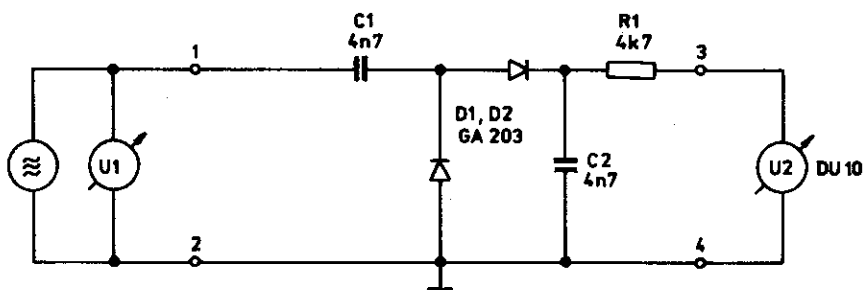
Diodové usměrňovače na obr.4 dávají podle svého zapojení stejnosměrný signál úměrný buď střední hodnotě /obr.4a/, vrcholové hodnotě /obr.4b/ nebo mezivrcholové hodnotě střídavého har-



Obr.4. Vztahy mezi napětím pro různé usměrňovače

monického napětí /obr.4c/. Většina střídavých voltmetrů je ale cejchována v efektivní hodnotě, bez ohledu na to, jaká hodnota je na výstupu usměrňovače. K měření efektivní hodnoty neharmonického napětí je vhodný usměrňovač v můstkovém zapojení podle obr.4a/, který však potřebuje dostatečné vstupní napětí, aby diody pracovaly ve třídě B. Jinak se musí upravit kvadratický průběh charakteristiky.

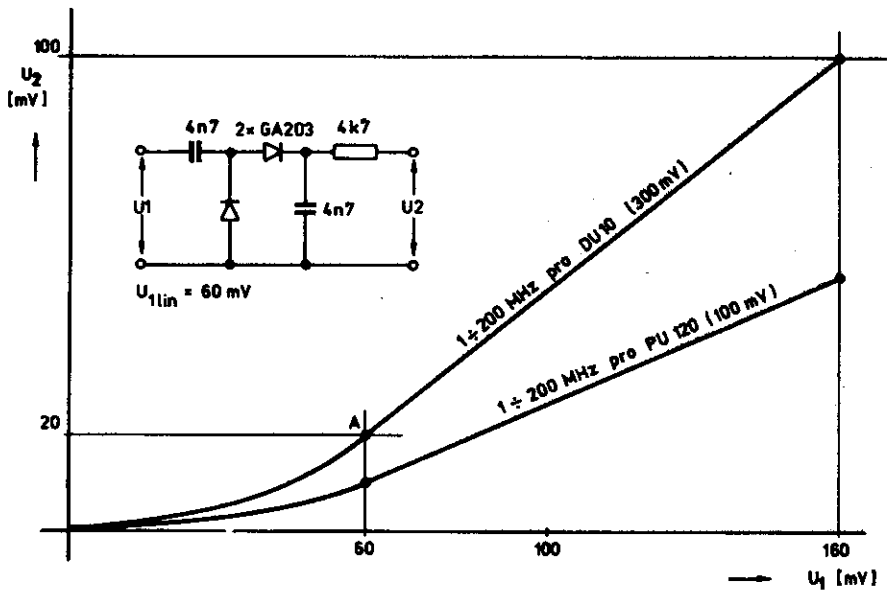
Na obr.5 je zapojení usměrňovače, označovaného jako zdvojo-vač napětí. Tento usměrňovač pracuje v lineární oblasti od



Obr.5. Usměrňovač se zdvojovačem napětí

vstupního napětí 60 mV, jak vyjadřuje grafická závislost na obr. 6. Rozlišovací schopnost při použití měřidla s 50 k $\Omega$ /V jako je DU 10, je podle tabulky 5 asi 15 až 20 mV. Použitím milivoltmetru, např. s operačním zesilovačem podle obr.7, lze indikovat hodnotu menší než 1 mV při základním rozsahu 10 mV. Nutno upozornit, že křemíkové diody pro usměrnění malých napětí jsou nevhodné. Názorně to ukazuje obr.8.

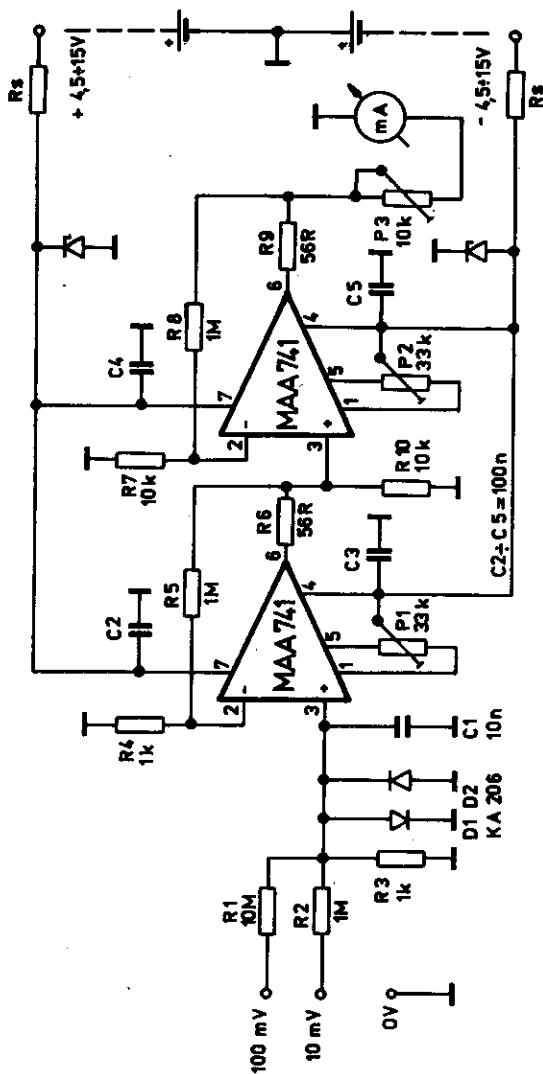
Podle obr.1 platí, že chceme-li měřit nižší napětí než 60 mV



Obr.6. Přenosová charakteristika detektoru podle obr.5

Tabulka 4. Detektor podle obr.5, měřeno při kmitočtu 1 MHz  
 $f = 1$  MHz

$U_1$ mV	$U_2$ mV	Rozsah
100	150	3 V
200	225	3 V
300	600	3 V
400	495	3 V
500	645	3 V
600	780	3 V
700	930	3 V
800	1080	3 V
900	1230	3 V
1000	1380	3 V



Obz. 7. Elektronický voltmetr s velkým vstupním odporom

Tabulka 5. Detektor podle obr.5, měřeno v rozsahu 1 až 10 MHz

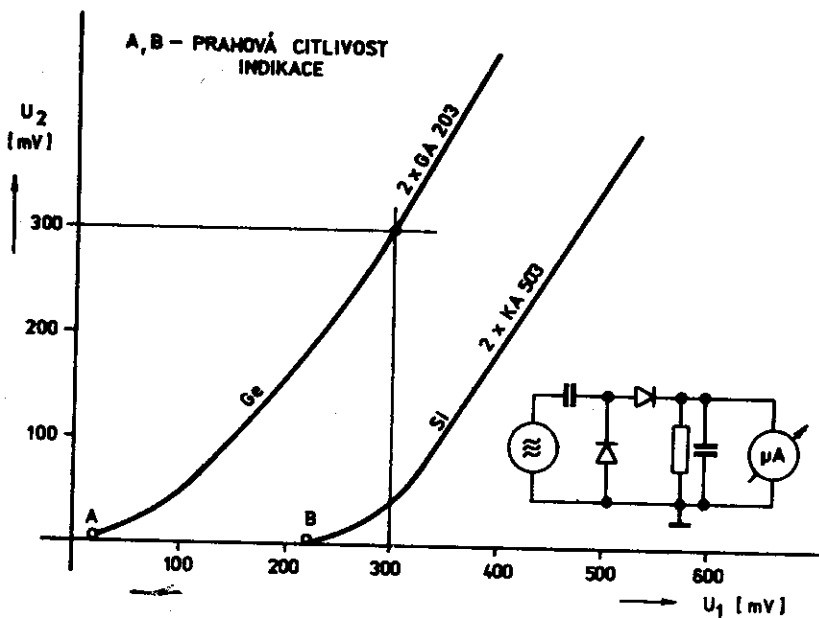
$f = 1 \div 10$  MHz

U1 [mV]	U2 [mV]	Rozsah
340	300	300 mV
300	250	300 mV
260	200	300 mV
220	150	300 mV
160	100	300 mV
100	50	300 mV
70	25	300 mV
60	20	300 mV
52	15	300 mV
40	10	300 mV
26	5	300 mV
18	2,5	300 mV

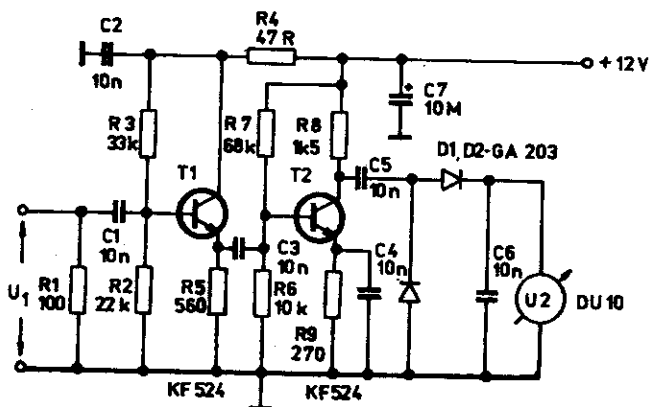
Tabulka 6. Detektor podle obr.5, měřeno při kmitočtu 10 MHz

$f = 10$  MHz

U1 [mV]	U2 [mV]	Rozsah
100	150	3 V
200	210	3 V
300	330	3 V
400	450	3 V
500	570	3 V
600	675	3 V
700	840	3 V
800	960	3 V
900	1110	3 V
1000	1230	3 V



Obr.8. Přenosová charakteristika Ge a Si diody

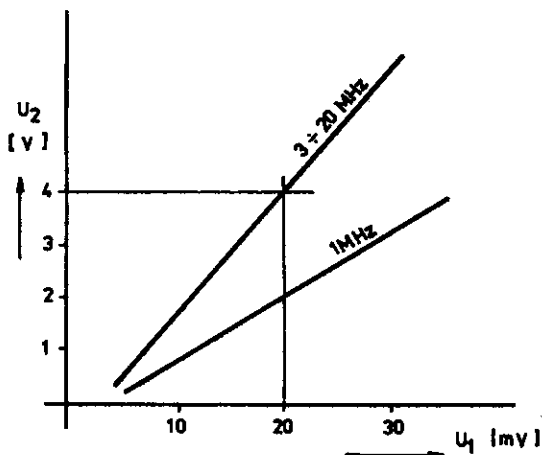


Obr.9. Zesilovač pro měření vř napětí od 10 mV

s lineární stupnicí, musíme měřená napětí nejdříve zesílit. Princip měření ukazuje obr.1 na 4. a 5. příkladu.

## 2.1 MĚŘENÍ NAPĚTÍ POMOCÍ ŠIROKOPÁSMOVÉHO ZESILOVAČE

Poměrně často měříme napětí na nízké impedanci. Proto je také vstup zesilovače podle obr.9 zakončen odporem 100 ohmů. Ná-

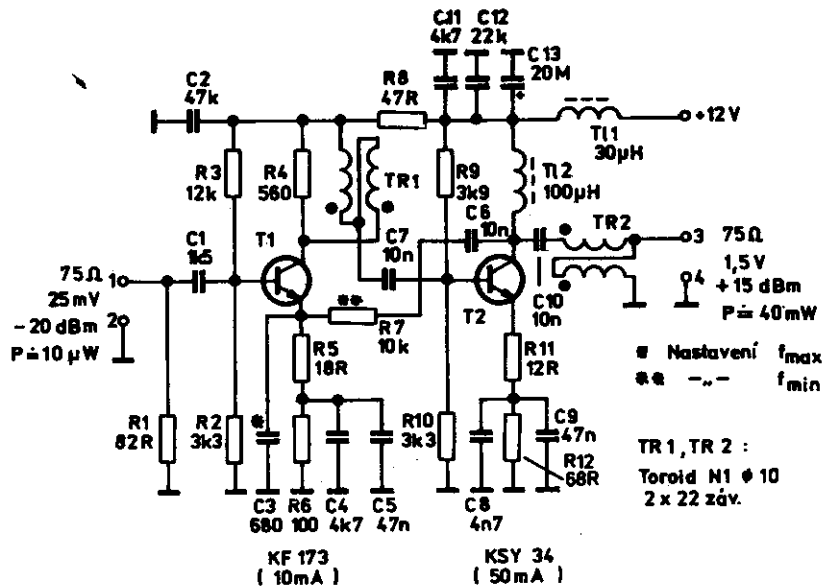


Obr.10. Frekvenční závislost zesilovače podle obr.9

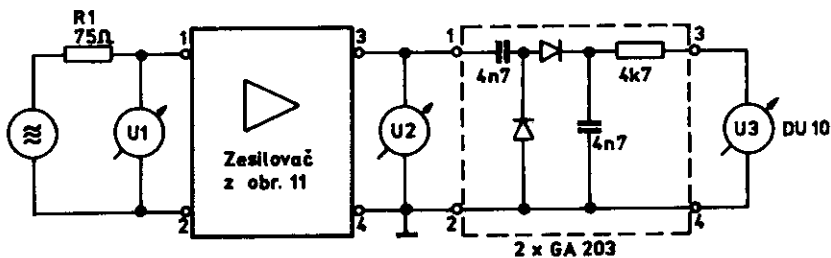
sleduje emitorový sledovač a zesilovač se společným emitorem. Při vstupním napětí 10 mV je výstupní napětí asi 2 V v kmitočtové oblasti 3 až 20 MHz. Frekvenční závislost na obr.10 je dána použitými vazebními a blokovacími kapacitami. Zesilovač byl určen pro měření v amatérských pásmech 80, 40 a 20 m.

Pro měření napětí od 100 mikrovoltů byl vyvinut zesilovač podle obr.11. Vstupní a výstupní odpor zesilovače je 75 ohmů. Transformace impedancí je pomocí širokopásmových transformátorů





Obr.11. Širokopásmový zesilovač se zesílením 35 dB pro kmitočty 1 až 30 MHz

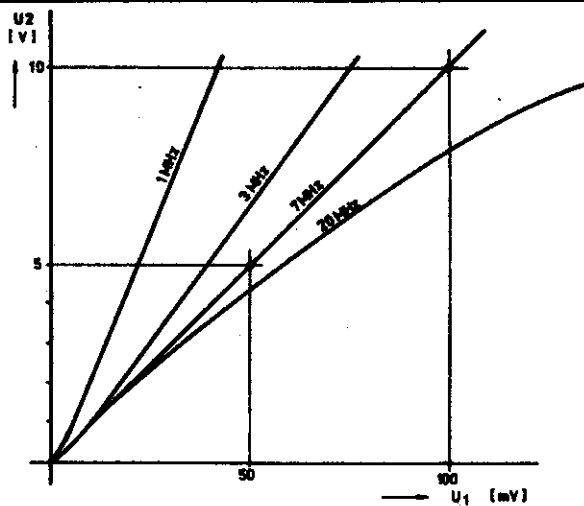


Obr.12. Měření napětí v rozsahu 0,3 až 50 mV

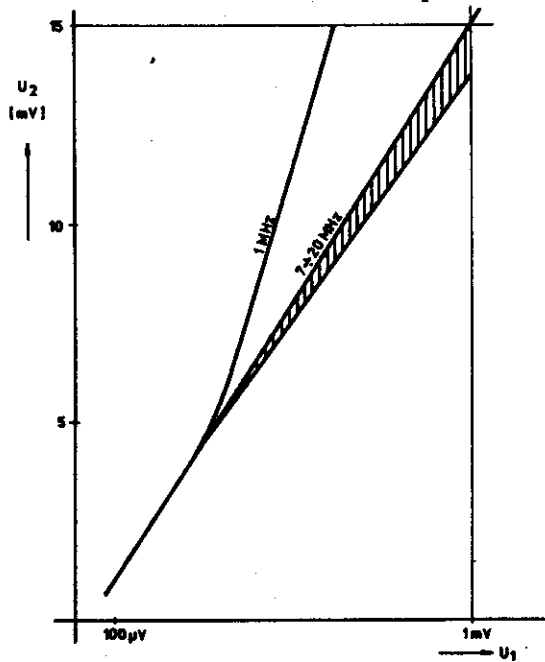
TR1 a TR2. Tranzistor T2 je opatřen chladičem. Konkrétní zapojení voltmetru je na obr.12. Měřicí přístroj je DU 10. Výsledky měření jsou v tab.7, 8, 9. Pro každý zesilovač je nutné proměřit frekvenční závislost. Obr.13 vyjadřuje chybu měření při kmitočtu 10 MHz a 3 MHz, která je až 50 %. Pro úrovně napětí do 1 mV slouží obr.14. Při vstupním napětí 100 mikrovoltů je výstupní napětí voltmetru 1 mV. Cejchování křivky platí pro vstupní odpor určitého měřidla. Rozdílnost cejchování je patrná z obr.6.

Tabulka 7. Měření pomocí zesilovače na obr.11 při kmitočtu 1 MHz  
 $f = 1 \text{ MHz}$

U1 [mV]	U2 [mV]	U3 [mV]	Rozsah DU10
0,35	25	5	300 mV
0,54	40	10	300 mV
0,67	50	15	300 mV
0,80	57	20	300 mV
0,90	64	25	300 mV
1,0	72	30	300 mV
1,3	95	50	300 mV
2,0	140	100	300 mV
2,5	180	150	300 mV
3,0	220	200	300 mV
3,5	260	250	300 mV
4,0	300	300	300 mV
3,5	260	500	3 V
6,6	460	1000	3 V
9,5	660	1500	3 V
12	850	2000	3 V
15	1000	2500	3 V
18	1200	3000	3 V
25	2300	6000	6 V



Obr.13. Frekvenční závislost voltmetru podle obr.12



Obr.14. Frekvenční závislost voltmetru pro vstupní napětí do 1 mV

Tabulka 8. Měření pomocí zesilovače na obr.11, při kmitočtu 20 MHz

$f = 20 \text{ MHz}$

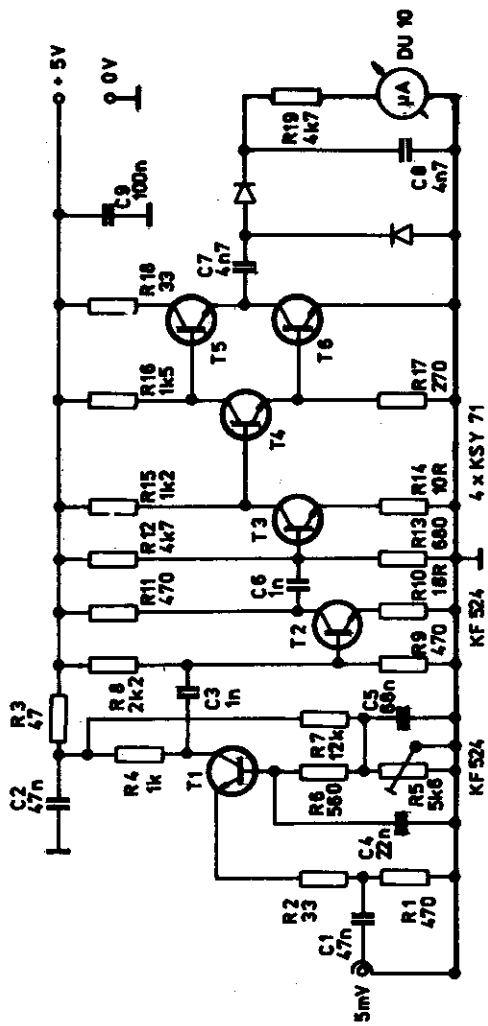
U1 [mV]	U2 [V]	U3 [V]	Rozsah DU10	Ri DU10 [k $\Omega$ ]
25	1,1	2,5	3 V	150
50	1,9	4,2	6 V	300
70	2,7	6	6 V	300
100	3,5	8	12 V	600
150	5	10	12 V	600

S větším počtem tranzistorů lze realizovat širokopásmový zesilovač v pásmu od 1 MHz do 100 MHz podle obr.15. Vstup zesilovače je 75 ohmů. První stupeň tvoří zesilovač s uzemněnou bází, následují dva nepřechodové zesilovače a koncový stupeň s tranzistory T4, 5, 6. Zesílení zesilovače je značné a vyžaduje stínění mezi jednotlivými stupni. U měřeného vzorku nepřesáhlo zvlnění v kmitočtovém rozsahu do 100 MHz  $\pm$  1 dB.

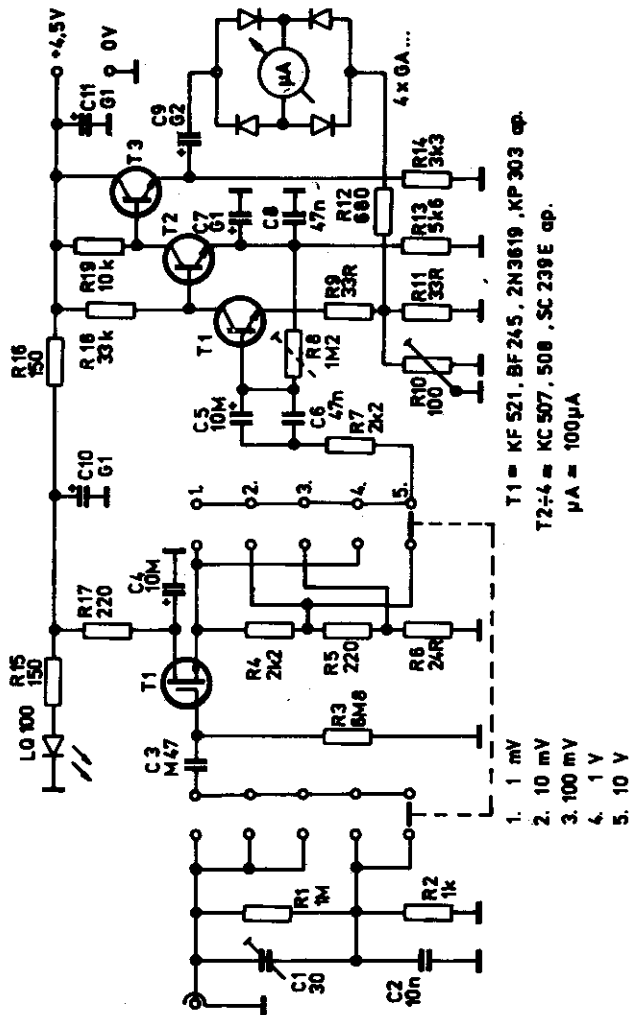
Tabulka 9. Měření pomocí zesilovače na obr.11, při kmitočtu 7 MHz

$f = 7 \text{ MHz}$

U1 [mV]	U2	U3	Rozsah DU10	Ri DU10 [k $\Omega$ ]
0,1	5 mV	1 mV	300 mV	15
1,0	50 mV	15 mV	300 mV	15
10	0,52 V	1,1 V	3 V	150
100	4,8 V	10 V	12 V	600



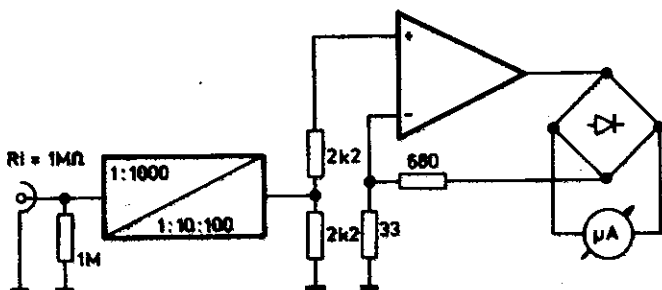
Obr.15. Měřicí zesilovač pro kmitočty 1 až 100 MHz



Obr.16. Střídavý milivoltmetr pro kmitočty do 100 kHz

## 2.2 MĚŘENÍ NAPĚTÍ DO KMITOČTU 1 MHz

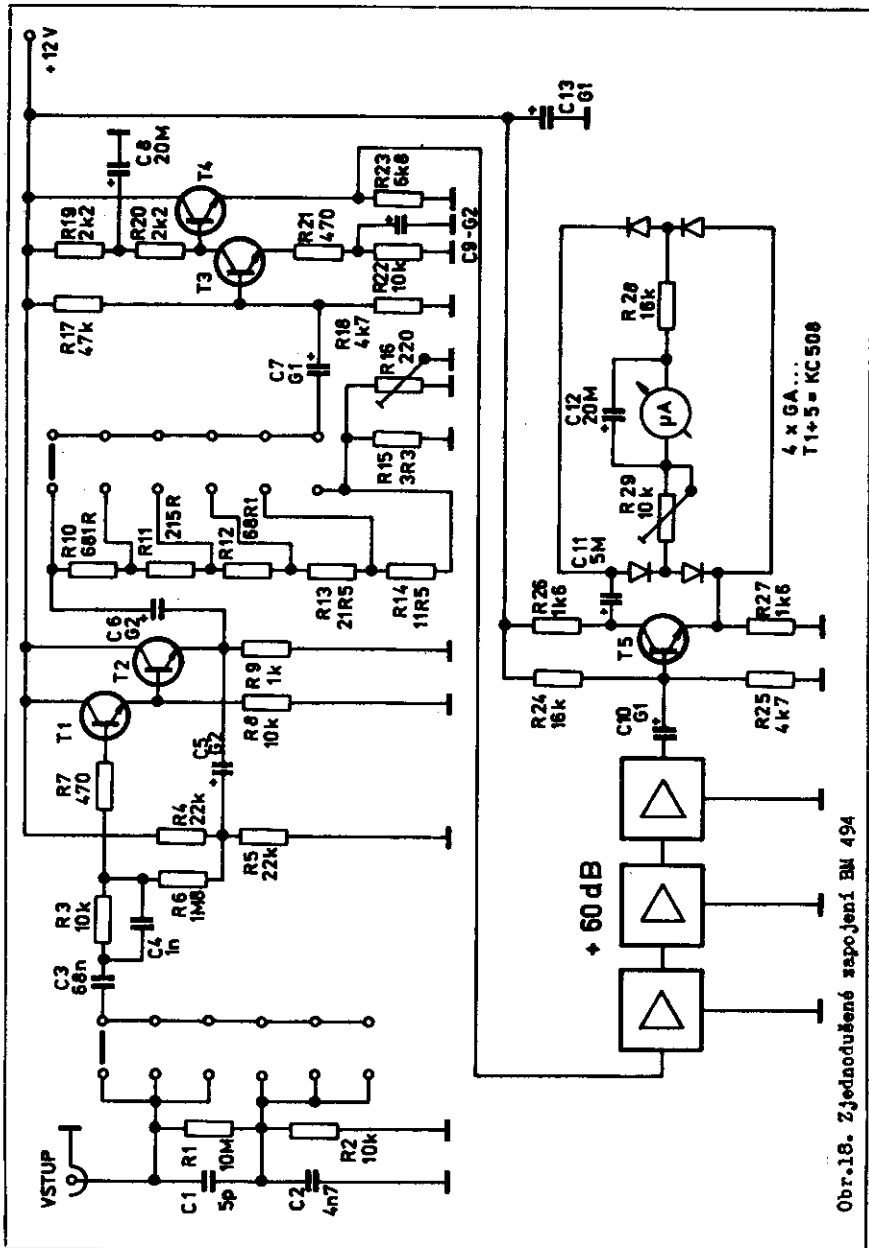
Pro vážnější práci se vyplatí postavit střídavý voltmetr s velkým vstupním odporem a citlivostí 1 mV na celou stupnici. Tímto voltmetrem odečteme ještě drovoň okolo 10 mikrovoltu. Zapojení voltmetru je na obr.16. Princip vyjadřuje obr.17. Tranzistor T1 tvoří impedanční převodník. Následuje zesilovač s velkým ziskem, v jehož zpětné vazbě je zařazen usměrňovač v můstkovém zapojení. Tento voltmetr je určen pro nízkofrekvenční měření do 100 kHz. Lze s ním informativně měřit až do 1 MHz.



Obr.17. Blokové schéma voltmetru

Na obr.18 je zjednodušené zapojení přístroje BM 494, který má největší citlivost 1 mV na plnou výchylku a měří v rozsahu do 1 MHz. Zapojení je podobné jako na obr.16. Tranzistor typu FET můžeme nahradit dvojicí T1, T2 na obr.18.

Tato zapojení jsou uvedena pro názornou ilustraci poměrné složitosti širokopásmového zesilovače. Není-li zesilovač dobře kompenzován, nedosáhneme lineárního průběhu na všech rozsazích a musíme zhotovit individuální stupnice pro každý měřicí rozsah.



Obr.18. Zjednodušené zapojení BM 494



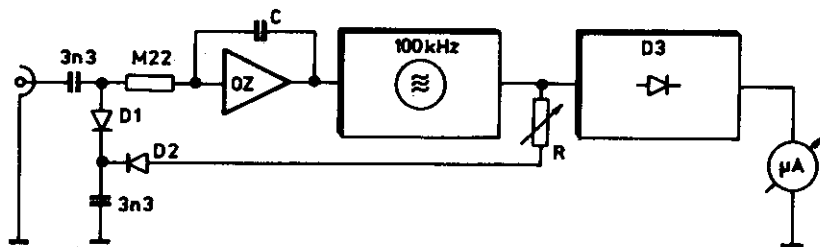
## 2.3 LINEÁRNÍ DIODOVÝ MILIVOLTMETR DO 500 MHz

Princip měřicí metody je na obr.19. Usměrňovač D3 usměrňuje napětí oscilátoru 100 kHz, jehož amplituda se řídí výstupním stejnosměrným napětím z operačního zesilovače. OZ je řízen rozdělem usměrňovaného napětí na D1 a D2. Tímto způsobem lze dosáhnout citlivosti 10 mV na plnou výchylku měřicího přístroje, přičemž je stupnice lineární.

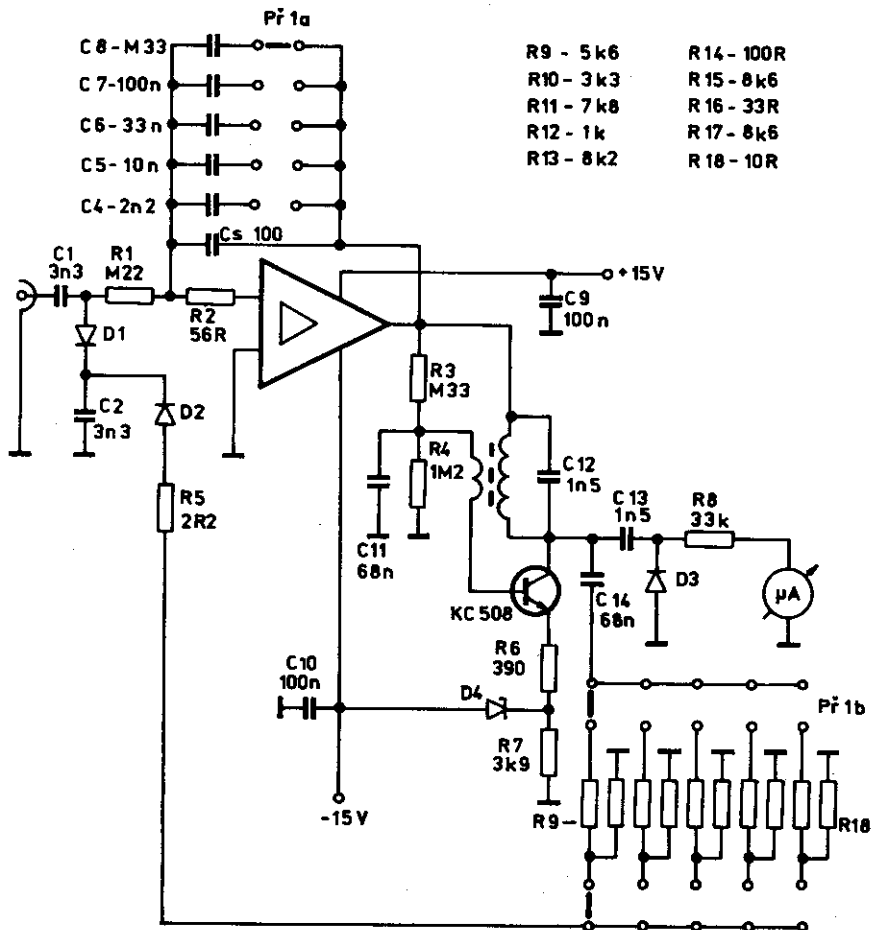
Jedná se vlastně o srovnávací metodu s automatickou kompenzací. Na obr.20 je konkrétní zapojení, které jako první užívala firma Hewlett - Packard. Z přístrojů TESLA využívá stejné zapojení přístroj BM 495 a BM 518. Výhodou tohoto řešení je jediná lineární stupnice pro všechny rozsahy. Usměrňovací část voltmetru je řešena jako sonda s velmi krátkými přívody. Tak lze dosáhnout kmitočtu až 500 MHz.

## 2.4 VOLTMETR S VELKÝM VSTUPNÍM ODPorem

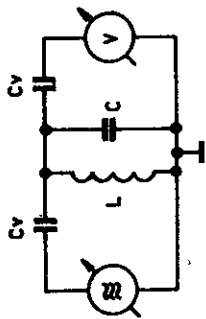
Někdy potřebujeme měřit napětí na vysoké impedanci, např. na obvodu v rezonanci. Příklad použití je na obr.21. Zapojení voltmetru s vysokým vstupním odporem je na obr.22. Je použito diferenčního zapojení. Dvojitý emitorový sledovač zabezpečuje velký vstupní odpor. Zesílení operačního zesilovače je závislé na citlivosti použitého měřidla. Zapojení je převzato z ARA 8/81, kde je použito jako voltmetru při měření činitele Q cívek. V uvedeném zapojení byla plná výchylka při napětí 100 mV. Rozsah lze upravit pomocí rezistorů R1, R2. Vzorek byl zkoušen do 50 MHz.



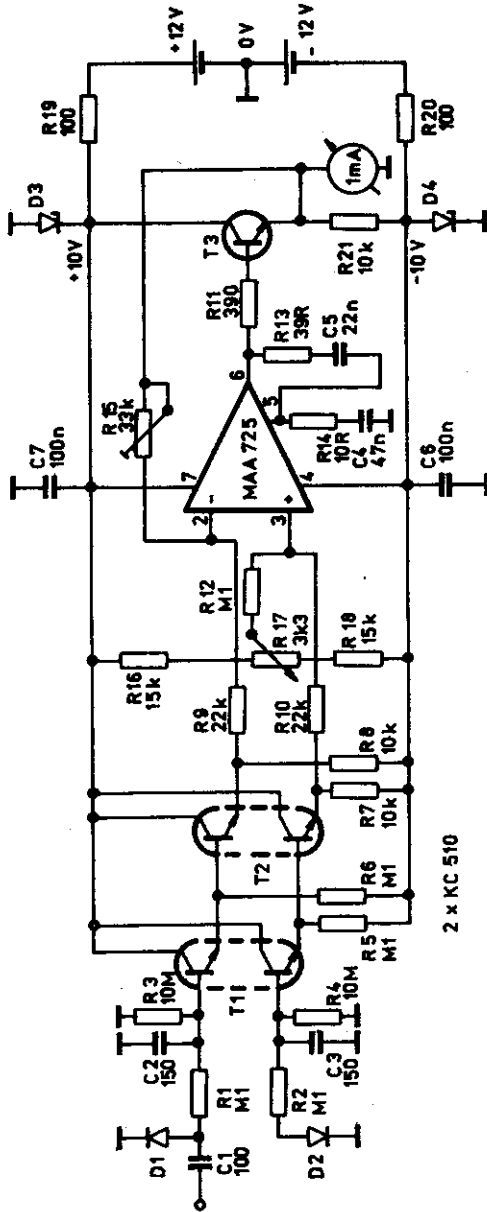
Obr.19. Blokové schéma milivoltmetru s rozsahem do 500 MHz



Obr.20. Zjednodušené schéma BM 495



Obr.21. Rezonanční metoda měření napětí



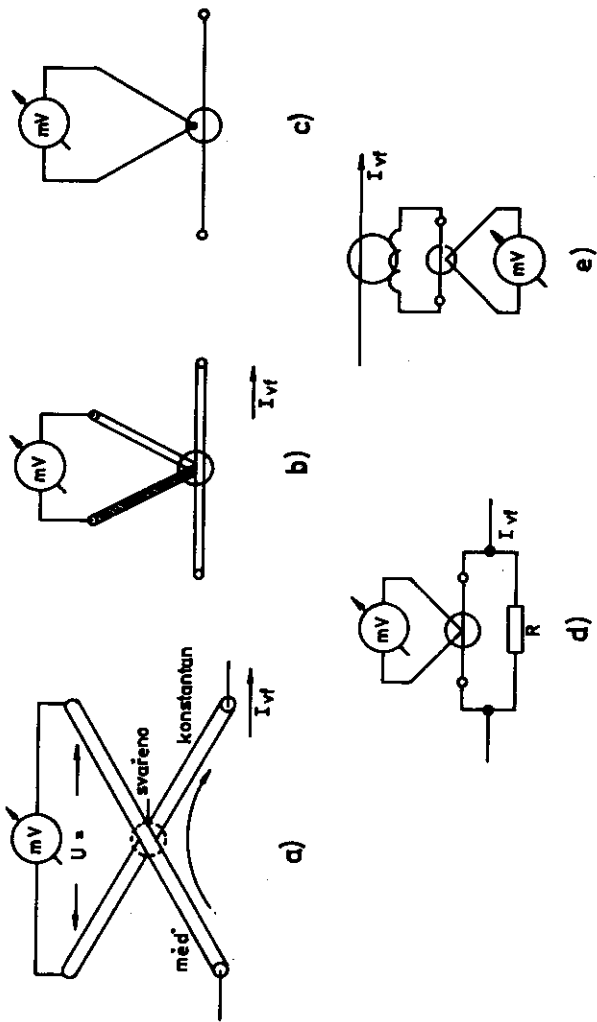
Obr.22. Střídavý milivoltmetr

### 3. MĚŘENÍ VYSOKOFREKVENČNÍCH PROUDŮ

Měření proudů při vysokých kmitočtech se provádí přímo anebo nepřímě. V prvním případě se používá termoelektrických měničů /termokřivů/. Ve styku dvou materiálů, podle obr.23a/, vzniká vlivem ohřevu dvou materiálů stejnosměrné napětí. Napětí je závislé na materiálech a teplotě v místě styku. Výchylka přístroje s termoelektrickým měničem je úměrná výkonu potřebnému na ohřátí termočlánku. Je tedy úměrná efektivní hodnotě proudu, který tělískem prochází. To je velká výhoda tohoto měření, protože nezáleží na tvaru průběhu proudu. Výkon roste s proudem kvadraticky, pak bude stupnice také přibližně kvadratická. Počátek stupnice je velmi zhuštěný, a proto se používá /cejchuje/ stupnice asi od 20 % výchylky výše.

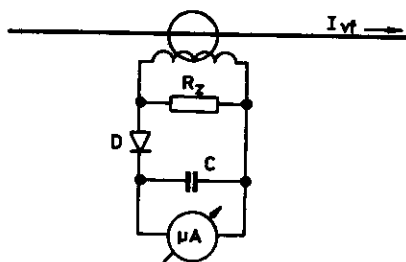
Běžný rozsah měření je asi do 500 MHz. Lze měřit daleko vyšší kmitočty, ale termočlánek se musí zvlášť upravit. S koaxiálním provedením lze měřit kmitočty do několika GHz. Termočlánek podle obr.23b/ lze vyrobit i amatérsky. Výhodou je, že můžeme použít slabé dráty termočlánku. Obvykle je termočlánek řešen podle obr.23c/, kdy jsou oba obvody zcela odděleny. Takto jsou vyráběny vakuové termočlánky pro proudy 1 až 500 mA. Zvětšit rozsah ampérmetru lze podle obr.23d/ a 23e/. Měření pomocí termočlánku je v amatérské praxi obvykle závislé na typu termočlánku, který vlastnime. Bylo naznačeno, že lze termočlánek i vyrobit amatérsky.

Výrobu takového článku popsal ing. Jiří Vačkář, CSc ve Škole měřicí techniky /AR 2/76/. Podle obr.23a/ překřížíme dva drátky a ve vhodném přípravku je napneme tak, aby se vzájemně

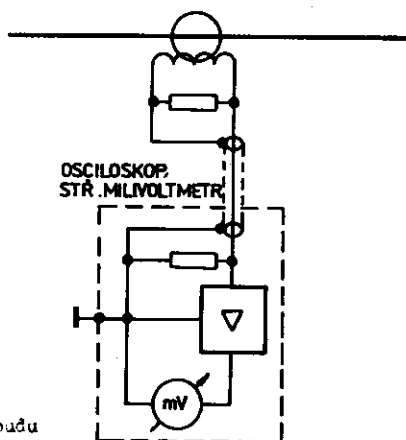


Obr.23. Termoelektrické články pro měření vf proudu

nedotýkaly. Oba drátky připojíme na nabitý kondenzátor o kapacitě nejméně 100  $\mu\text{F}$  pro napětí 25 až 50 V a místo překřížení spojíme. Vznikne tak malý svar. Při proudu asi 50 mA bude napětí 20 mV. Takto vyrobený ampérmetr musíme vždy ocejchovat. Ampérmetr měří efektivní úroveň střídavého proudu. Ze základů elektrotechniky je známo, že efektivní hodnota střídavého proudu je taková velikost, jako má stejný efekt určité veličiny stejnosměrného proudu. Proto stačí obvod připojit k regulačnímu stejnosměrnému zdroji a pomocí dalšího ampérmetru ocejchovat.



Obr.24. Transformátor pro měření proudu



Obr.25. Měření vf proudu

Většinou se dnes měří vf proudy pomocí transformátoru proudu. Příklad měření je na obr.24 a 25. Primární vinutí transformátoru tvoří obvykle jen 1 závit vodiče, kterým prochází vf proud. Jádro tvoří feritový toroid, na němž je navinuto sekundární vinutí. Indukovaná ems do tohoto vinutí se usměrní a měří magnetoelektrickým přístrojem. Na obr.25 může vf transformátor sloužit jako proudová sonda, např. pro vstup osciloskopu. Propojení mezi proudovým transformátorem a měřicím přístrojem může být

pomocí koaxiálního vedení, pokud je některý ze vstupů impedančně přizpůsoben impedanci koaxiálního kabelu. Jsou i jiné metody měření proudu, např. pomocí termistoru, žárovky a fotonky, ale v amatérské praxi se příliš nepoužívají.

---

#### 4. MĚŘENÍ VYSOKOFREKVENČNÍHO VÝKONU

---

Činný výkon střídavého proudu se sinusovým průběhem je určen výrazem  $P = U \cdot I$ . Obě veličiny, napětí a proud, jsou efektivní hodnoty. Přitom nesmí být mezi oběma veličinami fázový posun. Pokud vznikne fázový posun mezi napětím a proudem, mění se výraz

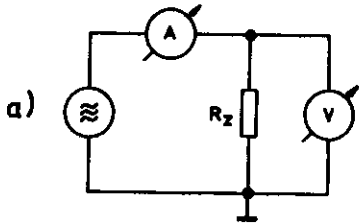
$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Měříme-li vrcholovou hodnotu dvou veličin, změní se výraz na

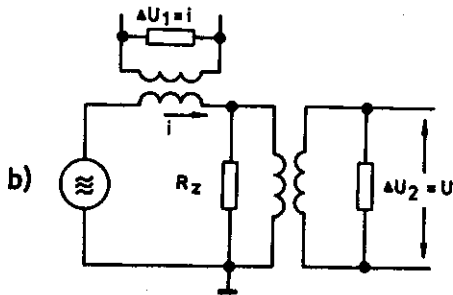
$$P = 0,5 \cdot U_{\text{vrch}} \cdot I_{\text{vrch}} \cdot \cos \varphi$$

Tento případ je ojedinělý, protože jsou většinou měřicí přístroje cejchovány v efektivní hodnotě.

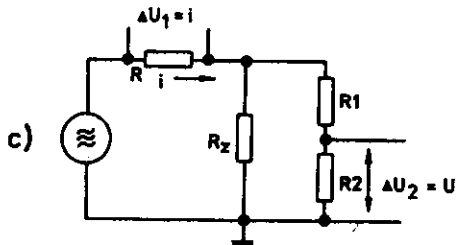
Princip takového měření výkonu je na obr.26. Měření přímou metodou je poměrně jednoduché podle obr.26a/. Výkon pak musíme vypočítat. Někdy se měří nepřímo, pomocí transformátoru /obr. 26b/, anebo se měřicí napětí odvozuje přímo z pasivních odporů, jak je naznačeno na obr.26c/. Na obr.27a/ je princip násobičky obou veličin, kdy je využito termočládku. Výstupy termočládku jsou zapojeny proti sobě a měřidlo udává rozdíl termoelektrických napětí. Topná vlákna jsou zapojena tak, že od záteže proudu prochází jimi součet a od napěťového transformátoru



$$P = U \cdot I$$



$$P = kU_1 \cdot kU_2$$



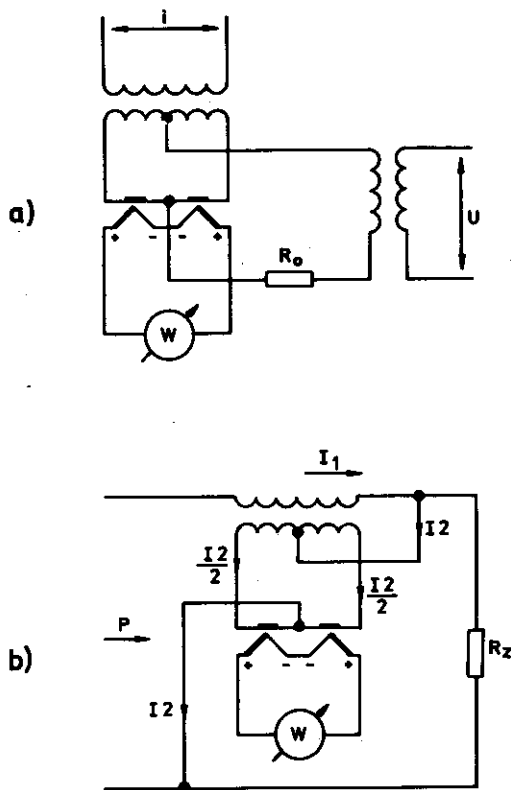
$$P = kU_1 \cdot kU_2$$

$$P = \left(\frac{U_1}{R}\right) \cdot \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_2\right)$$

Obr.26. Měření vf výkonu voltampérovou metodou



rozdílu proudů. Na obr.27b/ je zapojení průchozího wattmetru. Nevýhodou je nutnost použití citlivého měřicího přístroje.

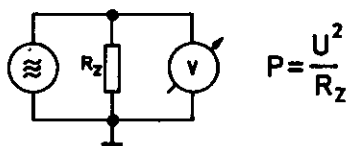


Obr.27. Měření výkonu pomocí termočlátku

Tyto způsoby měření jsou pro amatérskou praxi poměrně složité. Proto se většinou používají tzv. pohlcovací wattmetry, které měří výkon odevzdaný do čistě odporové zátěže. Většinou se měří napětí na známém odporu podle Ohmova zákona

$$P = \frac{U^2}{R_Z}$$

Měření je velmi jednoduché. Na obr.28 je základní zapojení. Dodrží-li se zásady pro vf techniku, lze takto měřit výkony ve značném kmitočtovém rozsahu, do stovek MHz. Pro usnadnění mě-



Obr.28. Měření vf výkonu pomocí známého odporu

ření slouží tabulka č.10, která platí pro  $R_z = 75$  ohmů. Na obr. 28 musí mít střídavý voltmetr mnohem větší vstupní odpor, než samotná zátěž  $R_z$ .

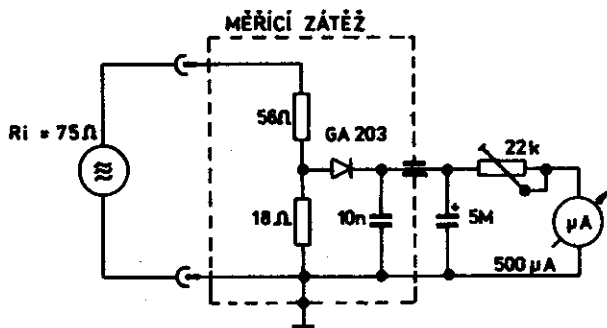
Tabulka 10. Měření malých vstupních napětí zesilovače na obr.11, při kmitočtu 1 MHz

$f = 1$  MHz

U1 [ $\mu$ V]	U2 [mV]	U3 [mV]	Rozsah DU10	Ri DU10 [k $\Omega$ ]
100	5	1	300 mV	15 k
200	12,5	2,5		
300	20	4		
350	22,5	5		
400	25	6,5		
500	38	10		
650	50	15		

Proto se mnohdy používá zapojení s dělenou zátěží podle obr. 29. Měřič výkonu byl uveřejněn v RZ 3/79. Tím se značně sníží vliv měřicí sondy na zatěžovací odpor a měření je zatíženo menší

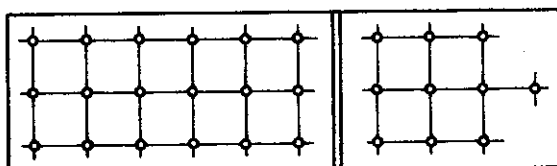
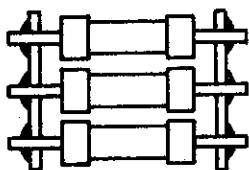
chybou. Zatěžovací rezistor byl realizován paralelním spojením více rezistorů, které byly zapojeny do bočnic plošného spoje. Při cejchování nesmíme zapomínat na skutečnost, že měříme vrcho-



Obr.29. Měření výkonu na zatěžovacím odporu

lovou úroveň napětí, kdy platí, že  $U_M = 1,4 \cdot U_{EF}$ , pak výkon bude

$$P = \frac{U_M^2}{2R}$$



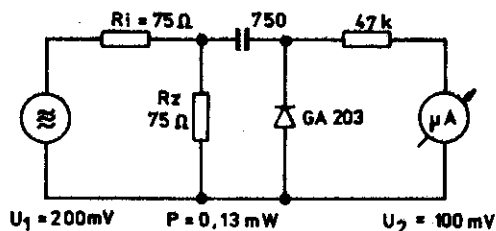
$56 \Omega = 18 \text{ ks } 1 \text{ k} / 2 \text{ W}$

$18 \Omega = 10 \text{ ks } 180 / 2 \text{ W}$

Obr.30. Uspořádání zatěžovacího odporu

Při měření malých výkonů můžeme použít dříve popsané sondy, např. podle obr.31. V uvedeném příkladu lze dobře indikovat úroveň napětí 100 mV, což odpovídá na zátěži 75 ohmů výkonu 0,13 mW.

Pro větší výkony než 50 W je obtížná výroba zatěžovacího rezistoru  $R_z$ . Tovární zatěžovací rezistory jsou obvykle v koaxiálním provedení a tvoří je uhlíkový rezistor většího průměru. Sonda je opatřena chladičem, příp. i ventilátorem.



Obr.31. Obvodové schéma při měření malého výkonu

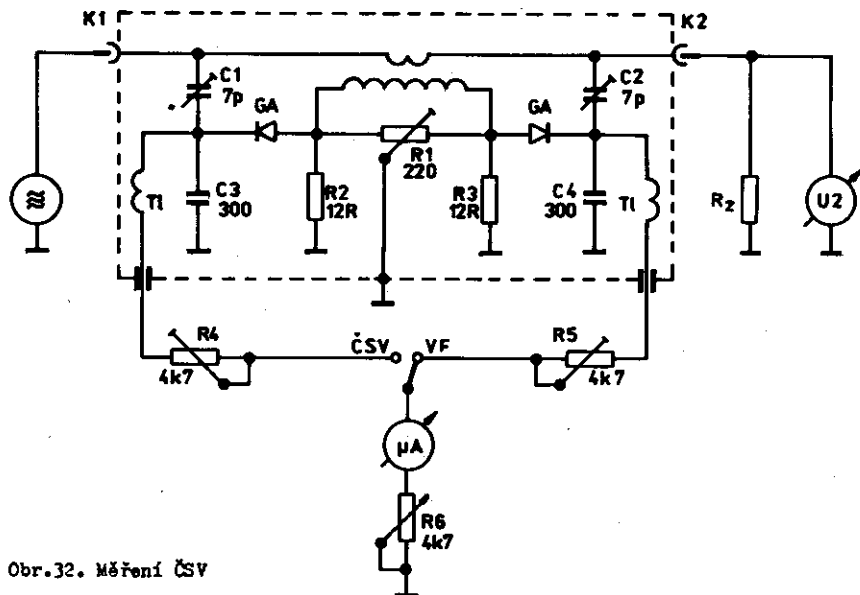
V amatérských podmínkách se pro větší výkony osvědčilo chlazení zátěže v obyčejné vodě v nádobě 5 - 10 l. Ohřátí vody o  $20^\circ \text{C}$  ještě nezpůsobí značnou chybu měření.

Pro amatérské použití jsou v největší oblibě průchozí wattmetry. Výhodou je, že měření probíhá za provozu a tak máme stálou informaci o výstupním výkonu vysílače. Jeho údaj je ale správný pouze při stejné zátěži, při které byl cejchován a pak také nesmí dojít k fázovému posuvu mezi napětím a proudem. Dojde-li k fázovému posuvu, nemá již zátěž charakter ohmického odporu, ale je nutno brát v úvahu impedanci zátěže. Pak pro výpočet výkonu platí

$$P = \frac{U^2}{R \pm jX}$$

Zepojení průchozího wattmetru s kombinací ČSV metru je na obr. 32. Měří se poměr výkonu jdoucí do zátěže k odraženému výkonu do zdroje. Princip tohoto měření je založen na poměrové metodě,

kdy zjišťujeme, v jakém poměru je měřená impedance k normované. Jedná se o směrový článek, kterému se říká reflektometr. Při



Obr.32. Měření ČSV

procházejícím výkonu snímáme napětí a proud tak, že v jednom směru se obě veličiny sčítají a v opačném se ruší. Zapojení na obr.32 je můstkového typu. Vynulování můstku se provede pomocí kapacitního trimru  $C_1$  a rezistoru  $R_1$ . Pro měření činitele stojatých vln, případně činitele odrazu, musí být můstek dvojitý, jak je na obr.32.

Indikace obou veličin se provádí buď dvěma měřícími přístroji nebo přepínačem. Před výrobou tohoto měřiče musíme stanovit základní podmínky

- a/ pracovní impedance měřiče, obvykle 50 nebo 75 ohmů
- b/ minimální průchozí výkon

c/ kmitočtový rozsah

d/ citlivost pro odražený výkon

Tento vf wattmetr je podrobně popsán např. v AR 5/74, proto jen několik poznámek k jeho cejchování.

1. Sestavený můstek vynulujeme pomocí trimru  $C_1$ , v poloze ČSV /odražený výkon/. Totéž provedeme po záměně vstupu a výstupu pomocí  $C_2$  /konektory  $k_1$ ,  $k_2$ /.
2. Při odpojení  $R_z$  i při zkratovaném výstupu musí být vždy shodná výchylka přístroje. Případné odchylky nastavíme pomocí  $C_1$ ,  $C_2$  opět kontrolujeme v obou směrech.
3. Zkratujeme výstup a stejnou výchylku v obou směrech nastavíme pomocí vyvážení  $R_1$ .
4. Připojíme jmenovitou zátěž /75 ohmů/ a v poloze ČSV nastavíme výchylku pomocí  $C_1$  na dílek = 0.
5. Odpojíme zátěž a pokud není shodná výchylka v obou směrech, doladíme  $C_2$ .
6. Měříme napětí na známém  $R_z$  a dostavíme podle výpočtu na plný výkon rezistory  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_6$ . Na plnou výchylku např. 10, 50, 100, 500 W.

Z principu poměrového přístroje vyplývá, že měříme absolutní hodnotu odražené vlny. Tento poměr  $U_2/U_1$  je nazýván jako činitel stojatých vln /ČSV/.

$$\text{činitel stojatých vln ČSV } \delta / = \frac{U_2/\text{max}/}{U_1/\text{min}/} = \frac{1 + \rho}{1 - \rho} \quad /1 \text{ až } \infty/$$

Jeho převrácená hodnota je činitel odrazu  $\rho$

$$\text{činitel odrazu } = \frac{\delta - 1}{\delta + 1} \quad /0 \text{ až } 1/$$

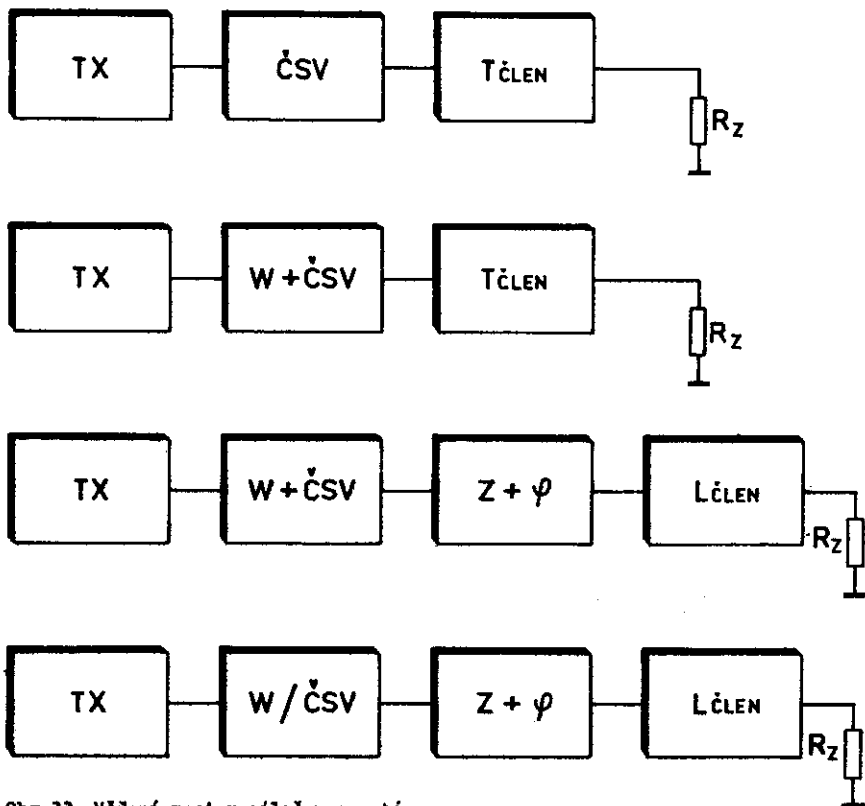
Činitel odrazu a činitel stojatých vln nám říká, jak se změnila normovaná impedence ve skutečnou.

$$Z_n = Z_0 \cdot \rho$$

$$Z_x = \frac{Z_0}{\delta}$$

$$Z_0 = R_z + j0 = R_z$$

Vraťme se k měření vř výkonu. Správnou hodnotu měříme jen při nulovém fázovém posunu mezi napětím a proudem. Proto se měřiče ČSV a W doplňují v praktickém měření na vysílací cestě



Obr.33. Měření mezi vysílačem a anténou

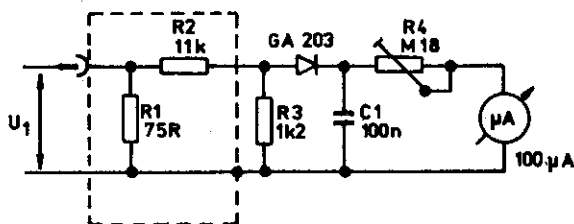
ještě dalšími přístroji, které mohou fázový posuv vyrovnat. Na obr.33 slouží k vyrovnání reaktivní složky proudu články T a L. K měření impedance a fáze slouží 2 fímetry. Obvykle to jsou dva měřicí přístroje s nulou uprostřed, cejchované na jmenovitou impedanci. Odchyšky pak regulujeme pomocí přizpůsobovacích článků L nebo T. Složitější můstky pak dovedou měřit přímo impedanci v algebraickém tvaru:

$$Z = R \pm jX$$

Tím se ale dostáváme do problematiky měření impedance.

#### 4.1 LOGARITMICKÝ MĚŘIČ VF VÝKONU

Na obr.34 je zapojení jednoduchého měřiče výkonu v širokém rozsahu od 1W do 500W. Rezistor R1 musí být konstruován na jmenovité zatížení. K zamezení vlivu detektoru na R1 je zařazen poměrně velký rezistor R2, který s R3 tvoří dělič napětí. Cejchování je v tab. č.11, která platí pro uvedené zapojení.



Obr.34. Jednoduchý logaritmický měřič výkonu

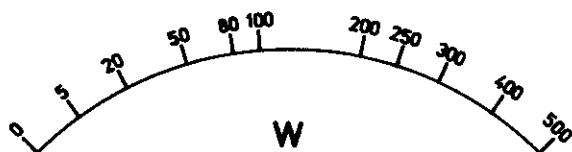
chování je velmi jednoduché. Pomocí trimru R4 se nastaví 10 dílků na stupnici při vstupním výkonu 5W /19,4 V/75 ohmů/. Příklad cejchování je v tab. č.11, která platí pro uvedené zapojení.

Pokud stačí maximální měřený výkon do 100W, nastavíme 10 dílků



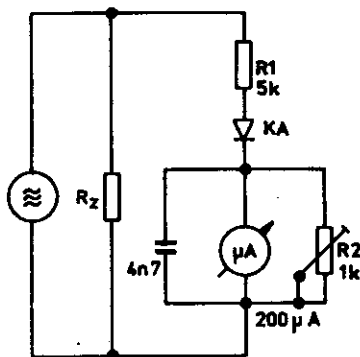
Tebulka 11. Měření výkonu podle zapojení na obr.34

P [W]	U <sub>I</sub> [V]	délky stupnice
1	8,65	4,5
2	12,3	6,4
3	15,0	7,7
4	17,9	9,2
5	19,4	10,0
10	27,4	14,0
20	38,7	20,0
30	47,5	24,5
40	54,7	28,0
50	61,2	31,5
60	66,3	34,0
70	72,5	37,0
80	77,5	40,0
90	82,2	42,5
100	86,5	45,0
150	106,0	55,0
200	122,5	63,0
250	137,0	70,5
300	150,0	77,0
350	162,0	83,5
400	173,0	89,0
450	184,0	95,0
500	194,0	100,0



Obr.35. Stupnice wattmetru podle obr.34

při výkonu 1W /8,65 V/75 ohmů/. Pak 100 dílků bude odpovídat 100W. Příklad cejchování stupnice je na obr.35. Pro malý výkon, např. u QRP vysílačů, poslouží ověřené zapojení na obr.36. Plně



Obr.36. Jednoduchý indikátor výkonu

výchylky přístroje se dosáhlo při 3W. Po připojení antény již neměříme přímo výkon ve watttech, ale přístroj slouží jako indikátor výstupního výkonu.

---

## 5. MĚŘENÍ IMPEDANCI

---

Impedance je komplexní odpor součástky v obvodu střídavého proudu. Tento odpor dané součástky anebo daného zapojení několika součástek nemá jen svou ohmickou, reálnou velikost, ale uplatňuje se také jeho indukčnost a kapacita. Proto se impedance vyjadřuje komplexní veličinou v amatérských podmínkách většinou v algebraickém tvaru

$$Z = R \pm jX$$




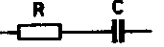
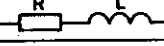
Toto komplexní číslo vyjadřuje, že u reálné části impedance je proud a napětí ve fázi, kdežto u imaginární složky je mezi proudem a napětím fázový rozdíl. Proto také místo vyjádření pomocí těchto ortogonálních složek impedance, můžeme napsat absolutní hodnotu impedance a fázový úhel mezi napětím a proudem. Takové vyjádření má polární tvar. Z teoretického měření známe tento způsob měření fáze pomocí tří napětí. Profesionální měřiče mají pak dva indikátory, kde jeden ukazuje absolutní hodnotu impedance a druhý fázový úhel měřené impedance. Měřená impedance je vždy frekvenčně závislá, proto měření platí pro jediný kmitočet.

Reálná část impedance je tvořena reálným ohmickým odporem R. Jalová složka X tvoří reaktanční složku. Většinou potřebujeme, abychom tuto reaktanční složku potlačili, vykompenzovali. Proto v amatérské praxi můžeme používat přístroje, které nám ukáží hodnotu R a hodnotu X pouze indukují.

V tomto stavebním návodu není místo na teoretické rozbory problému impedance. Musí nám stačit odkazy na literaturu a základní vztahy k měření impedance na obr.37. Nejčastěji se používá měření impedance u antén, kde samotné měřicí přístroje známe pod názvy jako antenskop, reflektometr, ale také se užívá mnohdy s velkou oblibou cizích názvů, jako IMI /impedance match indicator/, SWR /standing wave Ratio/, OIB /operating Impedance Bridge/.

V podstatě měříme přizpůsobení antény k napáječi. Míru nepřizpůsobení dvou impedancí udává činitel odrazu

$$\rho = \frac{Z_x - Z_n}{Z_x + Z_n}$$

SÝMBOL	KOMPLEXNÍ ODPOR	KOMPLEXNÍ VODIVOST	FÁZOVÝ POSUV MEZI NAPĚTÍM A PROUDEM
R 	$R = \frac{U}{I}$	$G = \frac{1}{R}$	$0^\circ$
C 	$Z = \frac{1}{j\omega C}$	$Y = j\omega C$	$-90^\circ$
L 	$Z = j\omega L$	$Y = \frac{1}{j\omega L}$	$+90^\circ$
	$Z = R - j \frac{1}{\omega C}$	$Y = G + jB$	$\operatorname{tg} \varphi = - \frac{1}{\omega RC}$
	$Z = R + j\omega L$	$Y = G + jB$	$\operatorname{tg} \varphi = + \frac{\omega L}{R}$

Obr.37a/ Komplexní impedance a admitance některých dvojčlů

VZTAH	KARTÉZSKÉ TVARY KOMPLEXNÍHO ČÍSLA	NÁZEV A JEDNOTKY
$Z = R + jX$	KOMPLEXNÍ IMPEDANCE	IMPEDANCE $Z [\Omega]$
$Y = G + jB$	KOMPLEXNÍ VODIVOST	ADMITANCE $Y [S]$
$X_L = j\omega L$	JALOVÝ ODPOR CÍVKY	REAKTANCE /INDUKČNÍ/ $X_L [\Omega]$
$X_C = -j \frac{1}{\omega C}$	JALOVÝ ODPOR KONDENZÁTORU	REAKTANCE /KAPACITNÍ/ $X_C [\Omega]$

Obr.37b/ Algebraické tvary komplexní impedance

VZTAH	TRIGONOMETRICKÉ TVARY KOMPLEXNÍHO ČÍSLA	NÁZEV A JEDNOTKY
$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$	ABSOLUTNÍ HODNOTA IMPEDANCE	IMPEDANCE $Z [\Omega]$
$R = Z \cos \varphi$	ČINNÝ ODPOR	REZISTANCE $R [\Omega]$
$X = Z \sin \varphi$	JALOVÝ ODPOR	REAKTANCE $X [\Omega]$
$G = Y \cos \varphi$	ČINNÁ VODIVOST	KONDUKTANCE $G [S]$
$B = Y \sin \varphi$	JALOVÁ VODIVOST	SUSCEPTANCE $B [S]$
$\varphi = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{X}{R}$	FÁZOVÝ ÚHEL MEZI NAPĚTÍM A PROUDEM	ÚHEL $\varphi [^\circ]$
$\sigma = \frac{Z_n - Z_x}{Z_n + Z_x}$	ČINITEL ODRAZU NA VEDENÍ	ČINITEL $\sigma [-]$

Obr.37c/ Trigonometrické tvary komplexní impedance

OHMŮV ZÁKON	VODIVOST	KARTÉZSKÝ TVAR
$Z = \frac{U}{I}$	$Y = \frac{R - jX}{Z^2}$	$Y = G + jB$
$Y = \frac{1}{Z}$	$G = \frac{R}{R^2 + X^2}$	$Y = \frac{R}{R^2 + X^2} + \frac{-X}{R^2 + X^2}$
$Y = \frac{I}{U}$	$B = \frac{-X}{R^2 + X^2}$	$\varphi = \arctg \frac{B}{G}$

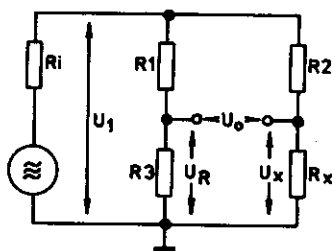
Obr.37d/ Ohmův zákon v symbolicko-komplexním vyjádření

Tento poměr přizpůsobení obou impedancí udává více známý činitel stojatého vlnění ČSV. Obojí vztahy lze matematicky upravit

$$\delta = \text{ČSV} = \frac{1 + \rho}{1 - \rho}$$

## 5.1 MŮSTKOVÝ MĚŘIČ IMPEDANCE

Tento měřič Z umožňuje poměrně přesná měření v širokém kmitočtovém pásmu. Princip funkce je podobný jako u Wheatstoneova



Obr.38. Princip můstkového měřiče impedance

můstku. Na obr.38 jsou všechny odpory pro zjednodušení reálné. Napětí  $U_o$  vyjadřuje pak míru vyváženosti můstku a můžeme jej vy-

počítat ze vztahu

$$U_o = U_1 \left( \frac{R_x}{R_2 + R_x} - \frac{R_3}{R_1 + R_3} \right)$$

Při vyváženém můstku po úpravě dostaneme

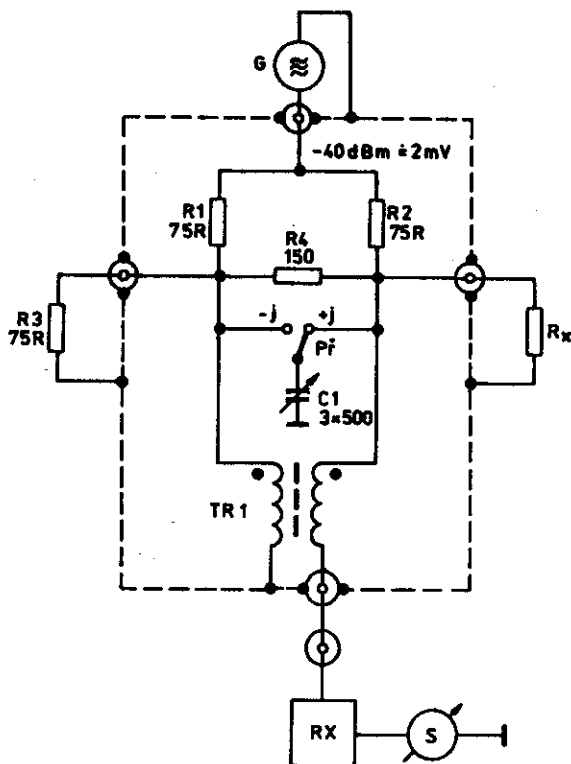
$$U_o = \frac{U_1}{2} \left( \frac{R_x - R_3}{R_x + R_3} \right) = \frac{U_1}{2} \cdot e$$

Z toho vyplývá, že můžeme použít normálový rezistor  $R_3$  jako pevný a budeme měřit jen činitel odrazu. V dalším případě můžeme zapojit  $R_3$  jako proměnný rezistor, který ocejchujeme a měříme tak hodnotu  $R_x$  přímo. To je ale realizovatelné v amatérských podmínkách obvykle do 30 MHz. V pásmu VKV použijeme prvního způsobu. Jako nulový indikátor použijeme přijímač s S-metrem anebo musíme na výstup nf přijímače připojit střídavý milivoltmetr.

Praktické zapojení můstku je na obr.39. Rezistory  $R_1$   $R_2$  mohou být 75 až 100 ohmů, musí být ale stejné a musí být bezindukční.

Můstek na obr.39 lze zhotovit ve dvou variantách. Jednodušší je bez  $C_1$  a přepínače  $P_1$ . Cílek se vejde do malé hliníkové krabičky z vodotěsného vypínače. Na sousedé konektory jsou připájeny přímo odpory. Symetrizační člen je zhotoven pro KV na dvou-otvorovém jádru. Na střední sloupek je navinuto 20 závitů. Vineme nejednou 2 vodiče, které mírně stočíme. Vinutí je tak bifilární. Pro VKV použijeme 3 až 4 kulatá toroidní jádra o průměru 10 mm z hmoty No2 /zelené/. Jádra složíme na sebe a opět navineme 25 až 30 závitů dvěma vodiči najednou. Transformátor umístíme do středu krabičky a zajistíme kousky polystyrénu.

Rezistor  $R_3$  je srovnávací odpor a jeho hodnota musí být



Obr.39. Zapojení mostkového měřiče impedance

přesná, alespoň na 1 %. S přípravkem pracujeme tak, že bez připojeného odporu  $R_x$  je mostek rozvážen. Na přijímači bude maximální hodnota napětí. Útlumovým článkem na generátoru nastavíme na přijímači nějakou celou úroveň /100 dílků/. Je velmi výhodné, používáme-li logaritmickou stupnici. V opečném případě provedeme přepoččet podle tab. 12. Pak připojíme odpor  $R_x$  a napětí na přijímači bude mnohem menší. Z tohoto poměru, podle tab. 12 určíme činitel odrazu a tím i ČSV.

Tabulka 12. Závislost činitele odrazu, ČSV a útlumu

činitel odrazu [°]	činitel stojatého vlnění [ČSV]	útlum odrazu [dB]	poměr napětí [p]	délky stupnice
1,00	MAX	0	1	100
0,89	17,4	1	1,12	80
0,79	8,7	2	1,26	79,3
0,71	5,9	3	1,41	75
0,62	4,4	4	1,58	63,2
0,57	3,6	5	1,78	56
0,50	3,0	6	2	50
0,44	2,6	7	2,24	45
0,39	2,3	8	2,51	39,8
0,35	2,1	9	2,76	37,5
0,32	1,92	10	3,16	31,6
0,28	1,78	11	3,3	30,3
0,25	1,67	12	4	25
0,22	1,58	13	4,47	22,3
0,20	1,5	14	5	20
0,18	1,43	15	5,8	17,2
0,16	1,38	16	6,31	15,8
0,14	1,33	17	7,0	14
0,13	1,3	18	7,94	12,5
0,11	1,25	19	8,9	11,2
0,1	1,22	20	10	10
0,05	1,11	26	20	5
0,013	1,03	38	79,4	1,25
0,01	1,02	40	100	1

Při měření impedancí antén nemá být činitel odrazu větší než 0,1. Při samotném měření antén musíme ale dát pozor na to, aby signály z pásma neovlivnily samotná měření. Provádíme je proto v době, kdy je na vyšetřovaném pásmu malá úroveň signálu.

V druhé variantě doplníme přístroj otočným kondenzátorem



a případně i potenciometrem 100 ohmů, zapojeným místo R3. Postup měření je jednoduchý. Na generátoru nastavíme požadovaný kmitočet, přijímačem nalezneme jeho záněšj. Připojíme měřenou impedanci a na přijímači nastavíme nejmenší citlivost. Teď nás již nebudou zajímat "celé" délky stupnice, ale jen minimální hodnota ukazatele při vyvažování můstku. Kondenzátor C1 nastavíme zatím na nejmenší hodnotu a přepínač bude v libovolné poloze. Pomocí R3 zkusíme vyrovnat můstek. Indikátor na přijímači musí klesnou při určité poloze potenciometru R3. Postup je stejný jako u odporového můstku. Když výchylka indikátoru značně poklesne, zvýšíme citlivost přijímače. Pak zkusíme vyrovnat můstek pomocí C1. Přepínač přepínáme na stranu R3 a stranu Rx. Vyrovnáváme na té straně, kde výchylka indikátoru bude nižší. Podle toho poznáme, jakou imaginární složku má vyšetřovaná impedance. V poloze u Rx má indukční složku + jX a na straně R3 zase kapacitní složku - jX. Výhodné je použít třinásobného kondenzátoru a jednotlivé sekce přepínat dalším spínačem. Můžeme tak měřit X v rozsazích +100, +200, +400. Kondenzátor je vhodné ocejchovat buď v pF, anebo v hodnotách X. Hodnota X je ale frekvenčně závislá a údaj by platil jen pro jedinou frekvenci.

Abychom mohli používat nomogramu na obr.40, ocejchujeme hodnotu kondenzátoru v hodnotách X pro kmitočet 10 MHz. Pak skutečná hodnota X bude

$$X = \frac{X' \cdot f}{10}$$

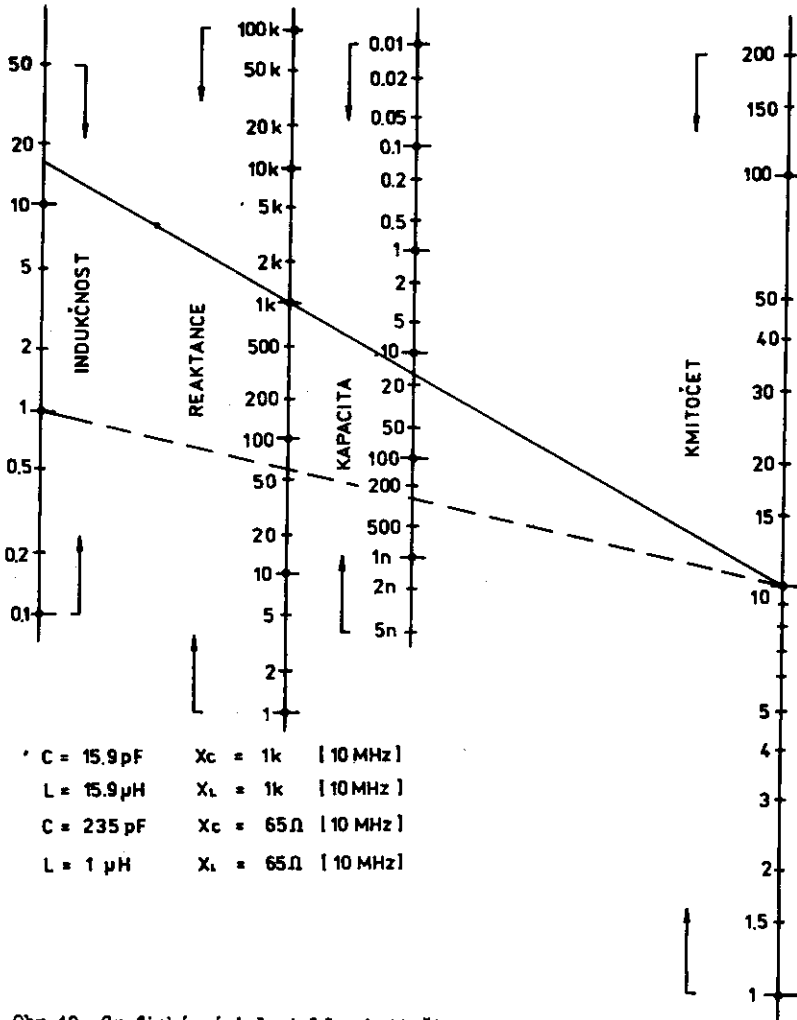
S tímto měřicím můstkem impedance můžeme měřit nejen komplexní impedanci antén, ale stejně dobře můžeme měřit impedanci filtru, vstupy a výstupy širokopásmových zesilovačů.

L [ $\mu\text{H}$ ]

$X_c, X_L$  [ $\Omega$ ]

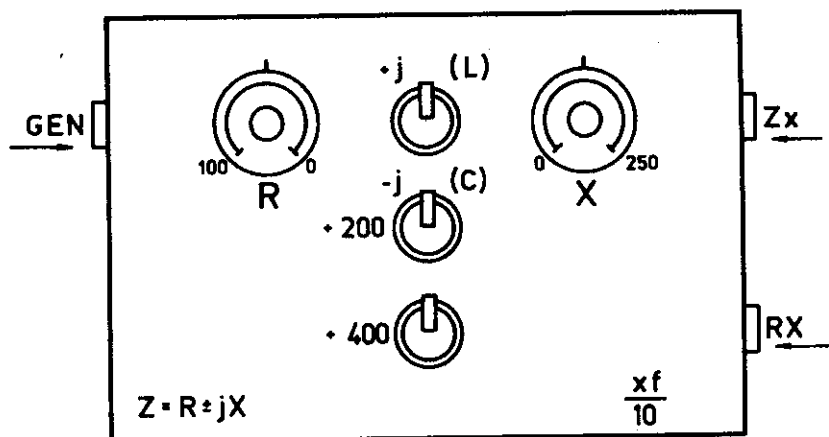
C [pF]

f [MHz]



Obr.40. Grafická závislost LC a kmitočtu

Konstrukční stránce musíme věnovat dostatečnou pozornost, aby vznikl vůbec měřicí přístroj. Na některé zásady bylo již upozorněno. Při použití přijímače jako nulového indikátoru je nutné, aby "izolace" mezi generátorem a přijímačem byla větší

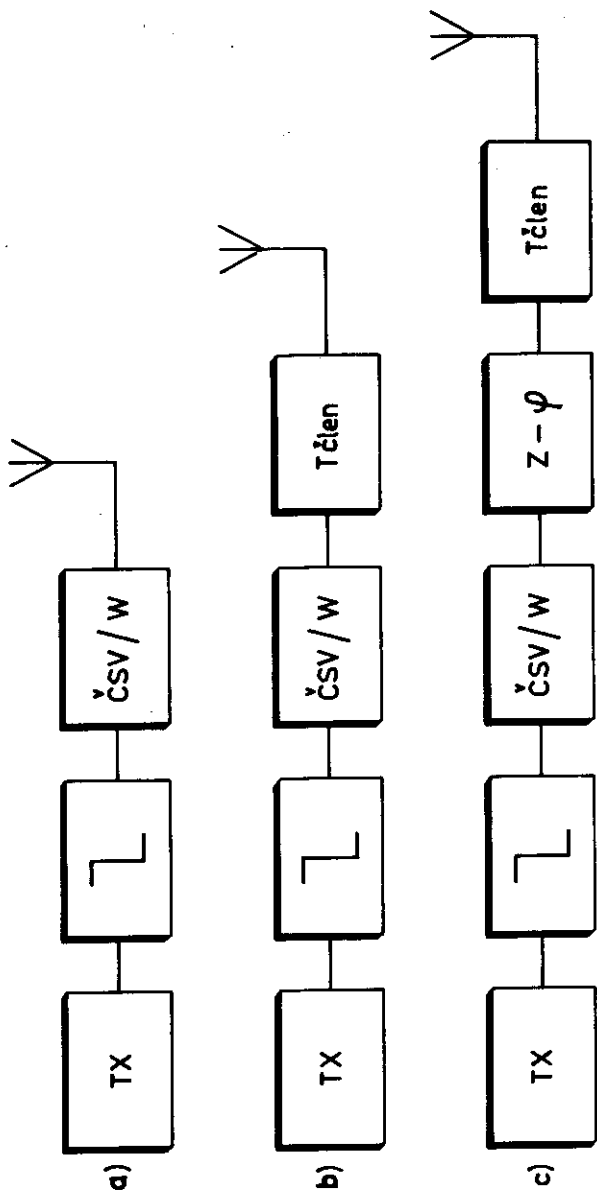


Obr.41. Uspořádání panelu měřiče Z

než 40 dB. Přesvědčíme se o tom při hodnotách  $R_3 = R_x$ . Výchylka přijímače musí být 100 krát menší než při rozváženém můstku. Pokud tohoto stavu nedosáhneme, musíme zajistit lepší stínění mezi generátorem a přijímačem. Při konstrukci dbáme všech zásad ve vf technice. Přístroj nemá žádný plošný spoj. Pro informaci je na obr.41 přední panel přístroje, popsáno jako druhá varianta.

Tabulka 13. Závislost výkonu a napětí na odporu v dB

úroveň [dBm]	výkon [W]	napětí [R = 75 Ω]	poměr napětí [p]
50	100	86,6	316,2
48	63	68,8	250
46	39,8	54,6	200
43,5	22,5	41	150
40	10	27,4	100
36,9	5	19,3	70
32	1,6	10,9	40
30	1	8,66	31,6
26	0,4	5,46	20
20	0,1	2,74	10
19	80 mW	2,44	8,91
18	63	2,17	7,94
16	40	1,72	6,31
13	20	1,22	4,47
10	10 mW	866 mV	3,16
8	6,3	688	2,51
6	4	546	2
5	3,2	487	1,78
4	2,5	434	1,58
3	2	387	1,41
2	1,6	345	1,26
1	1,25	307	1,12
0 dBm	1 mW	274 mV	1
-20	10 μW	27,4 mV	0,1
-40	0,1 μW	2,7 mV	0,01



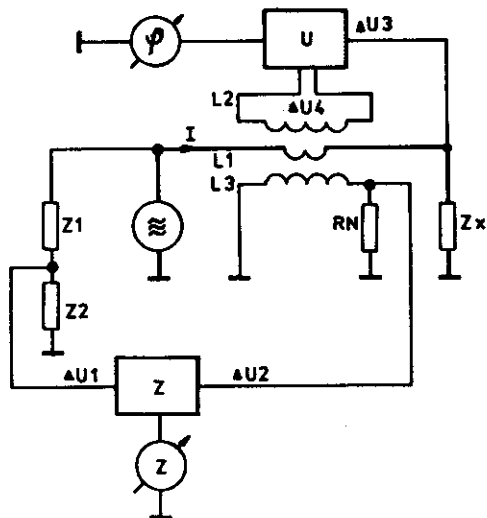
Obr.42. Použití měřicích přístrojů mezi zdrojem a anténou

## 5.2 VÝKONOVÝ MĚŘIČ IMPEDANCE

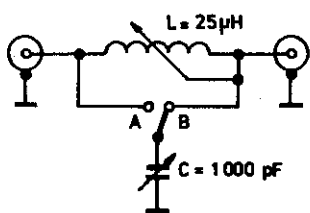
Pokud není anténa řádně přizpůsobena napáječi, vzniká ČSV větší než 1 a s tím i problémy. V posledních letech byla publikována celá řada různých ČSV-metrů a také bylo upozorněno na to, jak zjistit, zda užívaný ČSV-metr je měřicí, anebo jen indikační přístroj. Uspořádání vysílací cesty mezi vysílačem a anténou je znázorněno na obr.42.

Nejvíce používaný způsob podle obr.42a/ vyhoví v případě, že anténa je dokonale přizpůsobena napáječi a  $\text{ČSV} = 1,2$ . Tato sestava je vhodná pro jednopásmový provoz. Při provozu na více pásmech se obvykle zařazuje T článek pro lepší přizpůsobení napáječe k anténě. Tím dosáhneme, že koncový stupeň je správně zatížen a reakční složka je kompenzována. Přizpůsobovací články jsou řešeny jako T, anebo L. Pro snazší obsluhu je zařazen ještě přímo ukazující fázový měřič impedance. Skládá se ze dvou měřících přístrojů, kde jeden ukazuje absolutní hodnotu  $Z$  a druhý fázový posuv. Princip tohoto měřiče je jednoduchý. Absolutní hodnota měřené impedance se určuje z hodnoty poměru  $U/I$ , který měřenou impedancí prochází. Pokud bude jedna veličina konstantní, stačí pak měřit jen zbývající. Úhel měřené impedance určuje fázový posuv mezi napětím a proudem, který jí prochází. Princip měření je na obr.43.

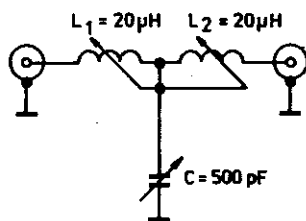
Budící proud do zátěže  $Z_x$  je snímán induktivně pomocí  $L_2$ . Vinutí  $L_1$  tvoří vodič, který prochází feritovým toroidem. Rovněž vinutí  $L_3$  bude buzeno procházejícím proudem v  $L_1$ . Napětí na odporu  $R_N$  bude pak úměrné procházejícímu proudu. Napětí bude úměrné poměru děliče  $Z_1/Z_2$ . Vyhodnocovací obvod pak indikuje hodnotu  $Z$ .



Obr.43. Princip měření  $Z$  a fáze mezi napětím a proudem



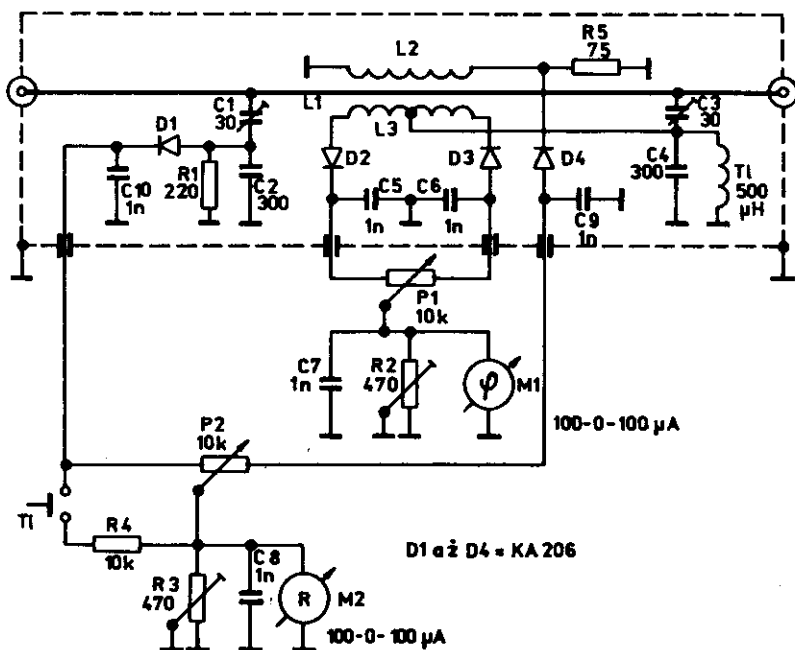
Obr.44. Kompenzační L článek



Obr.45. Kompenzační T článek

Fázový posuv mezi napětím a proudem na impedanci se určuje tak, že napětí na  $Z_x$  a proud z  $L_2$  se porovnává. Pokud dojde k odchylce, indikátor ukáže nerovnováhu. Stupnice se může ocejchovat v polárním tvaru do  $90^\circ$ . Obvykle je to ale zbytečné, protože indikátor používáme jako poměrový přístroj a snažíme se pomocí T članku reakční složku impedance vykompenzovat. Použijeme-li měřicí přístroj s nulou uprostřed, stačí označit jen směr pohybu L nebo C. Pak podle obr.44 přepneme přepínač do polohy A nebo B. Podle obr.45 použijeme k ovládní L1 nebo L2.

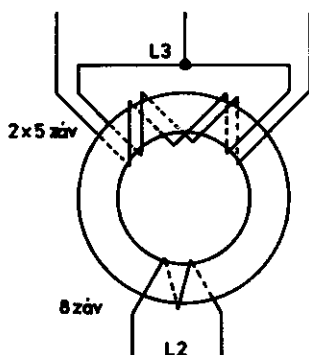
Zvlášť to oceníme při používání jediné antény pro vícepásmový provoz. Skutečné zapojení je na obr.46.



Obr.46. Zapojení měřiče Z a fáze



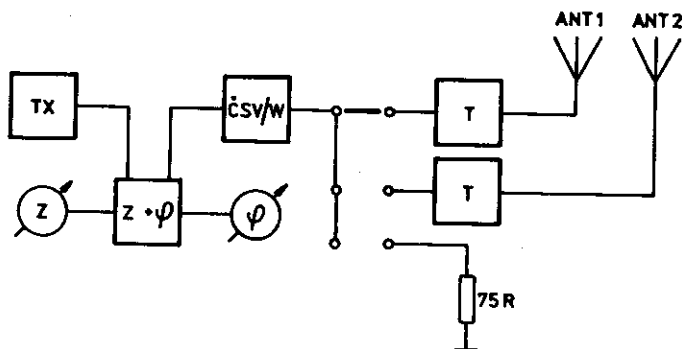
S přístrojem pracujeme tak, že na jeho výstup připojíme ohmickou zátěž 75 ohmů. Vysílač vyladíme a pomocí kapacitních trimrů nastavíme takovou úroveň napětí, aby potenciometry pro balancování byly přibližně uprostřed své dráhy. Při rozbalancování musí měřicí přístroj ukazovat výchylku. Měřicí přístroj je navržen pro výkon z vysílače okolo 200W. Pro nižší výkony je nutné zvětšit počet závitů L2 a L3, případně i L1 /2 až 3 závit/. Po tomto nastavení můžeme zkoušet připojovat k zátěži kapacitu a indukčnost. Poznamenáme směr výchylky M1. Pokud některá anténa bude mít menší nebo větší vstupní odpor než 75 ohmů, bude to indikovat měřidlo M2.



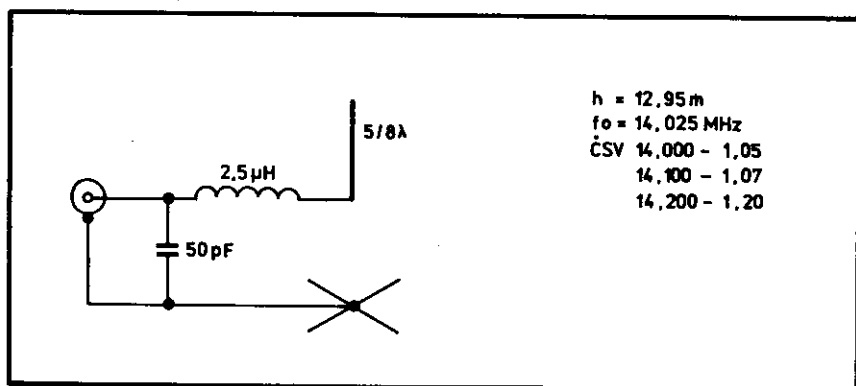
Obr.47. Způsob vinutí L<sub>2</sub> a L<sub>3</sub>

Zapojení dost připomíná různé reflektometry. Proto po konstrukční stránce se budeme řídit všemi zásadami vysokofrekvenční techniky. Transformátor byl realizován na toroidu o vnějším průměru 26 mm x 16 mm, vnitřní průměr 20 mm. Způsob vinutí L2, L3 je na obr.47. Celkové uspořádání vysílací cesty od vysílače

k anténě je na obr.48. Anténa na obr.48 byla vertikální  $5/8 \lambda$  pro pásmo 20 m. Přizpůsobení je na obr.49.



Obr.48. Zapojení měřiče Z a ČSV v napájecím vedení



Obr.49. Kompenzace vertikální antény pomocí L článku

Bylo použito pevného L článku, kterým bylo nastaveno nejlepší ČSV. Pomocí kondenzátoru byla potlačena reaktanční složka okolo  $X = + 200$  ohmů. Seřízení bylo měřeno přístrojem podle

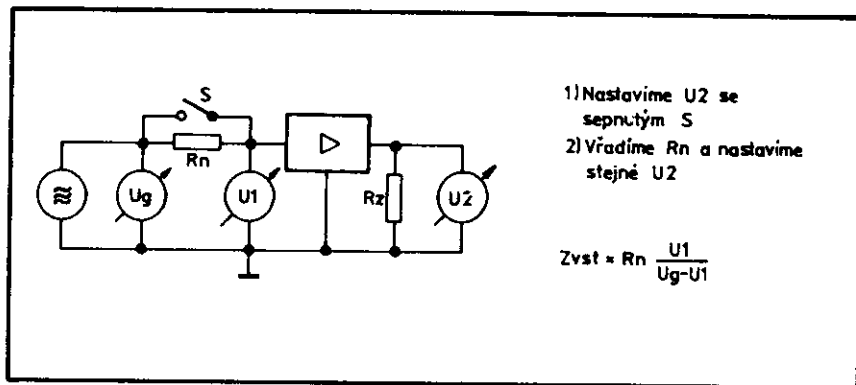
zapojení na obr.46. Dále byla zkoušena L anténa, natažený drát asi 20 m ve výšce 6 m nad zemí. Bylo použito přizpůsobení podle obr.49. Anténa byla původně určena jen pro vyzkoušení vysílacího zařízení na 80 m, ale nakonec vyzkoušena pro všechna amatérská pásma. Přestože na 80 m je tato anténa velmi krátká, byla uvedeným L článkem přizpůsobena na ČSV 1 : 1. Účinnost antény byla horší, ale toto hledisko se nesledovalo. Pro snazší naladění komponentů uvedeného L článku byla sestrojena tab.14. L a C byly opatřeny lineární stupnicí.

Tabulka 14. Přizpůsobení antény pomocí L článku na obr.44

kmitočet [kHz]	dílky L	dílky C	přepínač
3 500	66	90	B
3 600	62	85	B
3 700	55	82	B
3 800	50	75	B
7 050	90	40	A
14 050	75	50	B
14 350	80	50	B
21 050	35	40	A
21 400	35	40	A
28 100	35	40	B

### 5.3 MĚŘENÍ VSTUPNÍ A VÝSTUPNÍ IMPEDANCE ZESILOVAČŮ

V předcházejících statích bylo probráno měření absolutní hodnoty a fáze impedance. Pokud budeme měřit jen absolutní hodnotu, poslouží zapojení na obr.50. K zesilovači připojíme generátor a nastavíme vhodnou úroveň  $U_1$  a  $U_2$ . Pak zapojíme do série

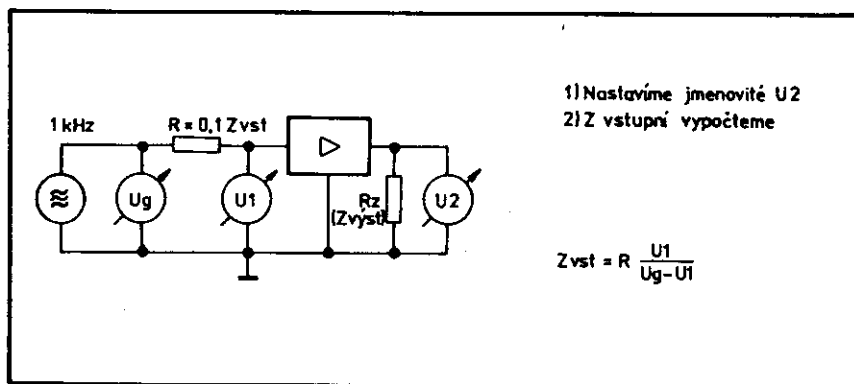


Obr.50. Měření vstupní impedance zesilovače

s generátorem známý odpor, alespoň 10 krát větší, než předpokládaná impedance. Napětí z generátoru nastavíme na stejnou úroveň U<sub>2</sub>.

$$vst. Z = R_n \cdot \frac{U_1}{U_g - U_1}$$

Vstupní impedanci lze také měřit podle obr.51. Nevýhodou je

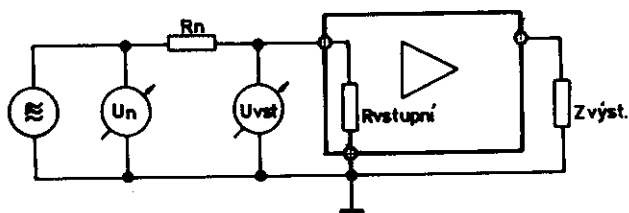


Obr.51. Měření vstupní impedance zesilovače podle normy

nutnost měření napětí na R, protože voltmetr musí mít izolovaný vstup od země. Hodnotu U získáme rozdílem

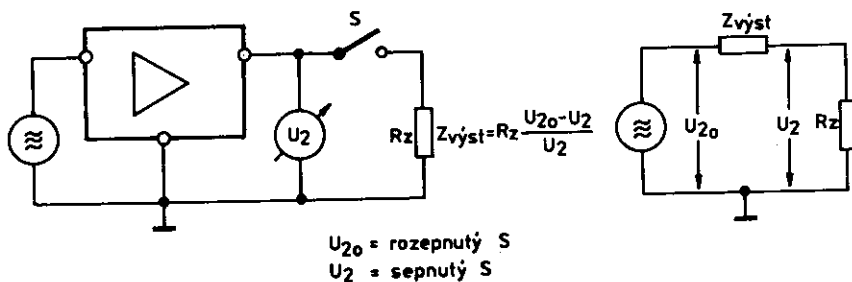
$$U = U_g - U_1$$

Výstupní impedance se měří podle obr.53. Zesilovač se zatíží



$$U_{vst} = \frac{U_n}{2} \quad [R_{vst.} = R_n]$$

Obr.52. Jednoduché porovnání vstupního odporu



$U_{2o}$  = rozeptný S  
 $U_2$  = sepnutý S

Obr.53. Měření výstupní impedance zesilovače

předpokládanou impedencí  $R_z$  a měří se  $U_2$  při sepnutém spínači S / $U_2$ / a při rozeptnutém spínači S / $U_{2o}$ /

$$\text{výst } Z = R_z \cdot \frac{U_{2o} - U_2}{U_2}$$

Ve vf technice mají zesilovače často normovanou vstupní impedanci 75 ohmů. Zapojení na obr.50 můžeme upravit tak, že  $R_n = 75$  ohmů a měříme

$$U_1 = 0,5 U_g$$

je pak  $R_{vst.} = R_n$ . Napětí  $U_1$  měříme voltmetrem s velkým  $R_i$ .

#### 5.4 MĚŘENÍ CHARAKTERISTICKÉ IMPEDANCE VEDENÍ

Charakteristická impedance vf vedení je velmi důležitá při přenosu vf energie. Zvlášť důležitá je tato otázka v anténářské technice. Ze základů přenosové techniky platí, že magnetická energie se rovná elektrické energii v každém bodě vedení. Pak platí

$$\frac{U_m^2}{I_m^2} = \frac{L}{C} \qquad \frac{U_m}{I_m} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Poměr  $U/I$  je podle Ohmova zákona odpor a protože se jedná o střídavý proud, jedná se o impedanci

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \qquad / \Omega ; H, F/$$

Tato impedance vedení není závislá na jeho délce. Proto stačí změřit indukčnost a kapacitu libovolné délky a  $Z_0$  vypočteme.

Příklad:

Chceme znát charakteristickou impedanci zkroucené dvojlinky. K měření použijeme asi 1 m dlouhé dvojlinky. Při měření  $C$  ponecháme volné konce rozpojené, při měření  $L$  volné konce spojíme do zkratu.

Naměřené hodnoty:

$$C = 37 \text{ pF}$$

$$L = 0,87 \text{ } \mu\text{H}$$

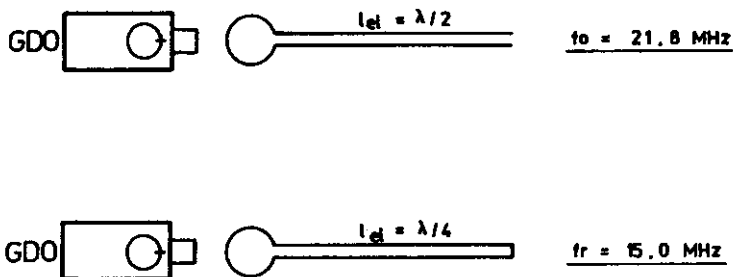
$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{8,7 \cdot 10^{-7}}{3,7 \cdot 10^{-11}}} = 153 \text{ ohmy}$$

Pro obvyklé použití je vhodnější vzorec

$$Z_0 = 100 \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot L}{C}} \quad / \Omega ; \mu\text{H}, \text{ pF}/$$

## 5.5 MĚŘENÍ ČINITELE ZKRÁCENÍ U VEDENÍ

Elektromagnetické vlnění po vedení se šíří pomaleji než ve volném prostoru. Zkrácení je závislé na dielektriku materiálu a dosahuje někdy značné hodnoty, až 50 %. Činitel zkrácení lze měřit velmi jednoduše.



Obr.54. Měření zkracovacího činitele vedení

1. Použijeme libovolně dlouhé nespájecí vedení, které budeme měřit rozpojené a zkratované, jak ukazuje obr.54.
2. Vazbu na GDO provedeme jedním závitem a měříme rezonanci v obou stavech.

$$\text{Zkrácení } k = \frac{f_r}{f_0} = \frac{15}{21,8} = 0,68$$

3. Jiným způsobem měření můžeme změřit jen zkratované vedení. Např. koaxiální kabel délky 2,23 m bude rezonovat na  $f = 22,1$  MHz

$$\lambda_{\text{mech}} = 4 \cdot l_{\text{skut}} = 4 \cdot 2,23 = 8,92 \text{ m}$$

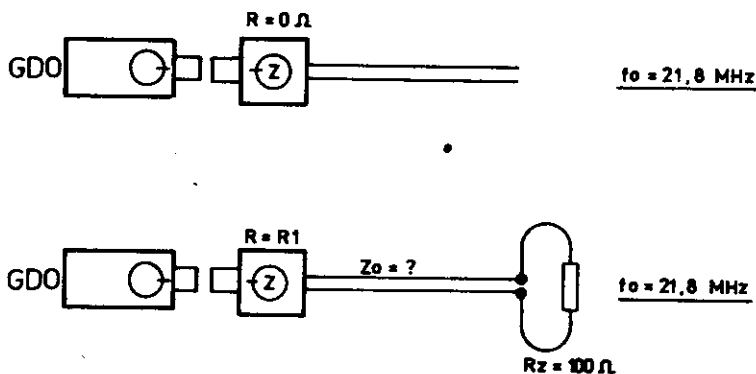
$$\lambda_{\text{el}} = \frac{300}{22,1} = 13,5$$

$$K = \frac{\text{geom. délka}}{\text{el. délka}} = \frac{8,92}{13,5} = 0,66$$

4. V anténářské praxi často používáme impedanční můstek.

Pomocí něj můžeme měřit jak zkracovací činitel, tak  $Z_0$ .

Na obr. 55a/ je měření podle bodu 3. Potenciometr můstku



Obr.55. Měření impedance pomocí můstku

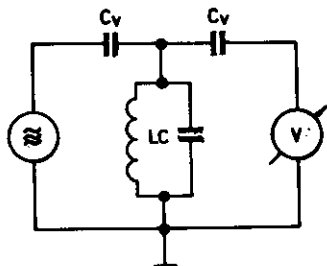
nastavíme na hodnotu  $R = 0$  a hledáme rezonanci. Pak připojíme  $R_z = 100$  ohmů /obr.55b/, frekvenci ponecháme a můstek vynulujeme. Vyvážení bude např. při  $R_1 = 50$  ohmů, pak vypočteme

$$Z_0 = \sqrt{R_1 \cdot R_z} = \sqrt{50 \cdot 100} = 70,6 \text{ ohmů}$$

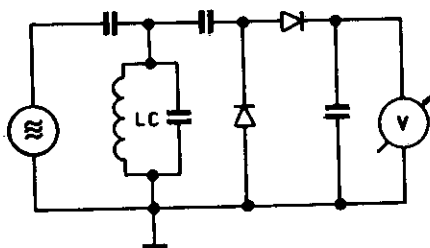


## B. MĚŘENÍ REZONANCE

Při určité frekvenci se dostane obvod složený z indukčnosti a kapacity do rezonance. Vzájemný vztah těchto tří veličin určuje Thomsonův vzorec  $\omega^2 = 1/LC$ . Pro základní jednotky se pak mění tvary podle obr.57.



Obr.56a/ Princip měření rezonanční metodou



Obr.56b/ Připojení voltmetru k rezonančnímu obvodu

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

[ Hz ; H , F ]

$$f_r = \frac{159,154,94}{\sqrt{LC}}$$

[ MHz ;  $\mu$ H , pF ]

$$f_r^2 = \frac{25\,330,2}{LC}$$

[ MHz ;  $\mu$ H , pF ]

Obr.57. Základní vztahy Thompsonova vzorce

Princip tohoto měření byl popsán již v kapitole o měření indukčnosti a kapacit. Proto jen stručné opakování. Na obr. 56a/ je základní zapojení při měření rezonance. Při určitém kmitočtu daném prvky LC laděného obvodu, bude maximální výchylka volt-

metru. Na obr. 56b je konkrétní zapojení pro měření střídavého napětí. Z toho plyne, že pro zjištění rezonančního kmitočtu daného LC obvodu potřebujeme

- a) zdroj vf kmitů, generátor
- b) indikátor střídavého napětí

Známe-li některou z hodnot L nebo C, můžeme pak podle výpočtu na obr. 57 určit zbývající veličinu a také impedanci tohoto obvodu při daném kmitočtu. K usnadnění výpočtů slouží známé tabulky LC konstant, které jsou v tab. 15 a 16. Závislost tří veličin podle Thomsonova vzorce lze vyjádřit i graficky, jak je na obr. 58, kde je vyjádřena i reaktance prvků. Grafické vyjádření v logaritmickém měřítku má značný rozsah, na obr. 58 je od 1 MHz do 1000 MHz. Přesto, že tyto závislosti již byly mnohokrát popsány, nejlepší poučení je z příkladu.

#### Příklad 1

Rezonanční kmitočet nalezneme při  $f = 7$  MHz. Hodnota  $C = 37$  pF  
V tab. 16 nalezneme pro MHz LC konstantu = 516,94. Hledáme-li L,

$$L = \frac{516,94}{37} \approx 13,97 \mu\text{H}$$

V nomogramu na obr. 58 nalezneme indukčnost propojením bodů 7 MHz a 37 pF, nalezneme  $L = 14 \mu\text{H}$ . Přitom zjistíme, že prvky mají reaktanci na kmitočtu 7 MHz  $X = 614$  ohmů.

#### Příklad 2

Složíme rezonanční obvod ze známé indukčnosti 1  $\mu\text{H}$  a neznámého kondenzátoru. Rezonanční kmitočet nalezneme při  $f = 10$  MHz.  
Z tabulky 15 zjistíme LC konstantu pro 10 MHz = 253,3.

Tabulka 15. Tabulka 1 pro LC konstanty do 30 MHz

f	k	f	k	f	k
1,0	25330,00	5,8	752,97	10,6	225,44
1,1	20933,88	5,9	727,66	10,7	221,24
1,2	17590,28	6,0	703,61	10,8	217,16
1,3	14988,17	6,1	680,73	10,9	213,20
1,4	12923,49	6,2	658,95	11,0	209,34
1,5	11257,78	6,3	638,20	11,1	205,58
1,6	9894,53	6,4	618,41	11,2	201,93
1,7	8764,71	6,5	599,53	11,3	198,37
1,8	7817,90	6,6	581,50	11,4	194,91
1,9	7016,62	6,7	564,27	11,5	191,53
2,0	6332,50	6,8	547,79	11,6	188,24
2,1	5743,76	6,9	532,03	11,7	185,04
2,2	5233,47	7,0	516,94	11,8	181,92
2,3	4788,28	7,1	502,48	11,9	178,87
2,4	4397,57	7,2	488,62	12,0	175,90
2,5	4052,80	7,3	475,32	12,1	173,01
2,6	3747,04	7,4	462,56	12,2	170,18
2,7	3474,62	7,5	450,31	12,3	167,43
2,8	3230,87	7,6	438,54	12,4	164,74
2,9	3011,89	7,7	427,22	12,5	162,11
3,0	2814,44	7,8	416,34	12,6	159,55
3,1	2635,80	7,9	405,86	12,7	157,05
3,2	2473,63	8,0	395,78	12,8	154,60
3,3	2325,99	8,1	386,07	12,9	152,21
3,4	2191,18	8,2	376,71	13,0	149,88
3,5	2067,76	8,3	367,69	13,1	147,60
3,6	1954,48	8,4	358,99	13,2	145,37
3,7	1850,26	8,5	350,59	13,3	143,20
3,8	1754,16	8,6	342,48	13,4	141,07
3,9	1665,35	8,7	334,65	13,5	138,98
4,0	1583,13	8,8	327,09	13,6	136,95
4,1	1506,84	8,9	319,78	13,7	134,96
4,2	1435,94	9,0	312,72	13,8	133,01
4,3	1369,93	9,1	305,88	13,9	131,10
4,4	1308,37	9,2	299,27	14,0	129,23
4,5	1250,86	9,3	292,87	14,1	127,41
4,6	1197,07	9,4	286,67	14,2	125,62
4,7	1146,67	9,5	280,66	14,3	123,87
4,8	1099,39	9,6	274,85	14,4	122,15
4,9	1054,98	9,7	269,21	14,5	120,48
5,0	1013,20	9,8	263,74	14,6	118,83
5,1	973,86	9,9	258,44	14,7	117,22
5,2	936,76	10,0	253,30	14,8	115,64
5,3	901,74	10,1	248,31	14,9	114,09
5,4	868,66	10,2	243,46	15,0	112,58
5,5	837,36	10,3	238,76	15,1	111,09
5,6	807,72	10,4	234,19	15,2	109,63
5,7	779,62	10,5	229,75	15,3	108,21

f	k	f	k	f	k
15,4	106,81	20,3	61,47	25,2	39,89
15,5	105,43	20,4	60,87	25,3	39,57
15,6	104,08	20,5	60,27	25,4	39,26
15,7	102,76	20,6	59,69	25,5	38,95
15,8	101,47	20,7	59,11	25,6	38,65
15,9	100,19	20,8	58,55	25,7	38,35
16,0	98,95	20,9	57,99	25,8	38,05
16,1	97,72	21,0	57,44	25,9	37,76
16,2	96,52	21,1	56,89	26,0	37,47
16,3	95,34	21,2	56,36	26,1	37,18
16,4	94,18	21,3	55,83	26,2	36,90
16,5	93,04	21,4	55,31	26,3	36,62
16,6	91,92	21,5	54,80	26,4	36,34
16,7	90,82	21,6	54,29	26,5	36,07
16,8	89,75	21,7	53,79	26,6	35,80
16,9	88,69	21,8	53,30	26,7	35,53
17,0	87,65	21,9	52,81	26,8	35,27
17,1	86,62	22,0	52,33	26,9	35,01
17,2	85,62	22,1	51,86	27,0	34,75
17,3	84,63	22,2	51,40	27,1	34,49
17,4	83,66	22,3	50,94	27,2	34,24
17,5	82,71	22,4	50,48	27,3	33,99
17,6	81,77	22,5	50,03	27,4	33,74
17,7	80,85	22,6	49,59	27,5	33,49
17,8	79,95	22,7	49,16	27,6	33,25
17,9	79,05	22,8	48,73	27,7	33,01
18,0	78,18	22,9	48,30	27,8	32,78
18,1	77,32	23,0	47,88	27,9	32,54
18,2	76,47	23,1	47,47	28,0	32,31
18,3	75,64	23,2	47,06	28,1	32,08
18,4	74,82	23,3	46,66	28,2	31,85
18,5	74,01	23,4	46,26	28,3	31,63
18,6	73,22	23,5	45,87	28,4	31,40
18,7	72,44	23,6	45,48	28,5	31,18
18,8	71,67	23,7	45,10	28,6	30,97
18,9	70,91	23,8	44,72	28,7	30,75
19,0	70,17	23,9	44,34	28,8	30,54
19,1	69,43	24,0	43,98	28,9	30,33
19,2	68,71	24,1	43,61	29,0	30,12
19,3	68,00	24,2	43,25	29,1	29,91
19,4	67,30	24,3	42,90	29,2	29,71
19,5	66,61	24,4	42,55	29,3	29,51
19,6	65,94	24,5	42,20	29,4	29,30
19,7	65,27	24,6	41,86	29,5	29,11
19,8	64,61	24,7	41,52	29,6	28,91
19,9	63,96	24,8	41,18	29,7	28,72
20,0	63,33	24,9	40,85	29,8	28,52
20,1	62,70	25,0	40,53	29,9	28,33
20,2	62,08	25,1	40,21	30,0	28,14

Tabulka 16. Tabulka 2 pro LC konstanty do 40 MHz

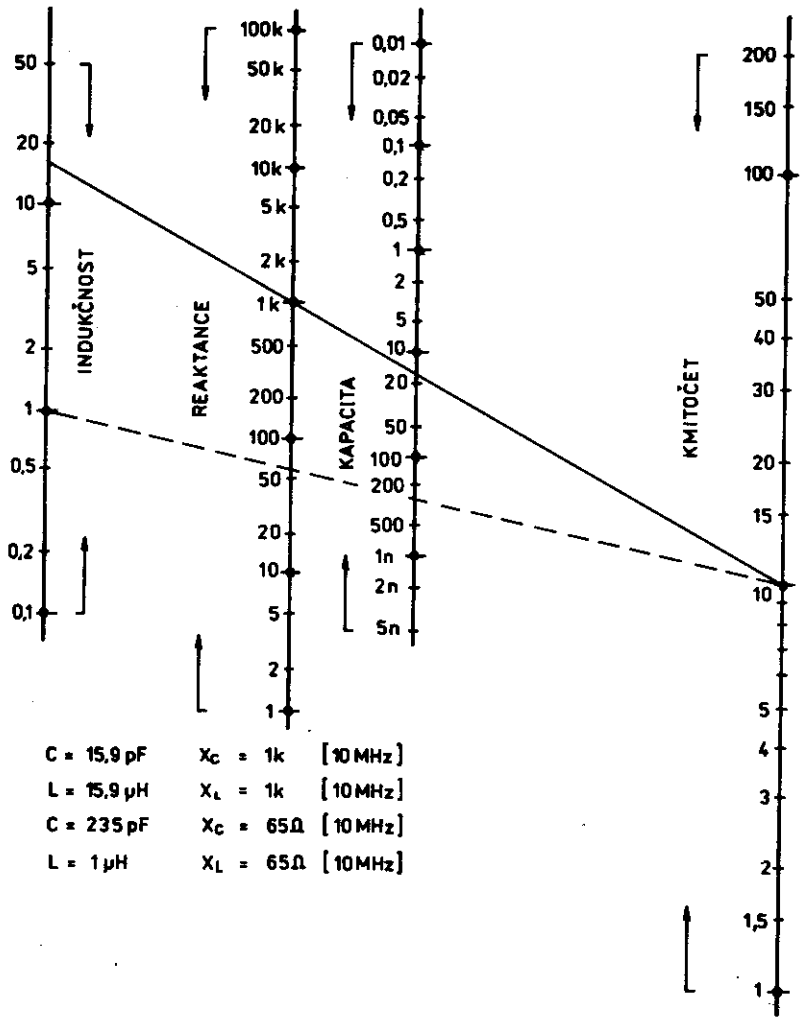
f [MHz]	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	25 330	20 934	17 590	14 988	12 923	11 258	9 895	8 765	7 818	7 017
2	6 333	5 744	5 233	4 788	4 398	4 053	3 747	3 475	3 231	3 012
3	2 814	2 636	2 474	2 326	2 191	2 068	1 954	1 850	1 754	1 665
4	1 583	1 507	1 438	1 370	1 308	1 251	1 197	1 147	1 099	1 055
5	1 013	973,8	936,6	901,7	868,6	837,3	807,7	779,6	753,0	727,7
6	703,6	680,7	658,9	638,2	618,4	599,5	581,5	564,3	547,8	532,0
7	516,9	502,5	488,6	475,3	462,6	450,3	438,5	427,2	416,3	405,9
8	395,8	386,1	376,7	367,7	359,0	350,6	342,5	334,7	327,1	319,8
9	312,7	305,9	299,3	292,9	286,7	280,7	274,8	269,2	263,7	258,4
10	253,3	248,3	243,5	238,8	234,2	229,8	225,4	221,2	217,2	213,2
11	209,3	205,6	201,9	198,4	194,9	191,5	188,2	185,0	181,9	178,9
12	175,9	173,0	170,2	167,4	164,7	162,1	159,6	157,0	154,6	152,2
13	149,9	147,6	145,4	143,2	141,0	139,0	136,9	134,9	133,0	131,0
14	129,2	127,4	125,6	123,9	122,2	120,5	118,8	117,2	115,6	114,1
15	112,6	111,1	109,6	108,2	106,8	105,4	104,1	102,8	101,5	100,2
16	93,9	97,7	96,5	95,3	94,2	93,0	91,0	90,8	89,7	88,7
17	87,6	86,6	85,6	84,6	83,7	82,7	81,8	80,9	79,9	79,0
18	78,2	77,3	76,5	75,6	74,8	74,0	73,2	72,4	71,7	70,9
19	70,2	69,4	68,7	68,0	67,3	66,6	65,9	65,3	64,6	64,0
20	63,3	62,7	62,0	61,5	60,9	60,3	59,7	59,1	58,5	58,0
21	57,4	56,9	56,4	55,8	55,3	54,8	54,3	53,8	53,3	52,8
22	52,3	51,9	51,4	50,9	50,5	50,0	49,6	49,2	48,7	48,3
23	47,9	47,5	47,1	46,6	46,3	45,9	45,5	45,1	44,7	44,3
24	44,0	43,6	43,2	42,9	42,5	42,2	41,8	41,5	41,2	40,8
25	40,5	40,2	39,9	39,6	39,3	39,0	38,6	38,4	38,0	37,8
26	37,5	37,2	36,9	36,6	36,3	36,0	35,8	35,5	35,3	35,0
27	34,7	34,5	34,2	34,0	33,7	33,5	33,2	33,0	32,8	32,5
28	32,3	32,1	31,8	31,6	31,4	31,2	31,0	30,8	30,5	30,3
29	30,1	29,9	29,7	29,5	29,3	29,1	28,9	28,7	28,5	28,3
30	28,1	26,4	24,7	23,3	21,9	20,7	19,5	18,5	17,5	16,6
40	15,8	15,1	14,4	13,7	13,1	12,5	12,0	11,5	11,0	10,6

L [ $\mu\text{H}$ ]

$X_C, X_L$  [ $\Omega$ ]

C [ $\text{pF}$ ]

f [MHz]



Obr. 58. Nomogram LC a X

Pak kapacita

$$C = 253,3 : 1 = 253,3 \text{ pF}$$

Z nomogramu na obr.58 zjistíme, že prvky mají reaktanci 65 ohmů. Pokud chceme zjistit impedanci obvodu při rezonanci, musíme znát Q obvodu.

Příklad 3.

Rezonanční obvod složený z cívky  $L = 1,2 \mu\text{H}$  a  $C = 180 \text{ pF}$  rezonuje na kmitočtu 10 MHz. Q nezatížené cívky je 155. Jaký je odpor nezatíženého obvodu.

$$R_s = \frac{1}{155 \cdot 6,28 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 180 \cdot 10^{-12}} = 0,57 \text{ ohmů}$$

$$Z = \frac{L}{R_s \cdot C} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{0,57 \cdot 180} = 9746 \text{ ohmů}$$

Pokud ztrátový odpor nezanedbáme a budeme počítat jen z Q cívky

$$Z = Q \cdot L = 155 \cdot 6,28 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 1,2 \cdot 10^{-6} = 11680 \text{ ohmů}$$

Vzhledem k tomu, že takto určená impedance je pro nezatížený obvod, můžeme počítat impedanci z hodnoty Q s tím, že chyba je asi 20 %.

Určení hodnoty Q je jednoduché pomocí Q metru. Lze ji určit také podle měření na obr.60. Nalezneme rezonanční kmitočet, při kterém nastavíme údaj voltmetru na 100 dílků. Pak snížíme kmitočet tak, až bude na voltmetru jen 70 dílků. Kmitočet označíme jako  $f_1$ . Stejným způsobem zjistíme vyšší kmitočet  $f_2$ . Z podílu  $f_{\text{rez}}/f_2 - f_1/$  vypočteme hodnotu Q.

$$Z = Q \frac{1}{\omega C}$$

$$Z = Q \omega L$$

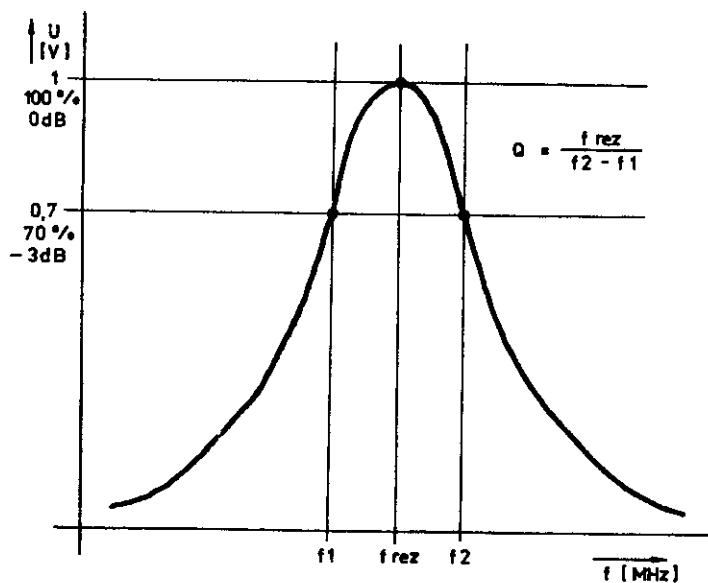
$$Z = \frac{L}{R_s C}$$

$$R_s = \frac{1}{Q \omega C}$$

$$Q = \frac{L}{R_s}$$

$R_s =$  ztrátový odpor  
cívky

Obr.59. Základní vztahy pro Z a Q



Obr.60. Měření Q cívky



## 6.1 MĚŘENÍ REZONANCE POMOCÍ GDO

Měřič rezonance, anebo GDO, je jedním z nejvíce popisovaných přístrojů v posledních 30 letech. Již to svědčí o jeho oblíbě a užitečnosti. Setkali jsme se s ním již při měření LC součástek. Měřič rezonance slučuje vř generátor a indikátor rezonance. Využívá principu zatížení laděných obvodů, které se přiblíží tak, že vznikne induktivní vazba. Při rezonančním kmitočtu obou obvodů je tento stav indikován. Dojde přitom k zatížení LC obvodů a tím i k snížení amplitudy LC oscilátoru. Původní měřiče rezonance indikovaly pokles mřížkového proudu, který je mnohem výraznější než pokles anodového proudu. Odtud také vznikl název "grid-dip-oscilator". Název se přenesl i na tranzistorové měřiče rezonance. Takto je indikován stav rezonance i v přístroji TESLA BM 342. V tranzistorových zapojeních se více využívá měření vř amplitudy na LC obvodu. Indikace se provádí ručkovým měřidlem, indikátorem vyladění /např. EM 84/, diodami LED, nebo

Tabulka 17. Hodnoty cívek GDO

Rozsah [MHz]	Indukčnost [ $\mu$ H]
1 - 3	150
3 - 6	50
6 - 12	10
12 - 24	2,5
24 - 50	0,7
50 - 100	0,15
80 - 200	0,04

Pozn. platí pro  $C_L = 2 \times 100$  pF

s akustickou signalizací. Hodnoty cívek GDO pro různé LC jsou v tab. 17. Požadavky na měřič rezonance lze shrnout do těchto bodů:

1. velký kmitočtový rozsah /0,1 až 200 MHz/, příp. VKV 50-500, 100-1000 MHz
2. kmitočtová stabilita
3. možnost přesného odečítání kmitočtu
4. malé rozměry a váha přístroje

Široký kmitočtový rozsah se dá zajistit pomocí výměnných cívek a použitého ladícího kondenzátoru do kmitočtu až 300 MHz. Pro vyšší kmitočty se používá místo cívek laděné vedení, rovné čtvrtině vlnové délky. Na vysokých kmitočtech se používá pro velké rozladění speciální motýlkový obvod, kterým se může dosáhnout rozladění v poměru až 1 : 5 /např. 200 až 1000 MHz/. Pro vyšší kmitočty se používají dutinové laděné rezonátory.

Kmitočtová stabilita je dána zapojením a kvalitou všech součástí v oscilátoru. Platí zásady pro konstrukci vf zařízení. GDO musí být proveden tak, aby se odstranil vliv ruky při ladění. Stabilita kmitočtu může být přitom horší až o 2 řády než oscilátoru v přijímači.

Přesnost odečítání kmitočtu souvisí s rozladěním v určitém rozsahu. Při velkém rozladění je horší čtení stupnice a při malém je tomu opačně. U GDO dáváme přednost většímu rozsahu. Při značném počtu výměnných cívek je výhodné lineární dělení stupnice a kmitočet určit podle cejchovní tabulky.

Při potřebě přesného čtení kmitočtu se používá čítač kmitočtu.

Malých rozměrů lze dosáhnout oddělením oscilátoru od indikač-

ní a napájecí části. Pak používáme GDO jako "sondu". To platí většinou pro elektronkový přístroj. U tranzistorových přístrojů lze tyto podmínky dobře splnit /např. u [1] a [5]

Před stavbou GDO musíme znát:

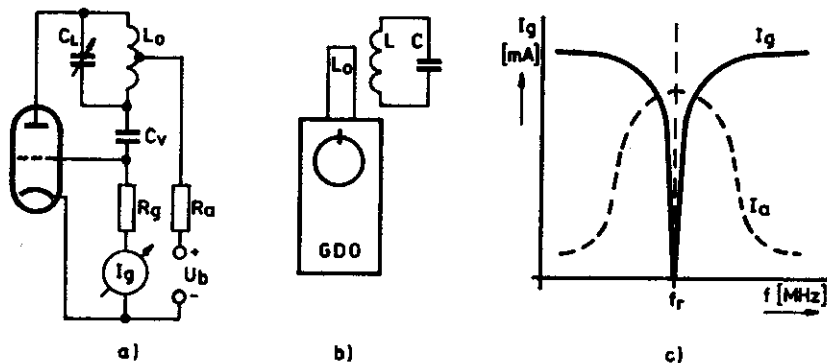
- a/ kmitočtový rozsah měření
- b/ způsob indikace rezonance
- c/ použitý ladící kondenzátor
- d/ vř výkon měřicího přístroje

Po tomto upřesnění můžeme vybrat vhodné zapojení a stavbu přístroje realizovat. Způsob indikace nemá vliv na činnost přístroje. Indikace ručkovým přístrojem i diodou LED zaměstnává naši pozornost při měření. U ručkového měřidla lze ale měřit i Q obvodu. Akustické signalizace zjednodušuje některá měření, protože se můžeme plně soustředit na měřený objekt. Výborným řešením je použití ručkového měřidla a akustické signalizace. Kmitočtový rozsah bude souviset s volbou ladícího kondenzátoru a v každém popisu /1/ až /17/ je o tomto problému dostatečně psáno.

Vř výkon měřiče bude souviset s potřebou měření. Pokud budeme měřit LC obvody v přijímačích a podobných přístrojích, vystačíme s tranzistorovým měřicím přístrojem, kde vř výkon bude několik desítek mW. Při měřeních na anténách a napájeních impedančních můstek je vhodnější elektronkový přístroj, který odevzdá výkon 1W.

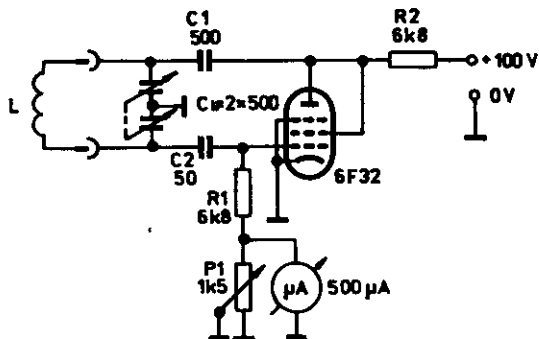
## 6.2 ELEKTRONKOVÝ GDO

Hlavní částí GDO je oscilátor. Na obr.61 je základní zapojení GDO. Pokud oscilátor kmitá, teče mřížkový proud měřidlem. Při shodě rezonančních kmitočtů obou obvodů /obr.61b/, dojde k zatížení  $L_0C_L$  obvodu a mřížkový proud prudce poklesne. Názorně to vyjadřuje obr.61c/.

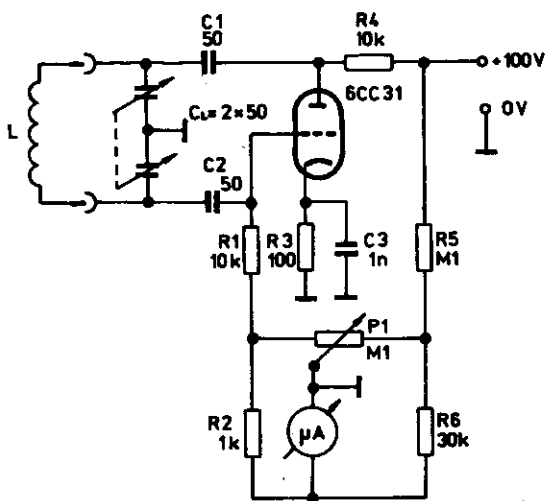


Obr.61. Princip měření s GDO

Praktické zapojení GDO je na obr.62. Jedná se v podstatě o tříbodové zapojení oscilátoru. Ladící kondenzátor je s děleným statorem, anebo je použit dvojitý kondenzátor /dual/. Jeho velikost kapacity závisí na kmitočtovém rozsahu přístroje. Např. pro kmitočet 200 MHz musí mít ladící kondenzátor malou počáteční kapacitu 5 pF, aby s indukčností 0,1  $\mu$ H rezonoval na uvedeném kmitočtu. Proto je často výhodnější vyrobit GDO s rozsahem od 100 kHz do 40 MHz a pro vyšší rozsah, např. 40 až 400 MHz, použít jiný ladící kondenzátor s menší počáteční kapacitou 2 až 10 pF. Zapojení na obr.62 patří mezi jednoduché přístroje. Pokles



Obr.62. Zapojení jednoduchého  $\text{QO}$  s elektronkou



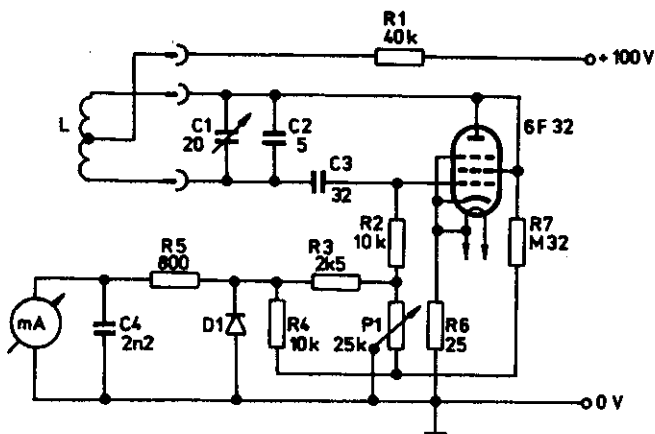
Obr.63.  $\text{QO}$  s kompenzací citlivosti

mřížkového proudu je podle obr.61c/ značný a někdy lze obtížně číst jeho hodnotu v okolí nulové výchylky.

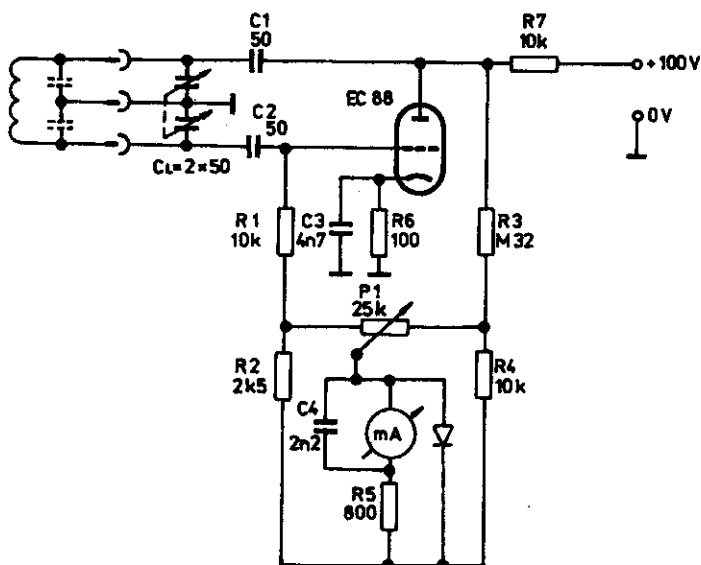
Proto se více používá kompenzační metody pro měření mřížkového proudu. Zapojení je na obr.63. Měřicí přístroj je v můstkovém zapojení, které umožňuje regulaci citlivosti měřícího přístroje. Při minimu mřížkového proudu můžeme tak nastavit výchylku ručičky do druhé poloviny stupnice. Tím se značně zvýší citlivost a odečítání kmitočtu na přístroji. Této kompenzace využívá i měřič rezonance TESLA BM 342, jehož zapojení je na obr. 64. Určitou nevýhodou zapojení na obr.64 pro amatérské použití je izolovaný ladící kondenzátor. Dělič  $C_L$  je zde nahrazen odbočkou na cívce. Zapojení lze změnit podle obr.65. Někdy je výhodné použít malý ladící dual s kapacitou 2 x 20 až 50 pF a pro nižší rozsahy připájet paralelní kapacity přímo k cívce. Jednotlivé rozsahy budou mít menší kmitočtový rozsah. Zlepší se ale čtení kmitočtu na stupnici. Při tomto řešení potřebujeme více výměnných cívek. Pro dosažení vysokých kmitočtů používáme VKV triody, např. EC 88.

Zapojení na obr.66 je popsáno v /13/. Měřicí obvod tvoří elektronkový můstkový voltmetr, jehož jedna větev je nahrazena elektronkou  $E_2$ . Opět můžeme výchylku voltmetru kompenzovat kladným napětím. Pro kmitočty v oblasti pásma 432 MHz lze použít zapojení na obr.67. Cívku tvoří smyčka plochého vodiče o délce asi 50 mm. Montáž musí být provedena technikou na VKV.

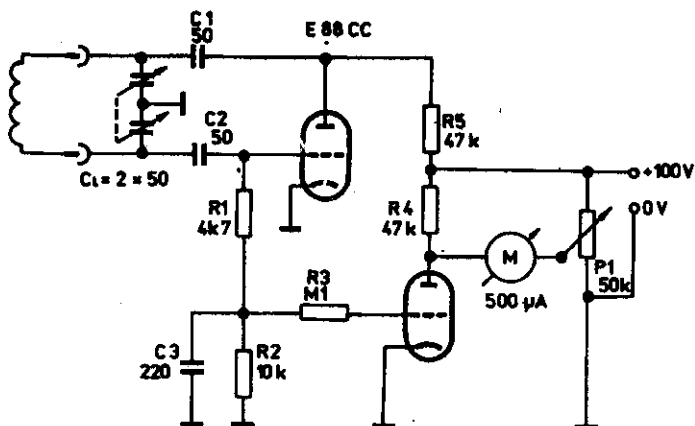
Pro kmitočty nad 500 MHz se nepoužívá klasického LC obvodu z cívky a kondenzátoru. Používá se laděné čtvrtvlnné vf vedení, které je na jednom konci zkratované. Tento laděný obvod je obvykle vyroben koaxiálně, případně jako dutinový rezonátor. Ama-



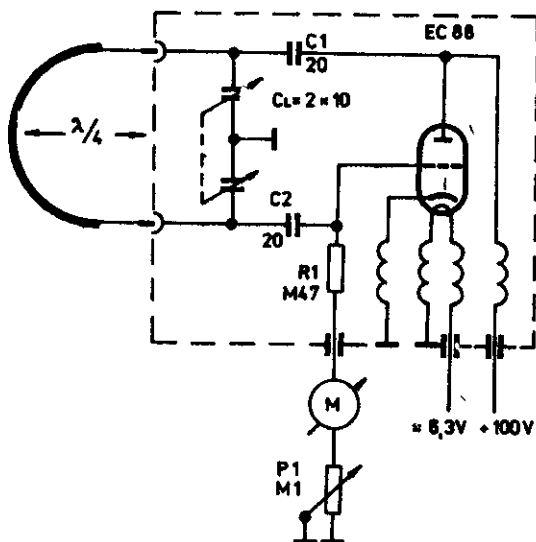
Obr. 64. Měřič rezonance 6M 342



Obr. 65. QD pro vyšší kmitočty s kompenzací



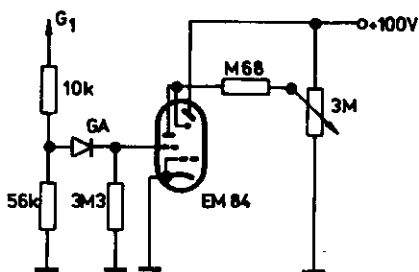
Obr. 66. GDO s elektronkovým voltmetrem



Obr. 67. GDO pro VKV



térské výrobky jsou podobny továrním absorbním vlnoměrům jako jsou BM 387 a BM 333, které mají mezní kmitočet 1,3 GHz. Na obr. 68 je zapojení elektronického indikátoru vyladění. V našem případě nahrazuje ručkový měřicí přístroj. Matnice ukazatele je



Obr.68. Indikace s elektronkou EM 84

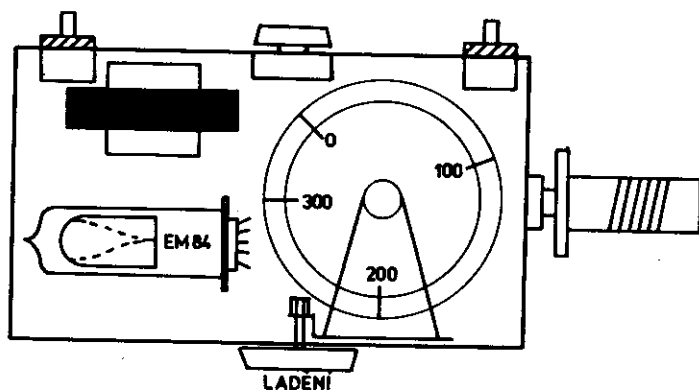
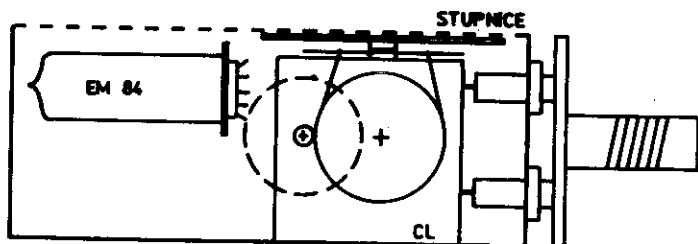
velmi citlivá a lze indikovat i různé modulační při monitorování vř signálu. Nevýhodou je špatná čitelnost při měření na slunci. Výhoda použití elektronického ukazatele vyladění je jen u elektronkového GDO, protože je k dispozici žhavicí i anodové napětí. Na obr.69 je uspořádání elektronkového přístroje. Někdy je výhodné rozdělit přístroj na dva celky:

a/ generátor s elektronkou, ladícím kondenzátorem a výměnnými cívkami

b/ napájecí díl s indikátorem

Vzhledem k tomu, že elektronkový GDO bude stavět vážný zájemce, zabývající se převážně měření antén, lze doporučit podrobnosti ke stavbě v literatuře /1 až 17/.

V závěru je nutno opět připomenout to, co bylo řečeno o bezpečnosti ochrany proti dotykovému napětí. Těžko se nám podaří

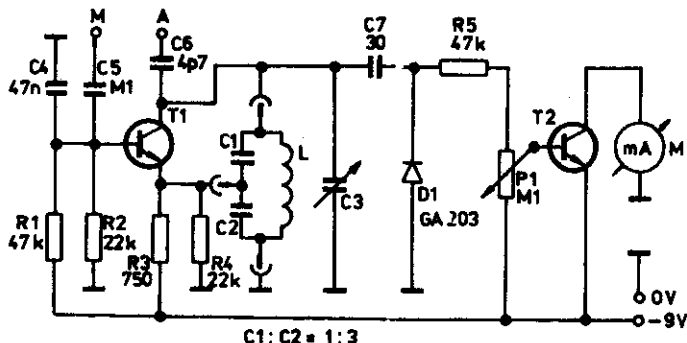


Obr.69. Rozložení součástek GDO

přístroj vyrobit tak, aby splňoval podmínky dvojité izolace. Pak musí být připojen třížilovou šňůrou se správně připojeným ochranným vodičem. Kontrolu správnosti musí provést zkušená osoba s kvalifikací podle vyhlášky č.50/78 Sb. Jen tak zajistíme, že vyrobený přístroj bude bezpečný.

### 6.3 TRANZISTOROVÝ GDO

Širokému kmitočtovému rozsahu dobře vyhovuje zapojení s usemněnou bází podle obr.70. Při použití tranzistorů s vysokým  $f_T$  lze dosáhnout kmitočtu 200 MHz. K indikaci rezonance se obvykle v tranzistorových GDO detekuje střídavé napětí odebírané z LC

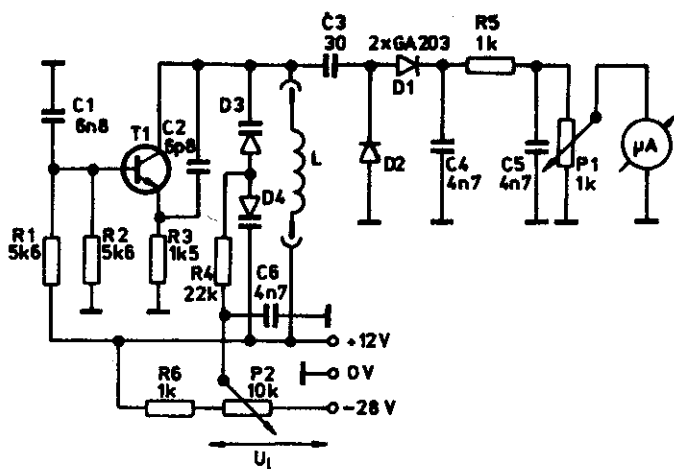


Obr.70. Tranzistorový GDO se zesilovačem

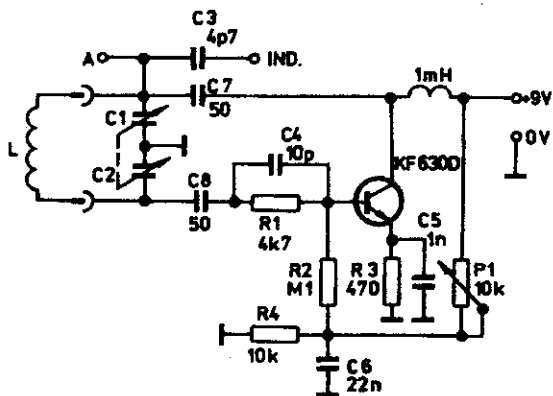
obvodu. Na obr.70 je použit stejnosměrný zesilovač a měřidlo s menší citlivostí. Na obr.71 je použit zdvojovač napětí a citlivé měřidlo. Pokud k ladění použijeme varikapy, musíme použít vyšší ladící napětí, až 28 V.

Obdobu elektronkového zapojení je na obr.72. Jedná se v podstatě o tříbodové zapojení oscilátoru. S uvedeným tranzistorem KF 630 D a kondenzátorem 2 x 100 pF lze dosáhnout rozsah 1 až 200 MHz se sedmi cívkami. Hodnoty cívek jsou pro orientaci v tabulce 18.

Mimo indikace ručkovým měřidlem lze použít indikaci rezonance pomocí diody LED. Zapojení je na obr.73. Vzorek střídavého



Obr.71. QPO laděný varikapem

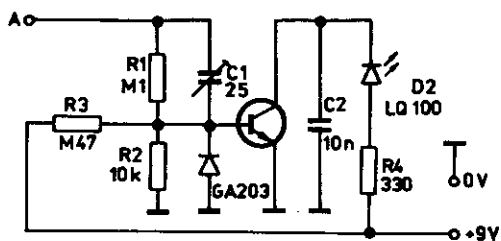


Obr.72. Jednoduchý QPO s výměnnými cívkami

Tabulka 18. Hodnoty cívek pro absorbní vlnoměr

pásmo [MHz]	indukčnost [ $\mu\text{H}$ ]	počet závitů	odbočka	průměr cívky [mm]	kapacita C2 [pF]
1,5 - 5	25	25	5	28	500
3 - 16	5	12	3	40	500
5 - 30	1,5	5	1	40	500
1,8	170	90	4	28	50
3,5	40	60	2,5	28	50
7	10	13	2	28	50
14	2,5	6	1,5	28	50
21	1,2	5	1,5	28	50
28	0,8	5	1	28	50

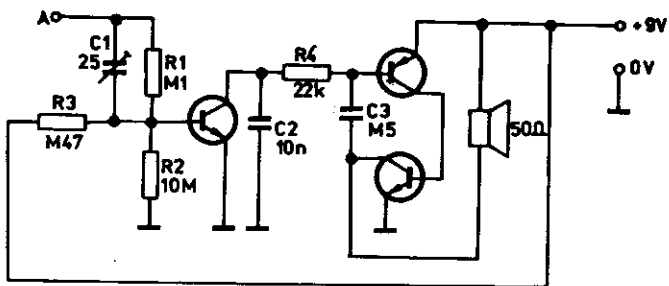
napětí se převede na detektor, stejnosměrným proudem tranzistor  $T_1$  sepne a dioda  $D_2$  bude indikovat sepnutý stav. Při poklesu amplitudy oscilací /odsání energie při rezonanci/ tranzistor  $T_1$



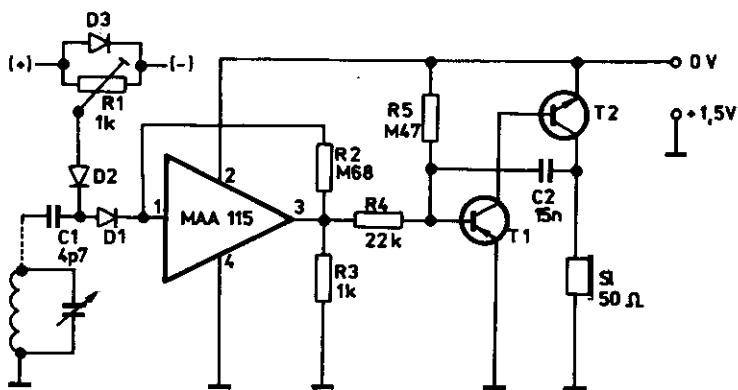
Obr.73. Indikátor s diodou LED

rozepne a dioda  $D_2$  zhasne. Je to obdobné jako u měřicího přístroje.

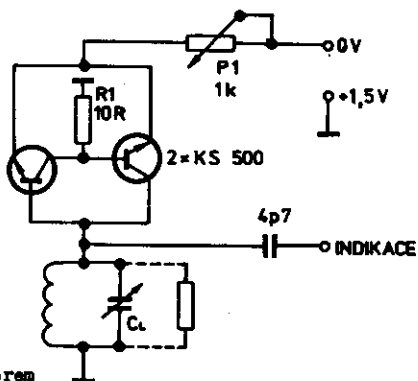
Výhodnější je zvuková signalizace. Při rezonanci dojde ke snížení kmitočtu nf oscilátoru, jenž je řízen stejnosměrným napětím. Zapojení je na obr.74 a 75. Zapojení na obr.75 a 76 je



Obr.74. Akustický indikátor



Obr.75. Akustický indikátor s detektorem



Obr.76. GDO s negativním odporem

převzato z pramene /5/. Zapojení vř oscilátoru je odlišné než dosud zveřejněná. Je prvně u nás použito ve /4/. Jeho výhodou je velmi nízké Q leděného obvodu, kdy vlivem záporného diferenciálního odporu, který tvoří tranzistory v uvedeném zapojení, je stále splněna podmínka pro oscilace. Přitom můžeme použít tranzistorů obou polarit, změní se jen napájení. Další výhodou zapojení na obr.76 je malé napájecí napětí, pouze 1,5 V.

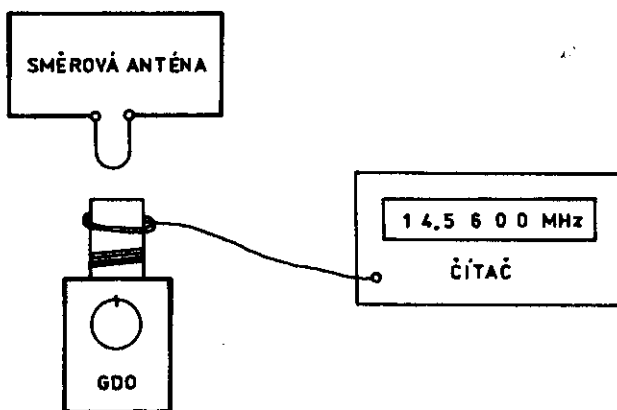
Závěrem zdůrazňujeme to, co autor ve své práci /5/ o tomto GDO uvádí.

a/ větší citlivost, díky citlivosti sluchu na změnu tónu

b/ nezeměstnává zrak při měření

c/ dobrá indikace i při rychlém přeladování

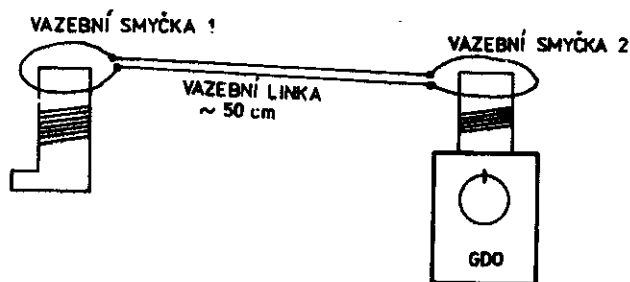
Je faktem, že oscilátor nemá nijak výjimečnou stabilitu. Při amatérských měřeních není na závalu dlouhodobá stabilita  $\pm 10$  kHz. Pokud potřebujeme kmitočet určit přesněji, je nutná kalibrace. Při měření je možné použít také čítače, jak ukazuje obr. 77.



Obr.77. Kontrola kmitočtu GDO pomocí čítače

Tranzistorový přístroj pro měření rezonance, GDO, patří mezi jednodušší přístroje. Přesto prokáže neocenitelné služby při stavbě vř zařízení. Neměl by proto chybět v žádné amatérské dílně, kde se rodí nový vř přístroj. Své uplatnění najde také v anténářské technice, kde pomůže kvalitně přenášet mnohdy velmi precně získanou energii z antény do přijímače.

Měření kmitočtů pomocí měřiče rezonance vyžaduje určitý cvik. Hlavní zásadou je malá vazba a měřeným obvodem. Nejdříve se snažíme nalézt výrazný pokles základní výchylky a pak zvětšíme vzdálenost mezi přístrojem a měřeným obvodem. Při měření na obvodech, ke kterým se s cívkou nedostaneme, můžeme použít pomůcku na obr.78. Vazební smyčky zhotovíme podle průměru měře-



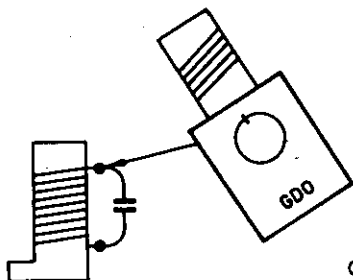
Obr.78. Použití vazební linky

né cívky a výměnné cívky u GDO. Někdy je výhodné měřit pomocí kapacitní vazby /výstup A na obr.70/, jak je znázorněno na obr. 79. Zvlášť to oceníme tam, kde je vedle sebe více cívek.

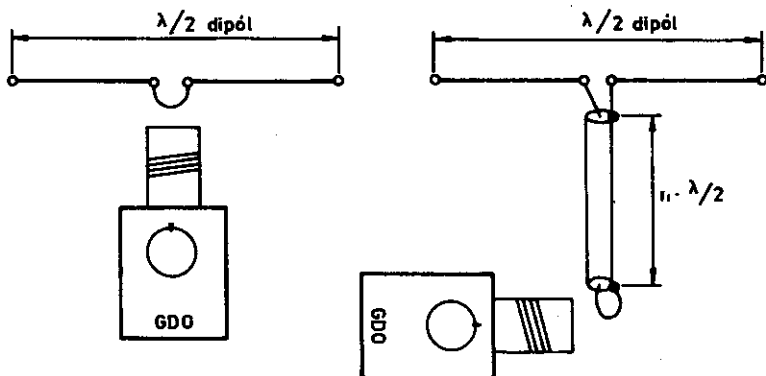
Chceme-li měřit rezonanční kmitočet antény, musíme jej měřit přímo na anténní svorce. Pokud měříme pomocí napáječe, musíme mít jistotu, že na daném kmitočtu má napáječ elektrickou délku rovnou polovině vlny. Jen v tom případě je měření správné. Způ-



sob měření je znázorněn na obr.80. O správné délce napáječe se můžeme přesvědčit pomocí GDO. Anténu odpojíme a vedení zkratuje-  
me. GDO ukáže rezonanci čtvrtvlnného vedení. O zjištění zkraco-



Obr.79. Měření pomocí kapacitní vazby

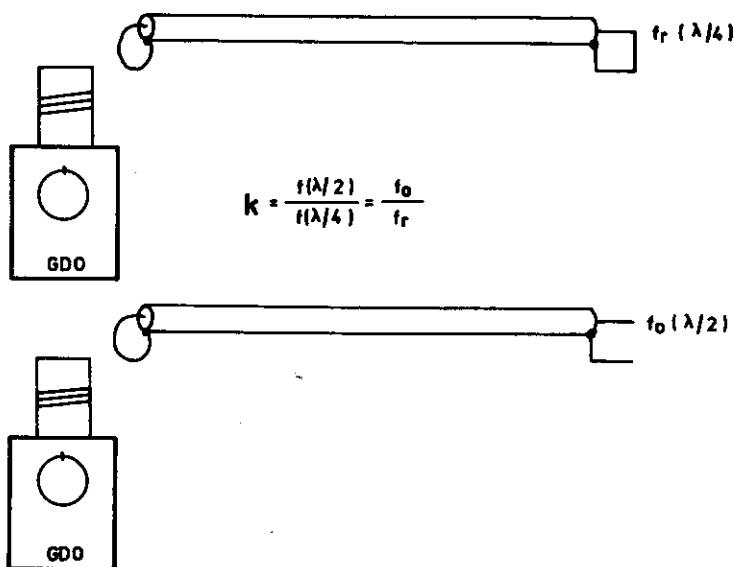


Obr.80. Měření rezonance antény

vacího činitele napáječů jsme již hovořili. Např. podle obr.81 bude rozpojená linka rezonovat na kmitočtu 20,8 MHz, zkratovaná linka na kmitočtu 28,2 MHz. Pak zkracovací činitel linky bude

$$k = \frac{f_o}{f_R} = \frac{20,8}{28,2} = 0,73$$

Pak můžeme pro určitý kmitočet vypočítat přesně délku napáječe. Např. pro anténu na amatérské pásmo 20 m zvolíme střední kmitočet 14 200 kHz. Půlvlnná délka pro tento kmitočet je 10,56 m.



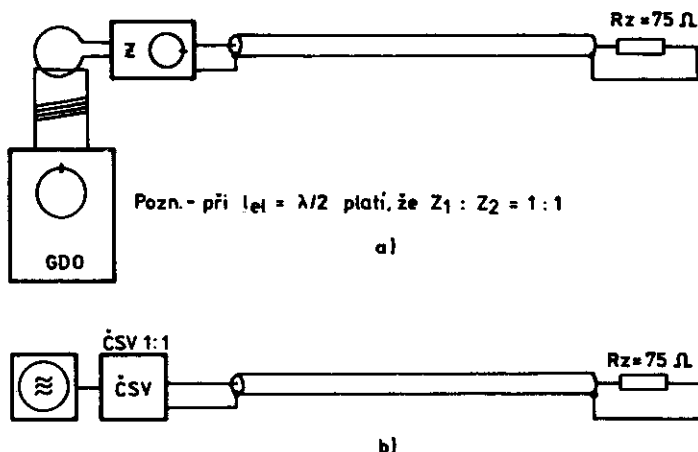
Obr.81. Měření zkracovacího činitele vedení

Pak fyzikální délka pro užitý napáječ bude

$$l_{\text{skut}} = l_{e1} \cdot k = 10,56 \cdot 0,73 = 7,71 \text{ m}$$

Můžeme pak použít násobky této délky 7,71 - 15,42 - 23,13 - 30,84 m. O správnosti délky napáječe se můžeme ještě přesvědčit pomocí impedančního můstku, anebo pomocí ČSV. Princip je znázorněn na obr.82. Při použití měřiče impedance v případě obr. 82a/ musíme naměřit stejnou hodnotu, jakou má  $R_z$ . U zapojení na obr.82b/ měříme pomocí odraženého výkonu.

GDO slouží v příkladu na obr.82a/ jako zdroj kmitů, vř generátor. Je výhodné, zavedeme-li do generátoru modulaci. Příklad zavedení modulace je na obr.70 označen M. GDO můžeme vybavit vhodným nř generátorkem, anebo zavřst vnřjší modulaci. Mnohdy



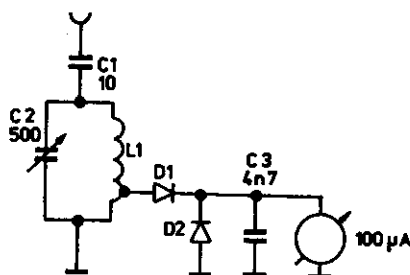
Obr.82. Měření impedance pomocí můstku a ČSV

můžeme touto modulací zvýšit výstupní výkon z GDO. Hlavní důvod zavedení modulace je, abychom při použití GDO jako oscilátoru mohli tento signál přijímat z reproduktoru měřeného přijímače.

Ve většině případů můžeme přístroj využít jako absorbční vlnoměr. Vypneme-li napájení pro aktivní prvek, oscilátor nekmitá. Přiblížíme-li se cívkou GDO ke kmitajícímu obvodu, nakmitá se největší napětí na LC obvodě GDO v poloze ladícího kondenzátoru, kdy bude LC obvod v rezonanci na stejném kmitočtu, jako kmitající obvod. Citlivost přístroje se řídí změnou vazby. Vř energii můžeme také přivřst pomocí kapacitní vazby /bod A na obr.70/.

## 7. MĚŘENÍ KMITOČTU ABSORBČNÍM VLNOMĚREM

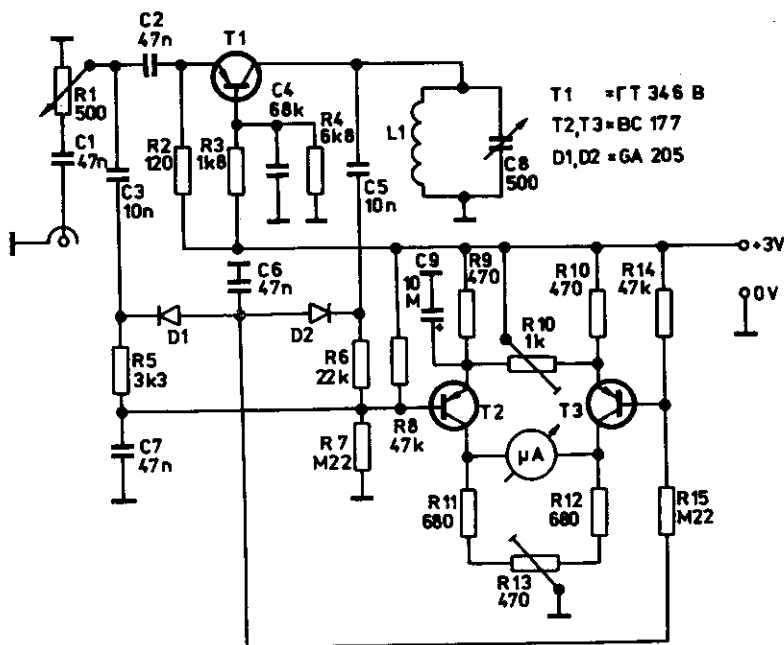
Hlavně ve vysílací technice je vhodné sestrojít samostatný přístroj na měření kmitočtu. Před střídavý voltmetr přiřadíme laděný obvod. Zapojení je na obr.83. Pokud se použije ladící



Obr.83. Zapojení absorbčního vlnoměru

kondenzátor  $C_2$  s malou počáteční kapacitou, lze dosáhnout kmitočtu 5 až 30 MHz s jedinou cívkou. Pro nižší rozsah 1,5 až 5 MHz je vhodné cívkou  $L_1$  navinout na dvouotvorové televizní jádro z hmoty N1. 10 závitů na středním sloupečku představuje indukčnost asi 25  $\mu\text{H}$ . Abychom se vyhnuli různým přepínačům, je výhodné vyrobit absorbční vlnoměr širokopásmový /5 až 30 MHz/ a úzkopásmový, jen pro jedno pásmo. Cívky mohou být vzduchové, vinuté např. na novodurovou trubku o  $\varnothing$  30 až 40 mm. Potřebné údaje jsou v tab.18. Absorbční vlnoměr na obr.83 je vhodný pro měření síly pole. V tomto případě se doplní malou anténkou. Stejným způsobem můžeme měřit kmitočet oscilátoru za oddělovacím stupněm. Při vyšších kmitočtech, nad 20 MHz, je nutno zmenšit kapacitu  $C_1$  na 2 až 3 pF, aby neovlivňovala laděný obvod.

V praxi často měříme na nízkých impedancích a malé úrovni napětí, řádově desítky mV. Pro tato měření zhotovíme absorbní vlnoměr s vyšší citlivostí, podle zapojení na obr.84. Mezi vstup

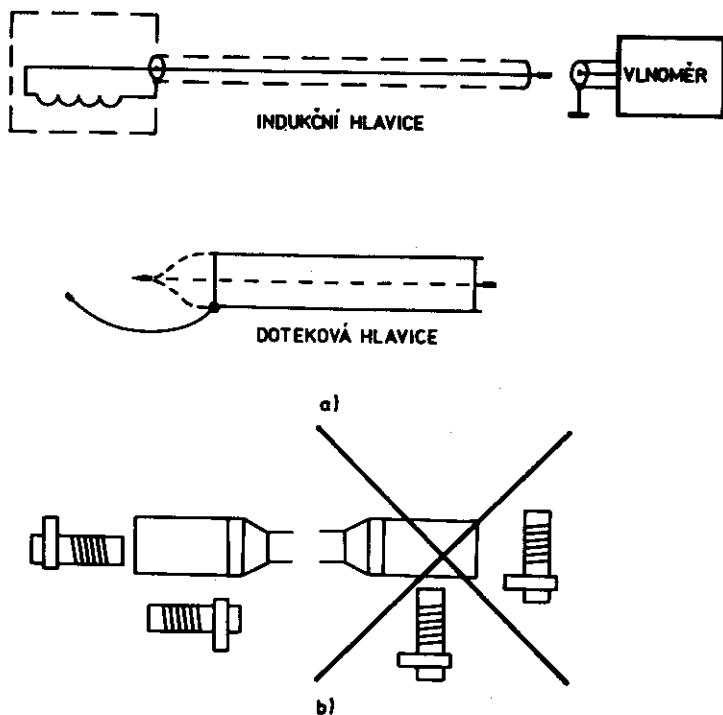


Obr.84. Vlnoměr s vyšší citlivostí

a leděný obvod je zařazen impedanční převodník, tranzistor v zapojení se společnou bází. Indikátor rezonance je v můstkovém zapojení. Diody  $D_1$ ,  $D_2$  zajišťují napájení můstku jen v případě, když je laděný obvod v rezonanci. Na vstup je možné použít kapacitní i induktivní vazbu.

Na obr.85a/ jsou zakresleny výměnné měřící šňůry k vlnoměru. Pro kapacitní vazbu potřebujeme dotekovou hlavici opatřenou

uzemňovacím kablíkem. Propojení je pomocí stíněného vodiče. Pro větší napěťové úrovně je vhodné do sondy instalovat přepínatelný útlumový článek. Pro induktivní měření opatříme hlavici cív-  
 ný



Obr.85. Měření pomocí vlnoměru

kou s několika vazebními závity /2 - 5 závitů, podle kmitočtu/. Jako kryt vazební cívky poslouží schránka na barevné filmy. Způsob měření pomocí induktivní sondy je na obr.85b/. Osy vazební cívky a měřené cívky musí být v souběžné ose.

Cejchování vlnoměru provedeme pomocí dobrého signálního generátoru. Je výhodné kmitočet kontrolovat čítačem. Kondenzátor

$C_g$  musíme opatřit převodem alespoň 1 : 10, jinak je ladění poměrně obtížné. K zhotovení cívek  $L_1$  můžeme použít tab.18, ale platí Thomsonův vzorec. Hodnotu indukčnosti lehce zjistíme podle tab.15 a 16 pro jakýkoliv ladící kondenzátor  $C_g$ . V zapojení podle obr.84 nemusí být cívky tak velkého průměru, jako v tab. 18. Stačí malé kostičky  $\varnothing$  8 až 10 mm, kterých je dostatek ze starých televizorů.

---

## 8. VYSOKOFREKVENČNÍ GENERÁTORY

---

V radioamatérské praxi je použití generátoru měřicího signálu tak samozřejmé, jako je použití voltmetru, osciloskopu nebo měřiče impedance. Použití generátorů vf kmitů je mnohostranné. Jsou nezbytné pro měření na přijímačích, ať již se jedná o kalibraci kmitočtu, nebo o měření citlivostí. Při měření vlastností součástek a obvodů slouží generátory k buzení měřeného objektu. Jsou pak součástí jiného měřicího přístroje. Můžeme připomenout měřiče L a C, měřiče Q. Generátory kalibračních kmitočtů obsahují všechny digitální měřicí přístroje. U osciloskopu nazýváme generátory časovými základnami. Každý kmitočet je přesně definován časovým úsekem jednoho kmitu. Proto je při některých měřeních výhodnější označovat kmitočet v časové jednotce.

V knihách a časopisech je publikována celá řada různých generátorů. Před stavbou generátoru musíme stanovit jeho hlavní vlastnosti a těm pak podřídít celou stavbu. Pro amatérský generátor platí:

a/ kmitočtový rozsah

- b/ dobrá stabilita a čitelnost kmitočtu
- c/ nastavitelná úroveň výstupního napětí
- d/ konstantní výstupní impedance

a/ Kmitočtový rozsah většinou volíme v rozsahu od 100 kHz do 30 MHz. Tento rozsah rozdělíme nejméně do pěti dílčích rozsahů. Je to z důvodů přeladitelnosti oscilátoru a také proto, aby byla stupnice přehledná. Pro některé účely stačí generátor s jediným rozsahem. Např. pro nastavování mezifrekvenčních zesilovačů v oblasti 450 kHz stačí přeladitelnost generátoru od 430 do 470 kHz. Tím dosáhneme jemného ladění v požadovaném pásmu.

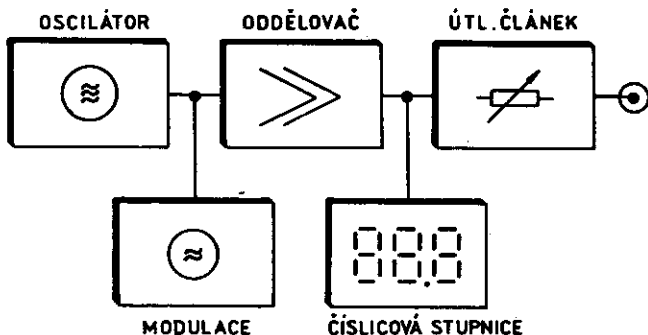
b/ Stabilita kmitočtu oscilátoru je dána mechanickou i elektrickou konstrukcí. Součástky, které se podílejí na tvorbě oscilačního napětí, musí být kvalitní a teplotně stabilní. Velmi důležitá je dobrá stabilizace napájecího a výstupního napětí. Cejchování stupnice s kalibračními body patří k základním požadavkům, má-li sloužit generátor jako normálový zdroj kmitočtu. Dobrá stupnice musí mít dostatečnou délku a tím také vhodný převod s ladícím kondenzátorem. Je celá řada převodů. Pro generátor je výhodná přehledová podélná stupnice. Většinou je pak převod řešen pomocí lanka. Návodů je celá řada a prakticky můžeme tyto převody najít v každém přijímači. Lepší generátory mají výstup konstantního napětí, např. 0,1 V, pro připojení čítače. Pak může být stupnice jen orientační. Tovární generátory jsou číslicovou stupnicí již vybaveny.

c/ Dobrý generátor musí mít možnost nastavit výstupní úroveň



napětí. Jednoduché generátory mají na výstupu emitorový sledovač a pomocí potenciometru se nastaví výstupní úroveň. Lepší přístroje mají na výstupu útlumový článek, který má definovaný výstupní odpor. Útlumový článek se zařazuje do výstupního obvodu. Velmi výhodný je dekadický útlumový článek, jenž je cejchován v dB. Obvykle pak obsahuje přepínač po deseti dB a další po jednotkách dB. Obvyklý rozsah pak je 0 - 110 dB. Přitom je důležité, aby byla stabilizována výstupní úroveň napětí v oscilátoru pomocí zpětnovazební smyčky.

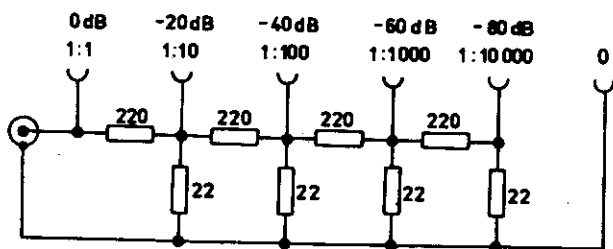
d/ Aby byl oscilátor stabilní, nesmí se příliš zatěžovat. Proto je podle blokového schématu na obr.86 zařazen mezi oscilátor a výstupní zeslabovač zesilovač. Aby se dosáhlo malého



Obr.86. Blokové schéma generátoru

výstupního odporu, bývá koncový stupeň zesilovače zapojen jako emitorový zesilovač, nebo dvojitý stupeň, často osazený komplementární dvojicí tranzistorů. Výstupní odpor je zajištěn zapojením zeslabovače, obvykle do tvaru pí. Na obr.87 je jedno-

duchý řetězový dělič, který udržuje stálý výstupní odpor 75 ohmů. Jednotlivé články se musí mezi sebou stínit. Pro výstup 1 : 1 se nastaví celistvá hodnota napětí 1 V nebo 100 mV.

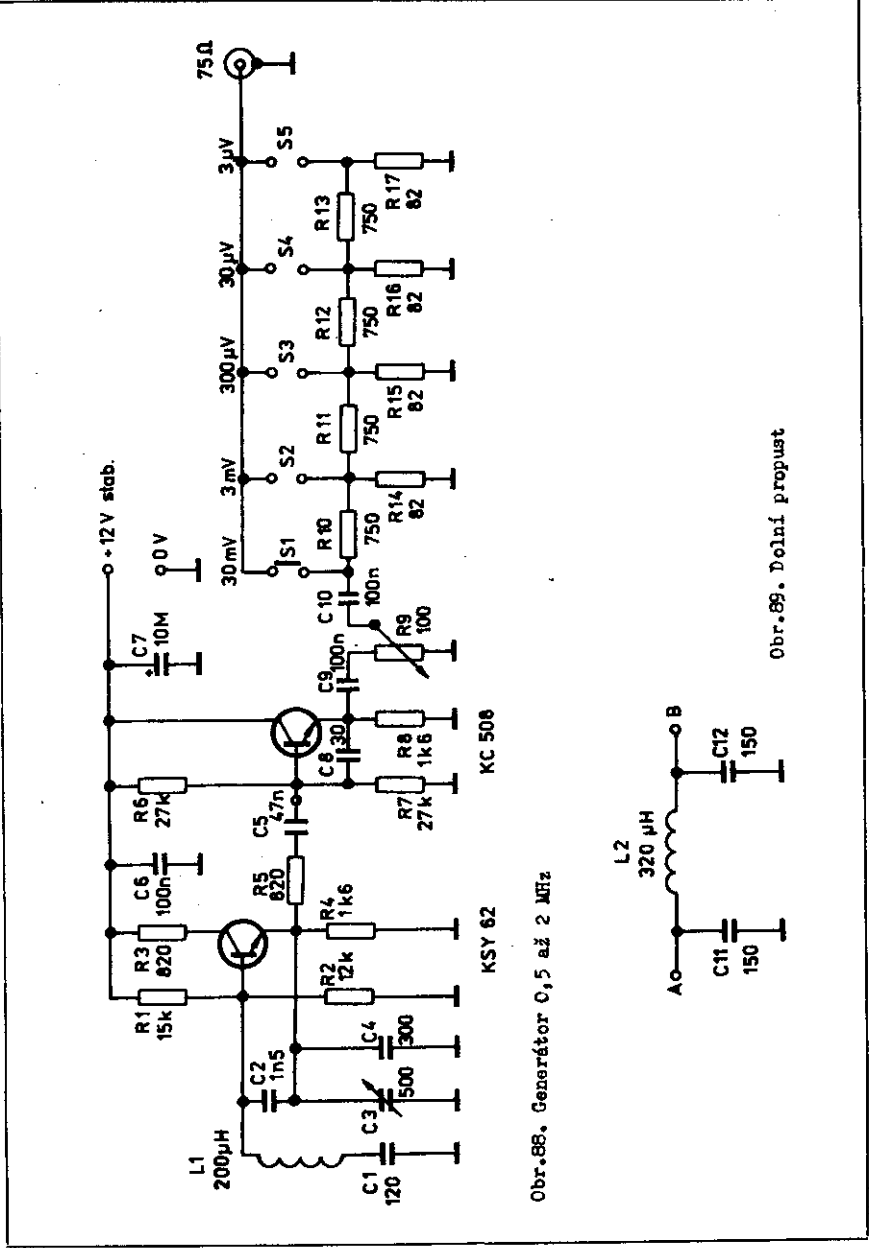


Obr.87. Útlumový článek

### B.1 JEDNODUCHÝ GENERÁTOR 500 kHz AŽ 2 MHz

Na obr.88 je zapojení oscilátoru pro jeden rozsah s oddělovacím stupněm. Cívka oscilátoru je navinuta na hrníčkovém jádře s indukčností okolo 200  $\mu\text{H}$ . Ladičící kondenzátor je běžný rozhlasový typ okolo 500 pF. Jedná se o běžné tříbodové zapojení oscilátoru. Výstup napětí je z emitorového sledovače, což zajišťuje nízký výstupní odpor. Regulace výstupního napětí se provádí pomocí  $R_9$ . Do bodu A - B je možno zapojit dolnofrekvenční propust podle obr.89, čímž se zmenší zkreslení výstupního signálu. Generátor je napájen z tří plochých baterií napětím 13,5 V. Při větších nárocích je nutná stabilizace např. 12 V.

Cejchování provedeme tak, že na výstup připojíme střídavý milivoltmetr a nastavíme 30 mV. Přitom kmitočet bude uprostřed pásma na 1 MHz. Pak oscilátor přeladíme na vyšší kmitočet, 2 MHz. Pokud bude napětí nižší, zvětšíme hodnotu  $C_5$ , případně



Obr. 88. Generátor 0,5 až 2 MHz

Obr. 89. Dolní propust

KSY 62 KC 508

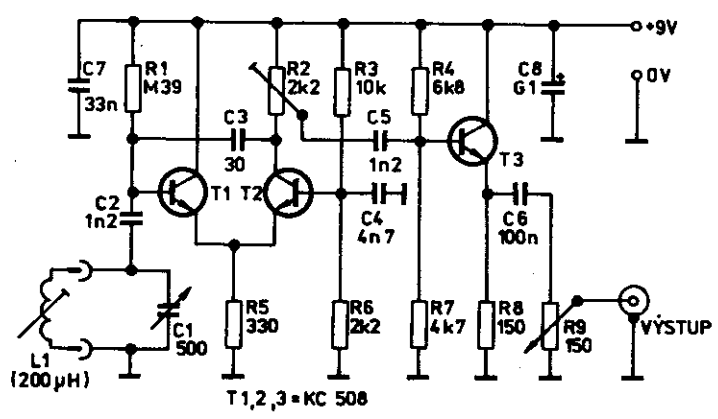
C<sub>9</sub>. Snejíme se, aby bylo napětí na výstupu rovnoměrné v celém rozsahu 0,5 až 2 MHz.

### 8.2 GENERÁTOR S ROZSAHEM 0,1 AŽ 30 MHz

Zapojení generátoru s větším kmitočtovým rozsahem je na obr. 90. Jednotlivé rozsahy se mění výměnou cívky L<sub>1</sub>. Použijeme-li přepínače, zjednoduší se obsluha. Hodnoty cívek jsou v tab.19.

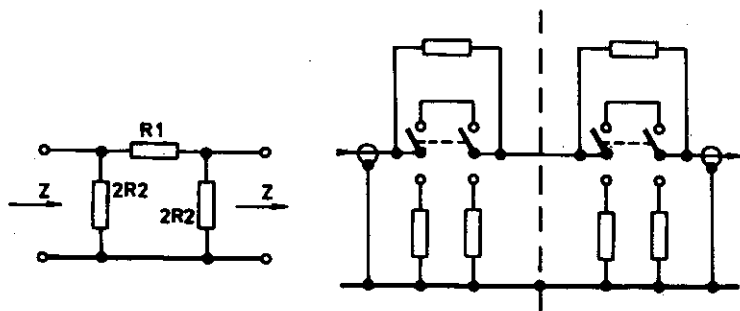
Tabulka 19. Hodnoty cívek oscilátoru podle obr.90

Rozsah [MHz]	L1 [μH]
0,1 - 0,5	2 500
0,5 - 1	200
1 - 5	25
5 - 10	3
10 - 30	0,5



Obr.90. Jednoduchý generátor 0,1 až 30 MHz

Kondenzátory  $C_2, C_3, C_5$  musí být slídivé nebo styroflexové. Ostatní kondenzátory musí být pro vf účely. Pokud použijeme keramické blokové kondenzátory, musí být označeny písmeny X, Y, Z. Nevhodné jsou s označením N.



$$R1 = Z \cdot d$$

$$R2 = \frac{Z}{Z \cdot C}$$

Útlum [dB]	Konstanta C	Konstanta d
1	0.06	0.11
2	0.11	0.23
3	0.17	0.36
6	0.33	0.75
10	0.51	1.42
20	0.82	4.94

Obr.91. Útlumový článěk

Pozornost věnujeme výstupnímu obvodu. Nejlépe je použít děliče vf v podobě TT článku. Základní zapojení a výpočet je na obr.91. Jednotlivé útlumové články řadíme do série a spínáme pomocí přepínačů. K přepínání se používají přepínače Isostat anebo mikrospínače. Obojí se napájí přímo do plošných spojů a

jednotlivé sekce se důkladně stíní. Podrobně je toto téma probráno v ročence Amatérského rádia 1982. V tab.20 jsou vypočtené

Tabulka 20. Hodnoty odporů útlumového článku

útlum [dB]	R1 [Ω]	R2 [Ω]	2 R2 [Ω]
1	8,25	625	1 250
2	17,25	340,9	681,8
3	27	220,5	441
6	56,25	113,6	227,2
10	106,5	75,6	150,6
20	370,6	45,7	91,4

hodnoty pro  $Z = 75$  ohmů. Jsou vybrány jen nejčastěji používané útlumy. Při vhodné konstrukci lze dosáhnout celkového útlumu až -140 dB. Při kalibraci měříme napětí na nejmenším útlumovém článku a výstup musí být zatížen jmenovitou impedancí 75 ohmů. Pak také při měření platí cejchovaný údaj výstupního napětí pouze v případě, že na generátor je zapojena jmenovitá zátěž. V případě, že zátěž má jinou impedanci, musíme výstupní napětí určit přepočtem

$$U_v = \frac{R_z}{R_z + R_i} \cdot 2 U_m$$

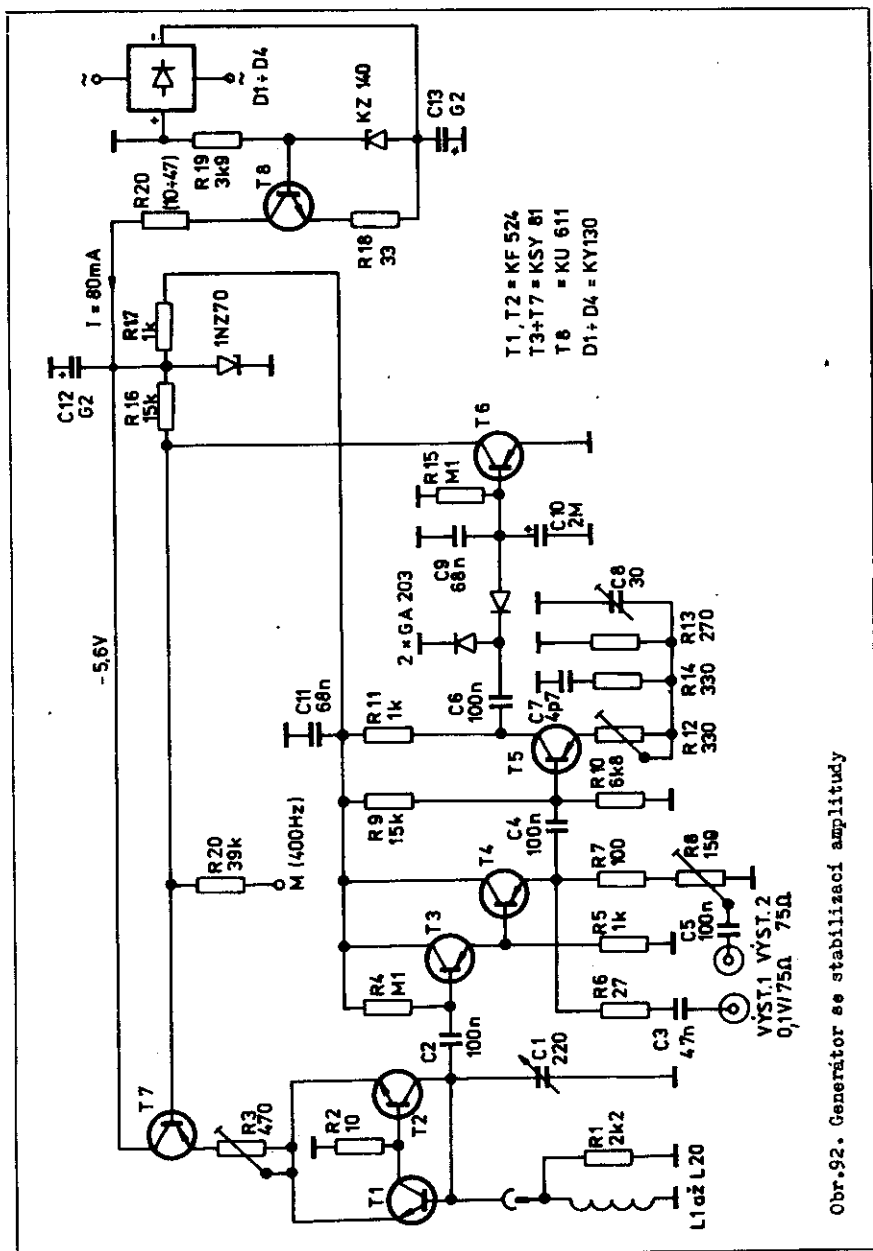
$U_v$  - výstupní napětí generátoru

$U_m$  - vstupní napětí na děliči

$R_z$  - zakončovací odpor zátěže

$R_i$  - vnitřní odpor generátoru /75 ohmů/

V případě, že  $R_z = R_i$ , bude napětí souhlasné se vstupem na děliči. Například měříme zesilovač, jehož vstupní odpor je 600



ohmů. Výstup generátoru je nastaven na úroveň 1 V

$$U_v = \frac{600}{600 + 75} \cdot 2 = 1,77 \text{ V}$$

Můžeme uvést další příklad pro  $Z = 50$  ohmů

$$U_v = \frac{50}{50 + 70} \cdot 2 = 0,8 \text{ V}$$

Proto při měřeních, kde potřebujeme znát skutečnou úroveň výstupního napětí generátoru, musíme vždy znát vstupní impedanci měřeného objektu.

### 8.3 GENERÁTOR SE STABILIZACÍ VÝSTUPNÍHO NAPĚTÍ

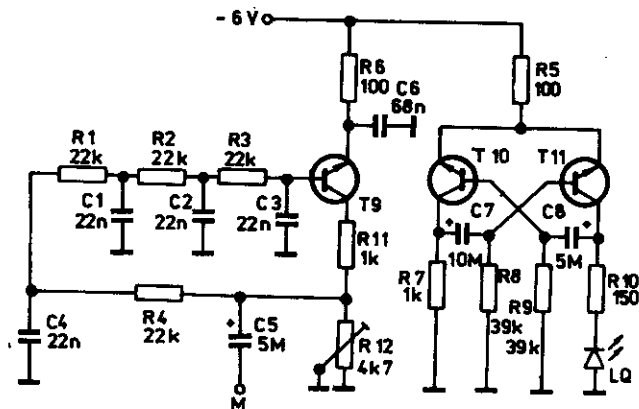
Dobrý generátor musí mít možnost regulace výstupního napětí cejchovaným výstupním děličem. Abychom mohli výstupní dělič ocejchovat, musí být konstantní výstupní odpor a stálé výstupní napětí v celém kmitočtovém rozsahu. Proto se užívá zapojení generátoru s regulační smyčkou, zabezpečující konstantní výstupní napětí. Takové zapojení oscilátoru je na obr.92. Oscilátor je tvořen LC obvodem, zapojeným do kolektorového obvodu T2. Tranzistor T2 pracuje s uzemněnou bází a tranzistor T1 plní funkci záporného odporu. Svým zapojením, jako emitorový sledovač, plní také funkci kladné zpětné vazby. Výhodou je dvoubodové zapojení LC obvodu. Tranzistory T1, T2 jsou napájeny pomocí regulačního tranzistoru T7, který je řízen stejnosměrnou smyčkou závislou na úrovni střídavého napětí na kolektoru T5. Zvětší-li se napětí na T5, otevře se více T6 a naopak T7 zvětší svůj odpor. Tím se sníží proud pro T1, T2 a amplituda kmitů se musí snížit. Regulační smyčka pracuje v oblasti kmitočtu 0,1 až 50 MHz s odchylkou  $\pm 0,1$  dB.



Tabulka 21. Hodnoty napětí na výstupu generátoru

útlum [dB]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	$5 \cdot 10^5$	$4,45 \cdot 10^5$	$3,98 \cdot 10^5$	$3,54 \cdot 10^5$	$3,16 \cdot 10^5$	$2,82 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^5$	$2,24 \cdot 10^5$	$1,99 \cdot 10^5$	$1,78 \cdot 10^5$
10	$1,58 \cdot 10^5$	$1,41 \cdot 10^5$	$1,26 \cdot 10^5$	$1,12 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$	$9,1 \cdot 10^4$	$7,95 \cdot 10^4$	$7,07 \cdot 10^4$	$6,3 \cdot 10^4$	$5,62 \cdot 10^4$
20	$5 \cdot 10^4$	$4,45 \cdot 10^4$	$3,98 \cdot 10^4$	$3,54 \cdot 10^4$	$3,16 \cdot 10^4$	$2,82 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^4$	$2,24 \cdot 10^4$	$1,99 \cdot 10^4$	$1,78 \cdot 10^4$
30	$1,58 \cdot 10^4$	$1,41 \cdot 10^4$	$1,26 \cdot 10^4$	$1,12 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^4$	$9,1 \cdot 10^3$	$7,95 \cdot 10^3$	$7,07 \cdot 10^3$	$6,3 \cdot 10^3$	$5,62 \cdot 10^3$
40	$5 \cdot 10^3$	$4,45 \cdot 10^3$	$3,98 \cdot 10^3$	$3,54 \cdot 10^3$	$3,16 \cdot 10^3$	$2,82 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	$2,24 \cdot 10^3$	$1,99 \cdot 10^3$	$1,78 \cdot 10^3$
50	$1,58 \cdot 10^3$	$1,41 \cdot 10^3$	$1,26 \cdot 10^3$	$1,12 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$	$9,1 \cdot 10^2$	$7,95 \cdot 10^2$	$7,07 \cdot 10^2$	$6,3 \cdot 10^2$	$5,62 \cdot 10^2$
60	$5 \cdot 10^2$	$4,45 \cdot 10^2$	$3,98 \cdot 10^2$	$3,54 \cdot 10^2$	$3,16 \cdot 10^2$	$2,82 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$2,24 \cdot 10^2$	$1,99 \cdot 10^2$	$1,78 \cdot 10^2$
70	$1,58 \cdot 10^2$	$1,41 \cdot 10^2$	$1,26 \cdot 10^2$	$1,12 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^2$	91	79,5	70,7	63	56,2
80	50	44,5	39,8	35,4	31,6	28,2	25	22,4	19,9	17,8
90	15,8	14,1	12,6	11,2	10	9,1	7,95	7,07	6,3	5,62
100	5,0	4,45	3,98	3,54	3,16	2,82	2,5	2,24	1,99	1,78

Výstup generátoru je veden z emitoru T4 na přímý výstup, určený pro čítač a z trimru R8 na další útlumový článek. Cívky L1 až L10 jsou přepínány kanálovým voličem z televizoru. Pro rozsahy do 10 MHz jsou k cívkám připojeny paralelní odpory 2k $\Omega$ . Toto tlumení kompenzuje nežádoucí parazitní kmitání v některých polohách kondenzátoru C1. Pro některá měření je vhodné signál



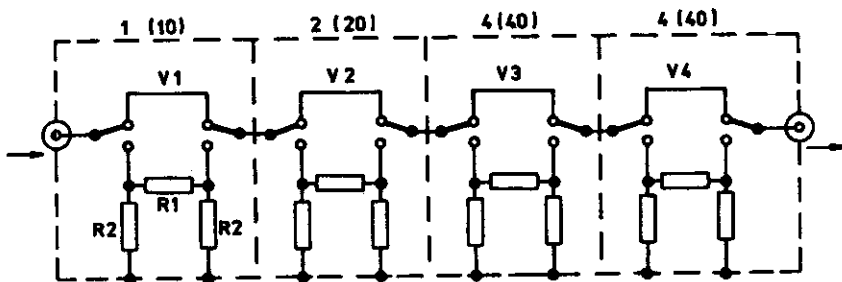
T9,10,11 = KC 508

Obr.93. Modulátor nf a indikátor zapnutí

oscilátoru modulovat nf signálem. Na obr.93 je zapojení sinusového oscilátoru o kmitočtu asi 800 Hz. Výstup je veden do řídicího obvodu T7, bod M. Pro indikaci zapnuté modulace slouží multivibrátor T10, T11. Zapojená LED dioda v kolektorovém obvodu T11 svým blikáním indikuje zapnutou modulaci. Se zapnutou modulací se také mění výstupní úroveň napětí. Proto je vhodné používat cejchovní tabulku při zapnuté modulaci. Tab.21 je určena pro modulaci AM a dělič 0-109 dB. Pokud je dělič dobře vyroben, stačí v poloze 0 dB měřit napětí 500 mV. Tím je cejchování

ukončeno. Pokud se v měření zabýváme častěji, je výhodný samostatný dělič v napětí se zabudovaným vstupním voltmetrem.

Útlumový člunek lze také realizovat úsporným způsobem, podle zapojení na obr.94. Desítkový dělič tvoří čtyři útlumové články



Obr.94. Zapojení útlumového člunku

spínané osmi mikrospínači. Jednotkový dělič je stejného provedení, jen má jiné hodnoty odporů, které jsou uvedeny v tab.22. Mikrospínače se spínají pomocí vačkového hřídele, jehož program nastavení vaček je v tab.23. Celý generátor musí být stíněn a zvlášť musí být stíněn vstup proti výstupu útlumového člunku.

Tebulka 22. Odporů útlumového člunku podle obr.94

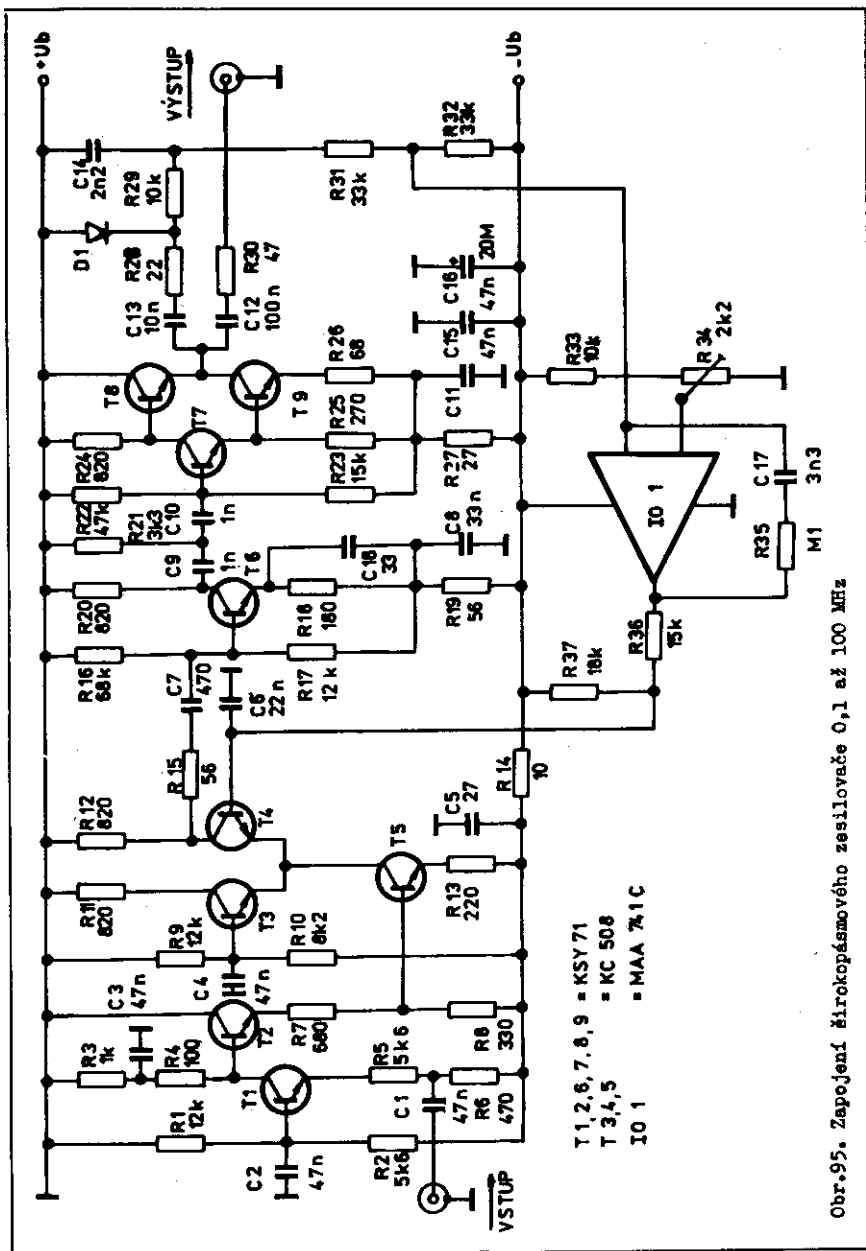
útlum dB	R1 [ $\Omega$ ]	R2 [ $\Omega$ ]
1	8,25	1 250
2	17,25	681,8
4	36	326
10	106,5	150,6
20	370,6	91,4
40	3 750	76,4

Tabulka 23. Program spínačů v útlumovém článku

př / dB	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
V <sub>1</sub>		x		x		x		x		x		x
V <sub>2</sub>			x	x			x	x			x	x
V <sub>3</sub>					x	x	x	x	x	x	x	x
V <sub>4</sub>									x	x	x	x
př / dB	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
V <sub>1</sub>		x		x		x		x		x		
V <sub>2</sub>			x	x			x	x				
V <sub>3</sub>					x	x	x	x	x	x		
V <sub>4</sub>									x	x		

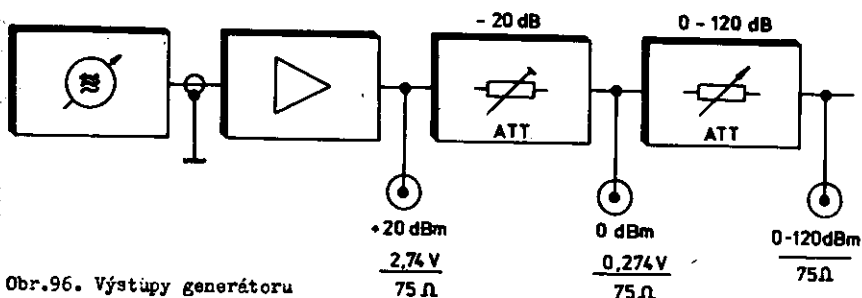
Zeslabení 119 dB při vstupním napětí 500 mV představuje výstupní napětí 0,56  $\mu$ V. Stínění musí být hlavně mezi desítkovými děliči. Osvědčilo se stínění železným plechem o síle 2 mm.

Požadujeme-li z generátoru vyšší výstupní napětí než 100 mV, je nutný širokopásmový zesilovač. Udržet konstantní výstupní úroveň v širokém kmitočtovém pásmu je značný problém. Proto jsou takové zesilovače řešeny opět s regulační zpětnovazební smyčkou. Zapojení na obr.95 je na první pohled složité. Zabezpečuje ale plně všechny kladené požadavky. Malý výstupní odpor je řešen zesilovačem se společnou bází T1. Regulační tranzistor T5 je napájen z emitorového sledovače a tvoří napájecí zdroj pro diferenciální zesilovač T3, T4. Tranzistor T3 má pevné předpětí. T4 je řízen zpětnovazební smyčkou, tvořenou detektorem výstupního na-



Obr. 95. Zapojení mikrokopírovacího zesilovače 0,1 až 100 MHz

pětí D1 a zesilovačem IO1. Výstupní zesilovač T6 až T9 pracuje do malé zátěže. Všechny tři stupně koncového zesilovače pracují s poměrně silnou zápornou zpětnou vazbou, tvořenou emitorovými odpory. Zapojení je převzato z přílohy AR 1982, kde je podrobný popis včetně plošných spojů.



Obr.96. Výstupy generátoru

Napětí se obvykle nastavuje pro úroveň 0 dB. Pro zvláštní nároky na vyšší úroveň napětí lze nastavit napětí podle zapojení na obr.96. Pro cejchovaný dělič 0-120 dB se trvale zařadí dělič -20 dB.

Nastavení této úrovně musíme cejchovat při zapnuté modulaci. Výhodou je, že údaj útlumového článku v dB je přímo úměrný normovanému napětí v dBm /platí, že 1 mW = 0 dBm, viz tab.13/.

## POUŽITÁ LITERATURA

1. JS, Tranzistorový sací měřič rezonance, RZ 10/73
2. Hellebrand Jiří, Tranzistorový měřič rezonance, AR A8/76
3. Inž. Zrůst Jiří, Sací měřič rezonance, AR A4/82
4. Brunnhofer V., Signální generátor a Qmetr, AR A8/81
5. Šrubař P., Měřič rezonance, AR A2/83
6. Novotný Vl., Postavte si GDO, RK 3/65
7. Gavora Jan, GDO 2,5 až 250 MHz, RK 3/65
8. Vechek Vl., Kombinovaný měřicí přístroj, RK 2/65
9. Přibyl Jar., Univerzální měřicí přístroj, RK 6/56
10. Slovák Boh., Měřič rezonance, AR 12/68
11. Kolesnikov Alex., Ultrakrátkovlnný GD oscilátor, KV 3/51
12. Kleskoň Boh., Merania v rádiotechnike, SNTL 61
13. Havlíček M., Příručka radiotechnické praxe, NV 58
14. Vitejček E., Elektrické měření, SNTL 76
15. Ikrényi I., Amatérské KV antény, ALFA 64, 72
16. Kleskoň Boh., Elektrotechnická měření, SNTL 76
17. Hyan Tomáš, Měření a sledování amatérských přijímačů

Účelová edice ÚV Svazarmu

Řídí Nina Erbenová

## STAVEBNÍ NÁVODY PRO RADIOTECHNIKU

7

Střídavá měření v amatérské radiotechnice

Knižnice zájmové, branně technické a sportovní činnosti.  
Vydal ústřední výbor Svazu pro spolupráci s armádou v Praze  
roku 1987 jako svou 2794. publikaci, 116 stran, 23 tabulek,  
96 obrázků.

Zpracoval Jan Bocek

Obálku navrhl František Prouza

Grafická úprava Miloslav Torn

Odpovědná redaktorka PhDr. Lenka Lukavská

Technický redaktor Jindřich Běhal

Náklad 3000 výtisků. Publikace je vydána pro vnitřní  
potřebu Svazarmu a rozšiřuje se bezplatně.

Vytiskla Modela, podnik ÚV Svazarmu, Hronov