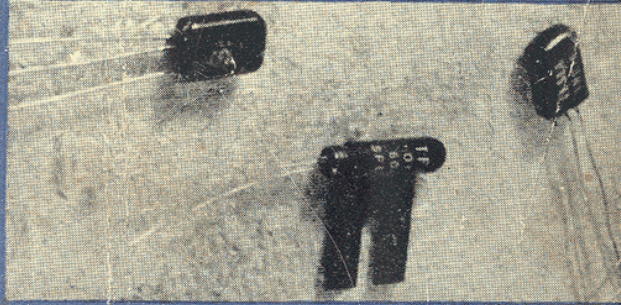
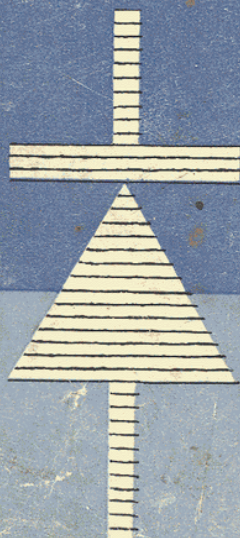
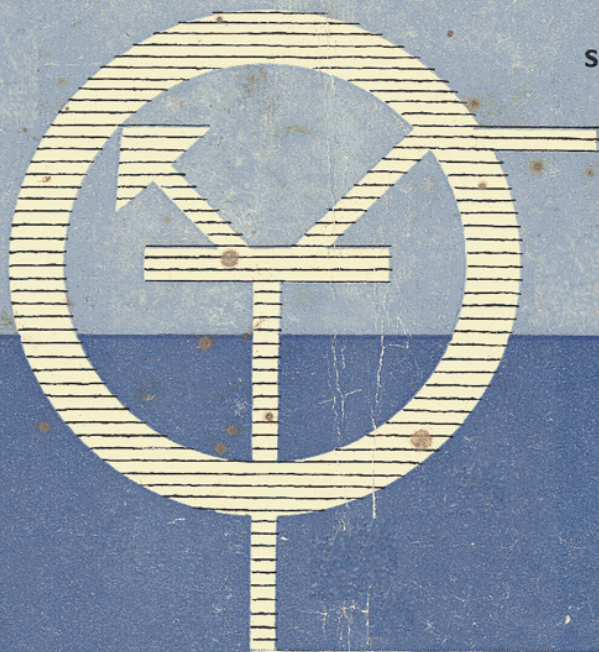


STAVEBNÍ NÁVOD A POPIS 37

SLÁVA NEČÁSEK



TRANZISTORY

A JEJICH POUŽITÍ

DOMÁCÍ POTŘEBY - PRAHA

SLÁVA NEČÁSEK

TRANZISTORY

a jejich použití v radioamatérské praxi

STAVEBNÍ NÁVOD A POPIS

Č. 37

Ve Vydavatelství obchodu vydává podnik

DOMÁCÍ POTŘEBY - PRAHA

ÚVODEM

Tento svazek není stavebním návodem na určitý tranzistorový přístroj. Chceme v něm poukázat na některé vlastnosti tranzistorů a okolnosti, jichž musíme dbát při stavbě, máme-li dosáhnout správného výkonu a nemají-li se polovodičové součásti poškodit.

Rozptyl parametrů je u tranzistorů značně velký a často nestačí jen sestavit přístroj přesně podle daného schématu. Hodnoty některých odporů musíme změnit podle tranzistoru. Kromě toho tranzistory a diody vyžadují opatrnost při pájení a zacházení vůbec; může je též vážně poškodit obrácení polaritý napájecího zdroje, proudové nárazy, rozkmitání koncového stupně atd.

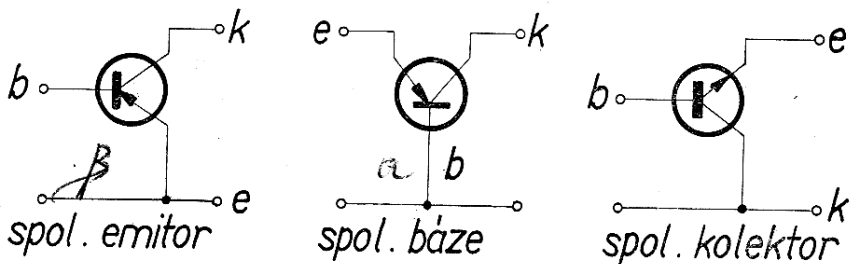
Sotva docílí dobrých výsledků amatér, který se drží názoru, že „je tam jen 6 voltů — tak co se při spojování může stát?“ Nezáleží totiž na výši napájecího napětí, ale na péči při stavbě a dodržování základních požadavků tranzistorů.

Tyto „maličkosti“, které autoři většinou považují za samozřejmé, bývají amatérům cizí nebo je opomíjejí, jak dokazují stížnosti na „špatný návod“! Polovodičová technika je obor natolik nový a speciální, že i zkušení „elektronkáři“ mohou mít potíže; to vše vyžaduje, aby se amatér s ní aspoň povšechně seznámil, než se pustí do stavby tranzistorového přístroje. A protože není možné, aby studoval dnes již obsáhlou literaturu, vznikly na četná přání aspoň tyto připomínky. To ovšem neznamená, že tento sešitek studium odbornější literatury nahradí!

AUTOR

2.0 ZAPOJENÍ TRANZISTORU

Podle toho, která elektroda tranzistoru je společná (příp. uzemněná), rozeznáváme (obr. 3): 1. zapojení s uzemněným emitorem (ue), obdoba uzemněné katody u elektronek; 2. zapojení se společnou bází (ub), obdoba uzemněné mřížky; 3. zapojení se společným kolektorem (uk), obdoba uzemněné anody.



Obr. 3. Hlavní používané zapojení tranzistoru

2.1. ZESILOVACÍ ČINITEL

Nejvyšší zesílení u plošných tranzistorů poskytuje zapojení **se společným emitorem**, a je proto nejběžnější. Základní zapojení se společnou bází má sice daleko vyšší mezní kmitočet, avšak daleko nižší proudové zesílení (u plošných tranzistorů dokonce menší než 1).

Proto u tranzistorů rozlišujeme:

α_b , též α — zesilovací činitel v zapojení se společnou bází (ub)

α_e , též β — zesilovací činitel v zapoj. se společným emitorem (ue).

Vztah mezi oběma činiteli nutno znát.

Početně platí

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (1)$$

a pak tedy

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad (2)$$

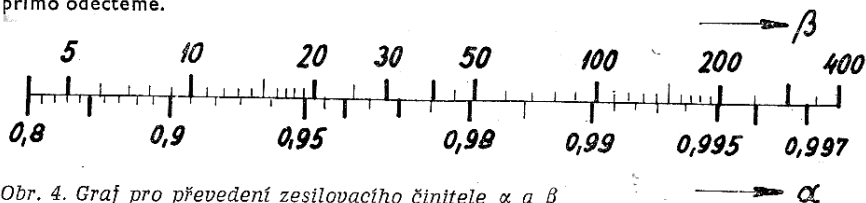
Příklady: a) Tranzistor 103 NU 70 má zesilovací činitel $\alpha = 0,96$. To odpovídá podle (1) při společném emitoru proudovému zesílení

$$\beta = \frac{0,96}{1 - 0,96} = \frac{0,96}{0,04} = 24$$

b) U tranzistoru 156 NU 70 je udán zesilovací činitel $\beta = 200$. Kdybychom potřebovali znát činitele α , použijeme vztahu (2)

$$\alpha = \frac{200}{201} = 0,995$$

Pro snadný vzájemný převod je na obr. 4 jednoduchý graf, z něhož potřebnou veličinu přímo odečteme.



Obr. 4. Graf pro převod zesilovacího činitele α a β

2.2. MEZNÍ KMITOČET

Tranzistory nemohou zesilovat libovolně vysoké kmitočty. Konstrukce a technologie výroby (vedle jakosti) určuje jejich mezní kmitočty, tj. kmitočty, při němž zesílení poklesne na $1/\sqrt{2} = 0,707$, čili asi o 30 % (neboli o 3 dB) hodnoty zesílení při kmitočtu 1 kHz. Obdobně jako u zesilovacího činitele rozeznáváme mezní kmitočty f_{α} a f_{β} . Někdy se setkáme i s označením f_{β_1} . To je mezní kmitočet, při němž zesílení v zapojení se společným emitorem klesne na 1.

Mezní kmitočet je zhruba nepřímo úměrný zesílení tranzistoru, docílenému zapojením.

Příklad:

Pro nf tranzistor OC 72 se udává $f_{\beta_{\min}} = 6$ kHz při $\beta \approx 100$. Při spojení se společnouází by měl být zesílení f_{α} asi 600 kHz. (Někdy výrobce udává hodnoty smíšené, např. u tranzistoru 156 NU 70 je v katalogu Tesla Rožnov uveden činitel $\beta \approx 45 \div 225$ a při tom $f_{\alpha} = 7,5 \div 30$ MHz.)

Málo známá, ale důležitá je skutečnost, že mezní kmitočet tranzistoru jako oscilátoru f_{osc} je nejméně dvakrát (až o řád) vyšší než jeho mezní kmitočet zesilovací — v ideálním případě se blíží hodnotě f_{β_1} . Proto se na oscilátor hodí často i tranzistor s nižším mezním kmitočtem, než jaký bychom potřebovali na vf zesílení.

2.3. BAREVNÉ ZNAČENÍ TRANZISTORŮ

U některých nf tranzistorů, např. Tesla a výrobků z NDR, je proudový zesilovací činitel β označen barvou na čepičce.

Tab. I. Barevné značení zesilov. činitele

červená	— $\beta = 20 \div 30$	modrá	— $\beta = 60 \div 75$
oranžová	— $\beta = 30 \div 40$	fialová	— $\beta = 75 \div 100$
žlutá	— $\beta = 40 \div 50$	bílá	— $\beta = > 100$
zelená	— $\beta = 50 \div 60$		

U vf tranzistorů (153 NU 70, 155 NU 70 aj.) barevné značení na krytu — pokud je ho použito — neudává zesilovacího činitele, nýbrž **mezielektrokovou kapacitu** C_{BC} v zapojení se společným emitorem; její hodnota je důležitá např. pro továrně vyráběné přijímače, ježto určuje kapacitu neutralizačních kondenzátorů.

U vf (mf) tranzistorů barvy značí kapacitu C_{BC} podle tab. II.

Tab. II. Značení mezielektrokových kapacit

zelená	— $8 \div 9$ pF	černá	— $15,9 \div 18$ pF
modrá	— $9 \div 10,7$ pF	bílá	— $17 \div 22$ pF
červená	— $10,7 \div 13,1$ pF	fialová	— $22 \div 26$ pF
žlutá	— $13,1 \div 15,9$ pF		

(Vysloveně **oscilátorové** tranzistory, např. 154 nebo 156 NU 70, nejsou značeny barvou vůbec nebo se jí vyjadřuje činitel β .)

2.4. ZNAČENÍ TRANZISTOROVÝCH VELIČIN

V tomto směru není v naší literatuře (zvláště starší) jednotnost. Např. kolektorový proud se značí symbolem I_k , ale též I_c nebo — v zájmu přesného určení — I_{CB} , tj. proud mezi kolektorem a bází. Podobně značíme napětí mezi jednotlivými elektrodami.

Parametry tranzistorů (odpor vstupní nebo výstupní, zesílení apod.) se vyjadřují buď veličinami odporovými, např. vstupní odpor je r_{11} (čti r_e — jedna — jedna), smíšeným čili hybridními (např. zesílení se tu značí h_{21} , h_a — dvě — jedna), nebo vodivostním (admitančními), značenými y a vyjádřenými (jako vodivost) v siemensích.

Na rozdíl od elektronek teče mezi některými elektrodami tranzistoru proud, i když ostatní elektrody jsou bez napětí; tak mezi kolektorem a bází teče proud I_{CBO} (cé — bé — nula), tzv. zbytkový proud kolektoru. (U elektronek by tomu odpovídá proud mezi anodou a mřížkou při odpojené katodě!)

Tyto proudy nelze zanedbat: jednak nejsou malé (u výkonových tranzistorů může být $I_{CBO} = 1$ mA i více), ale co horšího — mění se silně s teplotou okolí T_a (z angl. ambient) a teplotou polovodičového přechodu značenou T_j (z angl. junction). U běžných malých Ge tranzistorů stoupá I_{CBO} při oteplení přechodu o 10°C asi na dvojnásobek! To silně mění pracovní podmínky (poloha pracovního bodu, výkon, zkreslení, odběr proudu ze zdroje), a může i poškodit tranzistor. Maximální dovolená teplota přechodu je u většiny Ge tranzistorů $+75^\circ\text{C}$, u sovětských až 100°C , u zatím vážnějších druhů Si asi 150°C . Oteplením se ovšem snižuje dovolený příkon (kolektorová ztráta P_C max.) o tzv. teplotní činitel κ (kapa), proti katalogem udávané hodnotě při teplotě $T_a = 20 \div 25^\circ\text{C}$. (Všechny uvedené symboly jsou podle katalogu n.p. Tesla Rožnov.)

Chceme-li proto používat tranzistory (např. u koncového stupně) pro větší výkon, musíme je chladit buď přidavnými plechovými křídélky, nebo upevnit na kovovou desku a počítat též s teplotou okolí (letní vedra apod.).

U tranzistorů vyšších výkonů (řádově wattů) je kolektor přímo mechanicky spojen s kovovým krytem tranzistoru, který se upevňuje šroubem na silnější kovovou destičku. U těchto druhů se místo teplotního činitele κ udává tzv. tepelný odpor R_T nebo K , který má proti hodnotě κ převrácenou závislost (udává se ve $^\circ\text{C}/\text{W}$) a silně záleží na velikosti chladičích plochy a tepelné vodivosti upevňovacího místa. Např. 25 W tranzistor P4G má při volném umístění dovolenou kolektorovou ztrátu necelé 2 W, ale s chladičím deskou velkou aspoň 200 cm^2 , tloušťky $2 \div 3$ mm asi 20 W, tedy desetinásobek!

Změny vlivem okolní teploty zmenšujeme tzv. teplotní stabilizací. Většinou k ní slouží odpory, např. ve společném emitoru, a odporový dělič pro napájení báze; u náročnějších schémata se používá kompenzace teplotně závislými prvky (termistory, spec. diodami).

3.0. „TAJEMNÉ“ TRANZISTORY

Amatér se často setká s tranzistory, na nichž chybí typový údaj. Jsou to jednak starší naše nebo zahraniční druhy, z nichž čas nátisk barvy setřel, jednak kusy vyřazené z některé mezioперace výroby, příp. kusy vývojové. Pro vážnou práci nejsou takové tranzistory vhodné, neboť o nich nic nevíme a nemůžeme určit, co snesou, nač se hodí, jde-li o druh nř nebo vř a pro jak vysoký mezní kmitočtet. Ale pro začátečníky a méně náročné pokusy postačí, neboť se na nich můžeme seznámit s „tranzistorovou problematikou“; poškodí-li se přitom, není to velká škoda.

U těchto tranzistorů většinou ani nevíme, jde-li o typ npn nebo pnp a někdy i pořadí vývodů bývá jiné. Jak na to? Amatér nemá vlastní měřicí zařízení pro polovodičové součástky, a i když si je může sám sestavit, sotva ho dostatečně využije. Pro zkoušku, zda je neznámý tranzistor (a také dioda) aspoň použitelný, postačí však i jednoduchá improvizace.

Nejjednodušší je přímoukazující ohmmetr s vestavěnou baterií o měrném rozsahu asi 10 k Ω . Důležité je, aby při měření neprotékal vnějším obvodem proud silnější než 1 až 2 mA a aby vestavěná baterie neměla víc než 1,5 nebo 3 V. Vyšší napětí a silnější proud by mohly poškodit méně kvalitní, ale jinak ještě dobré tranzistory.

Ohmmetr lze v nouzi nahradit stejnosměrným voltmetrem odporu 500 až 1 000 Ω /V, pokud možno se stupnicí do 3 V a „malou kulatou“ baterií jako zdrojem napětí. Má-li měřidlo rozsah větší (např. Avomet I 6 V), použijeme plochou baterii 4,5 V.

Použití ohmmetru má tu výhodu, že udává přímo odpor tranzistorových přechodů při daném napětí, kdežto na voltmetru zjišťujeme jen poměrné hodnoty.

Při použití ohmmetru však musíme zjistit jeho polaritu, která při měření odporů není rozhodující, a proto nebývá označena, ale pro určení vývodů nebo druhu vodivosti tranzistoru je nezbytná. U ss voltmetru je polarita vždy vyznačena (Avomet má + pól na střední svorce).

Póly ohmmetru zjistíme zapojením jeho vývodů na ss voltmetr s malým měrným rozsahem (např. 3 nebo 6 V). Označíme si na ohmmetru polaritu, při níž se ručka voltmetru vychýlí správným směrem. Pak je + pól ohmmetru ten, který vedl na + pól voltmetru; podobně pól záporný (—).

3.1. ZJIŠTĚNÍ VÝVODŮ TRANZISTORŮ

Přechod pn nebo np se chová jako dioda, tj. propouští proud pouze v jednom směru. Toho využíváme při stanovení vývodů tranzistoru a druhu jeho vodivosti.

Tranzistor má 2 přechody: kolektor — báze a emitor — báze. (Emitor mívá menší plochu než kolektor, a proto o něco větší odpor.) Jejich polarita vůči společné bázi je souhlasná, obou „diod“ proti sobě tedy nesouhlasná: jedna je zapojena v propustném čili čelném směru, druhá v nepropustném, závěrném. Proto mezi vývody kolektor — emitor zjistíme **vždy velký odpor** závěrný, prakticky skoro stejný i při převrácené polaritě zdroje.

a) Báze

Na ohmmetr nebo voltmetr s baterií zapojíme 2 libovolné vývody tranzistoru. Ohmmetr musí — podle předchozího — ukázat velký odpor (voltmetr malou výchylku), a to i po přehození obou vývodů tranzistoru. Je-li při některém zapojení odpor malý (nebo větší výchylka voltmetru), vyhledáme jiné vývody tranzistoru, které dávají i po prohození téměř stejnou výchylku přístroje.

Zbývající třetí vývod tranzistorů je bezpečně báze.

b) Kolektor a emitor

Na zjištěný vývod báze připojíme jeden pól měřidla a druhým (kablíkem) se dotýkáme postupně obou zbylých vývodů. Používáme-li ohmmetru (předem řádně nastaveného na nulu i na plnou výchylku při zkratu), můžeme rozlišit podle velikosti odporu kolektor od emitoru. V každém případě musí přístroj ukazovat malý odpor (řádově 100 Ω u tranzistorů do 250 mW). Jinak převrátíme póly ohmmetru. Neznámý vývod, který má menší odpor, náleží kolektoru. Zbývající (třetí) vývod tranzistoru je tedy emitor. Při poškozené přechodové vrstvě zjistíme vždy malý odpor, takže elektrody nelze správně určit — ale vadný tranzistor je stejně nepotřebný.

3.2. URČENÍ DRUH (VODIVOSTI) TRANZISTORU

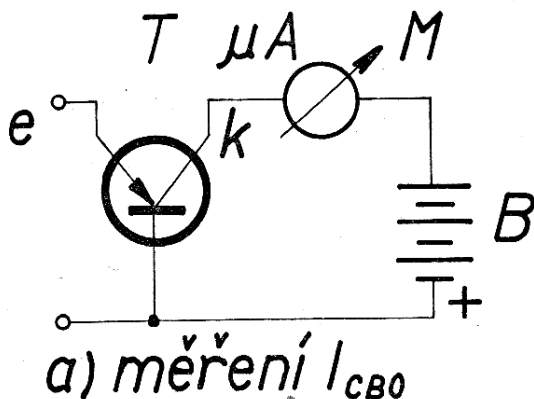
Postupem podle odst. 3.1 b) můžeme zjistit i druh vodivosti (npn nebo pnp). Protéká-li větší proud, tj. voltmetr ukazuje větší výchylku nebo ohmmetr menší odpor, tehdy, je-li báze spojena s — pólem a kolektor (nebo emitor) s pólem kladným, má zkoušený tranzistor vodivost pnp.

Je-li malý odpor (nebo větší výchylka) při spojení + pólu s bází a - pólu s kolektorem nebo emitorem, jde o tranzistor typu **npn**. Zase ovšem musí být zkoušený tranzistor jinak dobrý.

Těmito jednoduchými způsoby můžeme v nouzi určit jednotlivé vývody elektrod i typ (druh vodivosti) tranzistoru.

V zásadě dělíme tranzistory na nízkofrekvenční malého výkonu, $20 \div 125$ mW kolektorové ztráty (které se vyskytují nejhojněji), nízkofrekvenční výkonové ($0,25 \div 25$ W), dále vysokofrekvenční (obvykle malého výkonu) pro kmitočty 500 kHz až 30 MHz a vřf (zatím vzácné) do 500 až 1 000 MHz.

Dříve než se pro určitý druh tranzistoru rozhodneme, zvážíme, zda pro požadovaný účel vyhoví. Výrobce udává často mezní kmitočty pro zapojení se společnou bází, zatímco v zapojení se společným emitorem mezní kmitočty značně klesá (úměrně zesílení). Nesmíme však zapomenout, že již na mezním kmitočtu je zesílení tranzistoru asi o 30 % menší!



Obr. 5a. Improvizované měření zbytkového proudu

Výkonové tranzistory volíme jen podle skutečně požadovaného elektrického výkonu protože je většinou napájíme z baterií, což je mnohem dražší a nepohodlnější než napájení ze sítě. Proto také pro ní výkonové stupně používáme pokud možno dvojčinné zapojení třídy AB, které má ve špičkách teoretickou účinnost až 78,5 %, prakticky $60 \div 67$ %, kdežto jednoduchý koncový stupeň teoreticky 50 %, v praxi $35 \div 40$ %. Tranzistory velkého výkonu — od 3 W výše — jsou určeny spíše pro spínací obvody, měniče a podobné účely.

4.0. IMPROVIZOVANÉ MĚŘENÍ HLAVNÍCH VELIČIN

Máme-li zjištěny vývody a druh vodivosti neznámého tranzistoru, potřebujeme ještě znát jeho kvalitu.

Základním požadavkem — i u orientačního měření — je dodržení teploty okolí (20 až 25°C) s tolerancí pokud možno malou, např. $+0 - 2^\circ\text{C}$, čili v rozmezí $23 \div 25^\circ\text{C}$. Je však nepřipustné srovnávat hodnoty parametrů zjištěných jednou při 10°C a podruhé třeba při 25°C . Např. zbytkový kolektorový proud I_{cbo} se mění o $5-7$ % na každý $^\circ\text{C}$ (u tranzistorů germaniových), takže podle změny I_{cbo} určujeme i dokonce vnitřní oteplení polovodičových přechodů.

Pro hodnocení tranzistoru jsou směrodatné:

1. Zbytkový proud kolektoru I_{CBO} (někdy též značený I_{k0}); 2. proud báze I_B ; 3. kolektorový proud I_C při daném napětí U_C ; 4. z nich vyplývající zesilovací činitel (podle zapojení tranzistoru α_b nebo α_e čili α nebo β). Mezní kmitočty, zvláště u vf druhů, se zjišťuje obtížněji (pomocí vf měřidel); zde se spokojíme s údaji výrobce, pokud je ovšem známe.

Tyto 4 veličiny lze s dostatečnou přesností zjistit staticky, měřením stejnosměrných hodnot. Zesilovací činitel se z nich určí jednoduchým výpočtem nebo zavedením předem daného proudu na bázi tranzistoru. K měření I_C postačí ručkový deprezský přístroj s rozsahem 1 mA, např. Avomet. Horší je to s proudem I_{CBO} , který u běžných malých tranzistorů je řádu mikroampérů. Podobně proud báze I_B měříme mikroampérmetrem. Informaci o velikosti zbytkového proudu u dobrých tranzistorů podává tabulka III.

Tabulka III. Velikost zbytkového proudu I_{CBO} Ge tranzistorů

Druh tranzistoru	I_{CBO}
malé nf a vf do 125 mW	$\approx 10 \mu A$
střední do 6 W	$\approx 200 \mu A$
výkonové do 25 W	$\approx 1 \text{ mA}$

Zbytkový proud kolektoru I_{CBO} se měří při žádaném napětí $U_C = 5$ až 10 V mezi kolektorem aází (ačkoliv počínaje malým napětím je I_{CBO} na U_C prakticky nezávislý).

Musíme pamatovat i na vnitřní odpor měřidla, který nebývá malý (např. $100 \mu A$ měřidlo Metra DHR 5 má odpor $3 \div 3,5 \text{ k}\Omega$). Průtokem proudu na něm vzniká úbytek, který by mohl při malém napětí výsledky měření zkreslit. Proto v měřících tranzistorů a diod musíme místo měřidla zapojit do obvodu náhradní odpor.

4.1. ZBYTKOVÝ P R O U D I_{CBO}

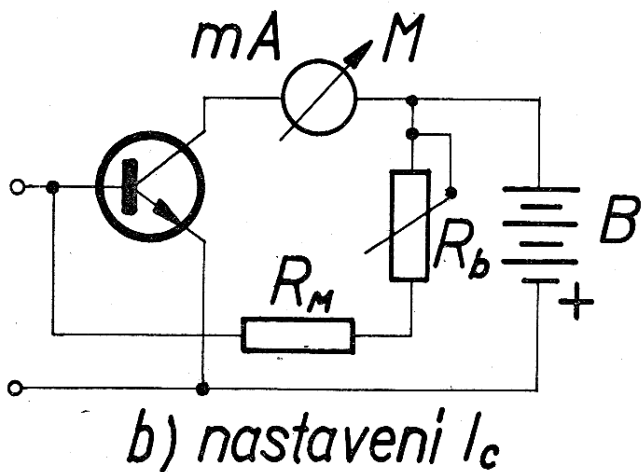
Měření proudu I_{CBO} pro tranzistory pnp uspořádáme podle obr. 5a. (Pro druhy npn obrátíme polaritu měřidla i baterie.) Předem se doporučuje ohmmetrem zkusit, zda tranzistor není vadný — jinak můžeme citlivý měřicí přístroj poškodit! Ale i zde je háček — některé tranzistory se chovají jako dobré do 1,5 až 2,5 voltů kolektorového napětí — při vyšším proudu počne lavinovitě vzrůstat, až k nebezpečí průrazu přechodové vrstvy (které ale, přerušíme-li proud včas — nemusí nastat). Z toho plyne zkušenost, že tranzistor, který se chová při baterii 1,5 V dobře, ještě nemusí být dobrý pro běžné provozní napětí 6–10 V! (Horší jakost takových tranzistorů nám ukáže velikost I_{CBO} .) U kusů podobných vlastností je I_{CBO} podstatně větší, než je v tab. III. uvedeno.

Nemáme-li mikroampérmetr s rozsahem asi $100 \mu A$, snad nám pomůže, že v Avometu — mezi střední svorkou a levou zdířkou 60 mV — je systém se základním rozsahem asi $250 \mu A$ (není zaručeno; pohybuje se mezi 230 až $270 \mu A$). V nouzi můžeme proto použít Avometu, ověříme-li si porovnáním s jiným mikroampérmetrem skutečný rozsah našeho přístroje. Měření malých hodnot I_{CBO} je zde ovšem poněkud méně přesné.

4.2. KOLEKTOROVÝ P R O U D I_C

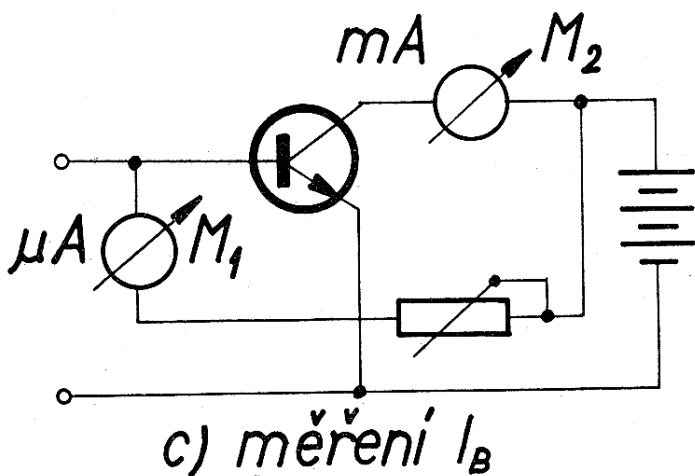
Kolektorový proud I_C nastavíme podle doporučených pracovních podmínek tranzistoru např. na hodnotu 1 mA u malých 50 mW tranzistorů nf a vf při ploché baterii 4,5 V (rovno přibližně pracovnímu bodu podle katalogu).

K nastavení I_C musíme na bázi zavést určitý proud stejné polarity, jakou má kolektor. Proto emitor spojíme s druhým pólem baterie, takže dostaneme zapojení podle obr. 5b. Napětí pro bázi nastavujeme potenciometrem $R_b = 1 \text{ M}\Omega$, lineárním nebo obráceně zapojeným typem logaritmickým. Do série s ním je zařazen odpor R_b , ekvivalentní vnitřnímu odporu měřidla M, kterého jsme použili pro měření zbytkového proudu I_{CBO} .



Obr. 5b. Nastavení pracovního proudu kolektoru

Na Avometu nastavíme výchylku 1 mA otáčením knoflíku potenciometru R_b . Obvykle musíme chvíli počkat, až se ustálí teplotní poměry uvnitř tranzistoru (který se možná zahřál držením v prstech při zapojování) a ručka měřidla zůstane nehnutě na žádaném dílku stupnice. Pohybuje-li se nárazově, nebo výchylka rychle stoupá, je tranzistor vadný a přístroj nutno rychle vypnout.



Obr. 5c. Měření proudu báze pro výpočet β

4.3. PROUD BÁZE I_B

Místo odporu R_M zapojíme mikroampérmetr M_1 a doregulujeme potenciometrem R_B případnou změnu výchylky Avometu (obr. 5c). Po ustálení odečteme proud báze I_B . Početně si jeho velikost můžeme ověřit ze vztahu

$$I_{CBO} + \beta \cdot I_B = I_C \quad (3)$$

izolováním hodnoty

$$I_B = \frac{I_C - I_{CBO}}{\beta} \quad (4)$$

Příklad: Tranzistor 103 NU 70 má zbytkový proud kolektoru $I_{CBO} = 10 \mu A$, proudový zesilovací činitel $\beta = 30$ a $I_C = 1 \text{ mA}$. (Proudy nutno dosazovat ve stejných jednotkách, např. μA .) Pak je proud báze (4)

$$I_B = \frac{1000 - 10}{30} = \frac{990}{30} = 33 \mu A.$$

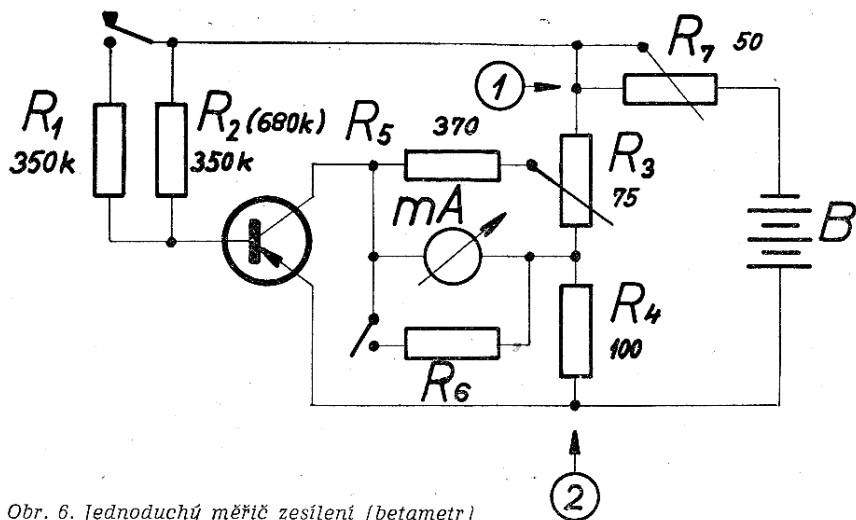
4. ČINITEL PROUDOVÉHO ZESÍLENÍ β

Ten zjistíme z rovnice (3) izolováním hodnoty β podle základních početních pravidel:

$$\beta = \frac{I_C - I_{CBO}}{I_B} \quad (5)$$

Např. u tranzistoru 155 NU 70 při $I_C = 1 \text{ mA}$ (napětí $U_C = 4,5 \text{ V}$) a $I_{CBO} = 8 \mu A$ naměříme $I_B = 20 \mu A$. Činitel proudového zesílení podle vzorce (5)

$$\beta = \frac{1000 - 8}{20} = 49,6, \text{ okrouhle } 50$$



Obr. 6. Jednoduchý měřič zesílení (betametr)

Pro občasné zkoušení nám tato improvizace zcela postačí — nejvýš si pro usnadnění „počtů“ zhotovíme jednoduchý spojnicový nomogram, který proudový zesilovací číselník s dostatečnou přesností přímo ukáže.

Tovární měřič tranzistorů vyrábí n.p. Tesla Brno — amatéři by se ovšem sotva vyplatili. Některé zahraniční firmy dodávají jednoduché zkoušeče, které sledují třeba jen zesilovací číselník (tzv. betametr). Přístroj továrny Gossen je schematicky znázorněn na obr. 6 (bez přepínačů polarit y pnp a npn). Práce s ním je jednoduchá a přístroj ukazuje hodnotu β přímo na stupnici ve dvou rozsazích: Do 100 a do 200. Má však nevýhodu, že pracuje s malým napětím (asi 2,5 V) na kolektoru, a to — jak jsme uvedli — nemusí vždy odkryt nevhodnost zkoušeného tranzistoru pro vyšší napětí. Přístroj také neudává zbytkový proud kolektoru I_{CBO} . Některé přístroje udávají zbytkový proud emitoru I_{CEO} :

$$I_{CEO} = \frac{I_{CBO}}{1 - \alpha} \quad (6)$$

a protože podle vzorce (2) je $\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$ pro zapojení u_e , jehož je použito, platí

$$I_{CEO} = \frac{I_{CBO}}{1 - \frac{\beta}{\beta + 1}} = I_{CBO} (\beta + 1) \quad (7)$$

čili proud kolektor — emitor naprázdno (s odpojenouází) je zhruba β krát větší.

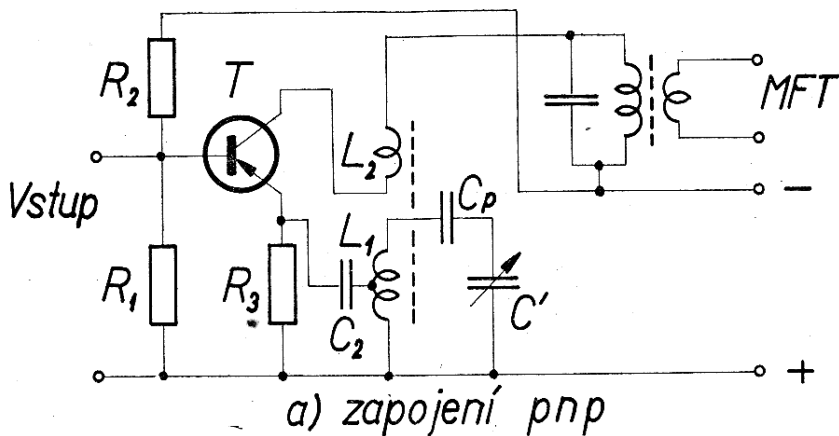
V kolektorovém obvodu je zapojen miliampérmetr I_{mA} a malém vnitřním odporu se 100 dílkovou stupnicí (případně s paralelním bočníkem R_6 pro $\beta > 100$). Proměnným odporem $R_7 = 50 \Omega$ (drátový) nastavíme mezi body 1—2 napětí 3,5 V z ploché baterie. Odpor $R_2 = 350 k\Omega$ zavádí do báze proud $10 \mu A$, který se spolu se zbytkovým proudem I_{CEO} projeví výchylkou měřidla A. (Možno použít většího odporu R_2 , např. $500 \div 640 k\Omega$, neboť při tranzistorech s velkým β je již „základní“ proud kolektoru dosti velký a připojením R_1 se ještě zdvojnásobí.) Nastavením potenciometru R_3 ($= 75 \Omega$ drátový) tuto výchylku vykompenzujeme na nulu. Stisknutím tlačítka T1 se zapojí do obvodu báze odpor $R_1 = 350 k\Omega$, čímž se její proud zvýší o $10 \mu A$. Ručička měřidla ukazuje pak na stupnici přímo hodnotu β , např. 55 dílků značí $\beta = 55$. S vhodným bočníkem můžeme měřit do $\beta = 200$, rovná-li se R_6 vnitřnímu odporu měřidla mA.

Nepodáváme v tomto svazku návod na měřič tranzistorů — bylo jich v literatuře popsáno již dost, jednoduchých i složitých, statických i „dynamických“ pomocí měření střídavého signálu. (Lit. [6] v dodatku aj.)

5.0. ZÁMĚNA TRANZISTORŮ PNP A NPN

Při opravě zahraničních přístrojů nebo realizaci zapojení z cizí literatury potřebujeme někdy nahradit původní osazení — většinou tranzistory vodivosti pnp — dostupnými typy tuzemské výroby vodivosti npn. (Tato nutnost se již zmenšuje uváděním na trh stále většího počtu druhů „licenčních“ sovětských a jiných tranzistorů pnp, vyráběných v n. p. Tesla Rožnov (přece však někdy musíme k záměně sáhnout.)

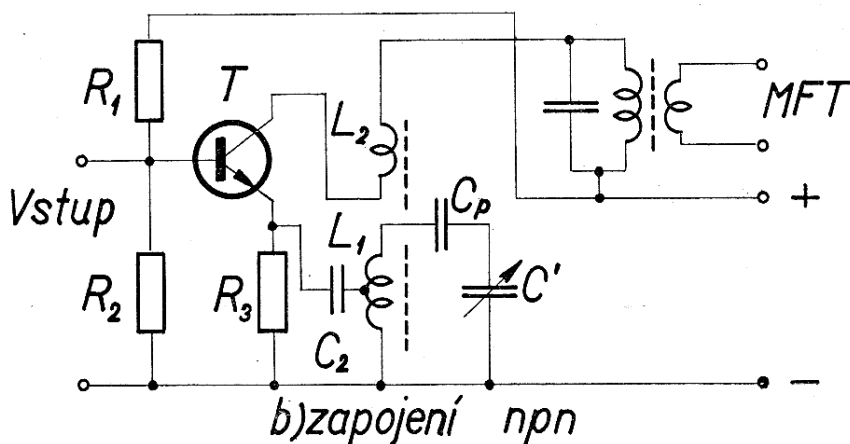
Základní zásadou je změna polarit y napájecího napětí. Rozhodně by však nestačilo, abychom schéma určené pro tranzistory npn osadili typy pnp a prostě připojili obrácené baterie!! V tranzistorových obvodech je totiž mnoho elektrolytických kondenzátorů, které nelze přepólovat. Navíc pro tepelnou stabilizaci bývají báze zapojeny na odporový dělič — ovšem odpory jeho větví nejsou stejné, např. odpor báze spojený s —pólem má 6 k 8, tj. 6800Ω , kdežto odpor vedoucí na +pól mívá $68 k\Omega$ i více — a obrácením polarit y bychom je prohodili, což by tranzistoru neprospělo. Zvláště ožehavý je problém, kdy se v přístroji vyskytnou oba druhy tranzistorů současně. Např. do středovlnného superhetu zahraniční výroby, osazeného tranzistory pnp, je potřeba dát nový oscilační



Obr. 7a. Původní oscilátor s tranzistorem pnp

tuzemský tranzistor typu npn. Takový případ je znázorněn schematicky na obr. 7, a to původní zapojení pod a), zapojení pro tranzistor 156 NU 70 pod b).

Podobně můžeme nahradit nf zesilovací nebo koncové stupně. Obtíže jsou pouze v tom případě, je-li zařízení nebo přijímač proveden plošnými spoji. Tam je totiž spojení obvodů již zapojením toho kterého vývodu tranzistoru pevně dáno a nemůžeme je libovolně měnit. Na to nesmíme zapomenout! U ostatních přístrojů je náhrada čs. ekvivalenty



Obr. 7b. Týž oscilátor upravený pro typ npn

téměř vždy možná; musíme však pamatovat, že hodnoty tranzistorů — zahraničních i našich — jsou poněkud odlišné. Není celkem na závadu zachovat hlavní hodnoty součástí činných; rozhodně však bude užitečné (ne-li nutné) změnou napětí báze (nejlépe použitím proměnného odporu, tzv. potenciometrického trimru) upravit pracovní bod nových tranzistorů podle výrobce doporučených podmínek. Je účelné použít typů s přibližně stejným proudovým zesilovacím činitelem a u vf typů i mezním kmitočtem: Např. pro krátké vlny, kde vyžadujeme mezní kmitočty aspoň 30 MHz, by nebylo dobře možno použít běžného tuzemského tranzistoru 156 NU 70 s $f\beta = 12$ MHz. U výkonových nf typů musíme porovnávat wattovou dovolenou kolektorovou ztrátu P_c , napětí U_{bc} a podobně.

6.0. ŠUM TRANZISTORŮ

Tranzistory poněkud více šumí. Vývojem technologie se podařilo šum značně omezit, takže některé zahraniční druhy, zvláště vysokofrekvenční, se v tomto ohledu již vyrovnají elektronkám. Šum snižuje vstupní citlivost (zhoršuje poměr signál/šum) a velmi slabé signály nemůžeme pak zesilovat.

Pro definici šumu se používá tzv. šumové číslo F . Je to log poměru výstupního výkonu šumu na zatěžovacím odporu k té části výstupního šumu, který vzniká ve zdroji signálu při kmitočtu 1 kHz a šíří pásma 1 Hz. Udává se v decibelech (dB). Čím menší šumové číslo, tím lepší je tranzistor a naopak. Záleží ovšem též na kmitočtu (vf nebo nf stupeň), použité šíři pásma, napájecím napětí atd. Běžná hodnota $F = 10 \div 15$ dB, horší druhy mají až 35 dB; speciální druhy mají i $F = 2 \div 5$ dB.

Obvyklý šum nevedí, pokud nebyl tranzistor poškozen (tepelně nebo napětím) a nepoužívá-li se nadměrný počet nf stupňů.

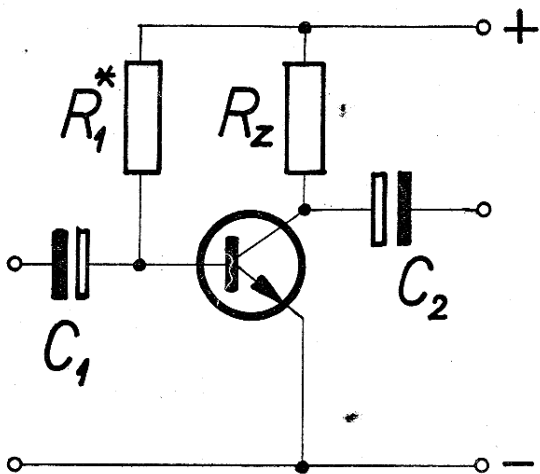
7.0. TEPLOTNÍ STABILIZACE

Jak již bylo řečeno, mění se elektrický odpor a tím i jiné vlastnosti polovodičových součástí s teplotou. Proudové elektrod mohou při oteplení dosáhnout nebezpečných hodnot. Teplotní stabilizace se provádí omezením proudů sériovými odpory a napájením elektrod z odporového děliče.

Na obr. 8a je znázorněn jednoduchý odporově vázaný nf zesilovací stupeň; tranzistor T je typu npn. Odpor R_1 , který dodává „předpětí“ (a na rozdíl od elektronek i jistý „předproud“) bázi, je řádu kiloohmů; je označen hvězdičkou. To znamená, že udaná hodnota je směrná — správnou velikost nutno nastavit podle požadavku tranzistoru. Ostatní součásti, jako odpor R_2 a kondenzátory C_1 a C_2 , tvoří součást odporové vazby. Ovšem i odpor R_2 omezuje do jisté míry proud kolektoru, který by s teplotou značně vzrůstal. Tato nejjednodušší „stabilizace“ je ovšem nutná, aby tranzistor mohl vůbec pracovat jako zesilovací člen, a proto se považuje za stav bez stabilizace ($S \approx \beta$).

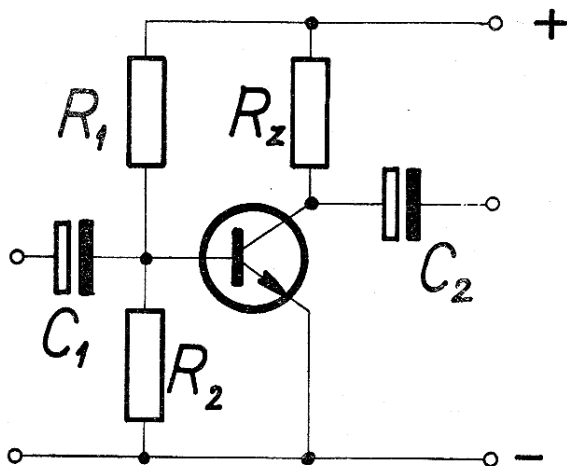
Lepší — i když ne o mnoho — je zapojení odporu R_1 na kolektor místo na zdroj. V tom případě vzniká slabá negativní zpětná vazba, třebaže nepřilíš účinná. Žádný z těchto jednoduchých způsobů není proto možno doporučit pro přístroje, které mají pracovat ve větším rozmezí teplot.

Větší stabilitu dostaneme vytvořením děliče u báze místo jednoduchého odporu. Menšími hodnotami odporů dosáhneme tvrdšího napětí na odbočce. (Obr. 8 b.) Nesmíme však zapomenout, že malé hodnoty odporů snižují vstupní impedanci a působí zeslabení vstupního signálu! Musíme tedy volit rozumný kompromis mezi stabilitou a úbytkem



a) odpor. stupeň

Obr. 8a. Nf stupeň bez stabilizace

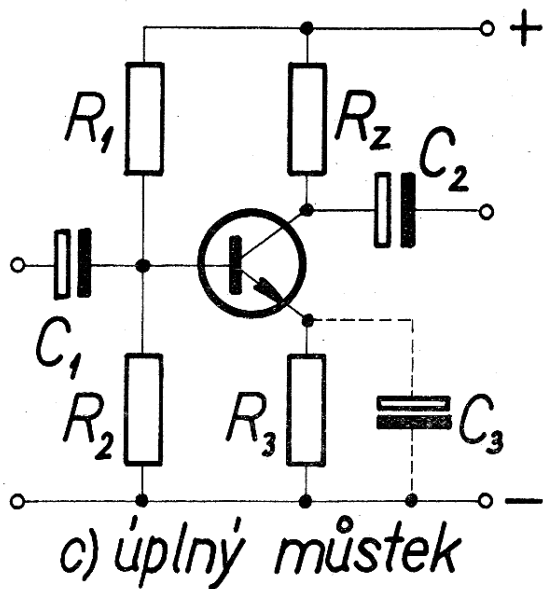


b) dělič u báze

Obr. 8b. Použití odporového děliče

zesílení. To platí zvláště pro odporovou vazbu. Při použití cívek (vř obvodů) nebo vazebních nf transformátorů lze zapojení upravit tak, že se škodlivý vliv děliče na zesilovaný signál vůbec neuplatní (viz dále), i když použijeme dosti tvrdého děliče o malé impedanci.

Zapojení podle obr. 8c tvoří úplný kompenzační můstek; vhodnou volbou odporů lze dosáhnout dostatečné stálosti pro zesilovací nf a vř stupně a méně náročné oscilátory superhetů. Pro výkonové (koncové) stupně, kde kolísání kolektorového proudu vlivem teploty může i ohrozit tranzistor přehřátím (překročením přípustné kolektorové ztráty P_c), se zapojují ještě tepelně závislé odpory, tzv. termistory (nebo i vhodné diody), a tranzistory se opatřují chladičí kovovou deskou příslušné velikosti.



Obr. 8c. Úplný stabilizační můstek

Výpočet stabilizačních členů a činitele stability, značeného S , by přesahoval posláni této praktické brožurky. Zdánlivě protismyslně je stabilita tím lepší, čím je činitel stability S menší, např. velmi silná stabilita je při $S = 1$, nejmenší pro stav bez stability, kdy $S = \beta$. Nařizení hodnoty odporu R_1 se děje nejvhodněji tzv. potenciometrickým trimrem, maličkým nastavitelným potenciometrem (běžně použitelné hodnoty jsou v rozmezí 680Ω až $680 \text{ k}\Omega$), který po nastavení můžeme nahradit stejným odporem pevným.

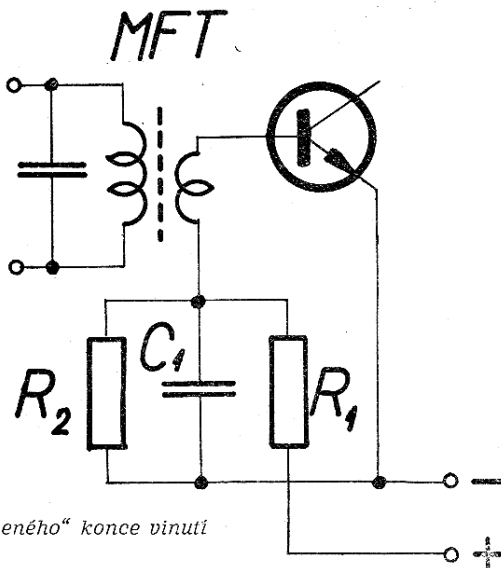
Aby na emitorovém odporu v zapojení u_e nevznikala záporná zpětná vazba zeslabující užitečný signál, přemostí se podobně jako u elektronek odpor R_3 paralelně kondenzátorem C_3 podle kmitočtu: u nf stupňů elektrolytickým $10 \div 50 \mu\text{F}$, u vř a oscilátorů kapacitou několika desítek tisíc pF (několika nF). Stejnoseměrné a stabilizační poměry se tím nemění.

8.0. TRANZISTORY V PŘIJÍMAČÍCH

Když jsme již začali o zesilovacích stupních mluvit, povšimněme si použití tranzistorů v nich.

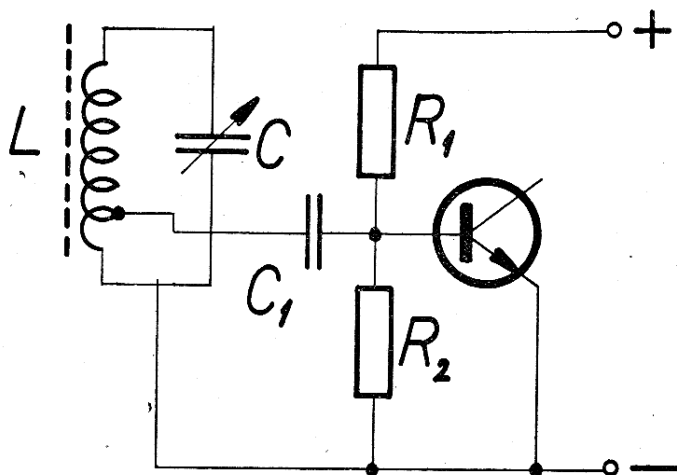
8.1. V F A M F STUPNĚ

U těchto stupňů používá se většinou laděných obvodů (jako u elektronek) a tranzistorů s vysokým mezním kmitočtem. Avšak i zde je rozdíl daný vlastnostmi tranzistorů. Jejich vstupní odpor je totiž velmi malý (řádově pouze desítky až stovky ohmů) a přímé připojení na ladící obvod by způsobilo silný útlum a velmi značný pokles selektivity. Proto připojujeme tranzistory buď na odbočku laděného obvodu, nebo na oddělené sekundární vinutí se sestupným převodem, které bývá i neladěné. Tím se útlum způsobený tranzistorem přenáší na laděný nebo jiný připojený obvod odmocninou z transformačního poměru; impedance obvodu a tranzistoru jsou navzájem přizpůsobeny. To platí též pro vstupní a oscilační obvody superhetů. Dělič i s příslušnou přemostovací kapacitou lze umístit ke „studenému“ konci vinutí, takže zesilovaný signál jím neprochází (obr. 9a). Někdy — zvláště je-li sekundární vinutí jedním koncem uzemněno (spojeno s kostrou jako na obr. 9b) — je ovšem nutné použití děliče, jak jsme o tom dříve mluvili. Oddělovací kondenzátor C_1 bývá často zbytečně velký. Protože není zahrnut v zesilovacím okruhu, postačí (pro v f a m f kmitočty), aby jeho reaktance byla jen o něco menší než vstupní impedance tranzistoru. Z tabulek nebo výpočtem zjistíme, že je to pro nejdelší konec středních vln a pro středovlnnou mezifrekvenci (v okolí 450 kHz) asi 3 900 až 4 700 pF. Větší kapacita je prakticky zbytečná, jak bylo též potvrzeno měřením. Zvláště u stěsnaných konstrukcí to značí úsporu místa.

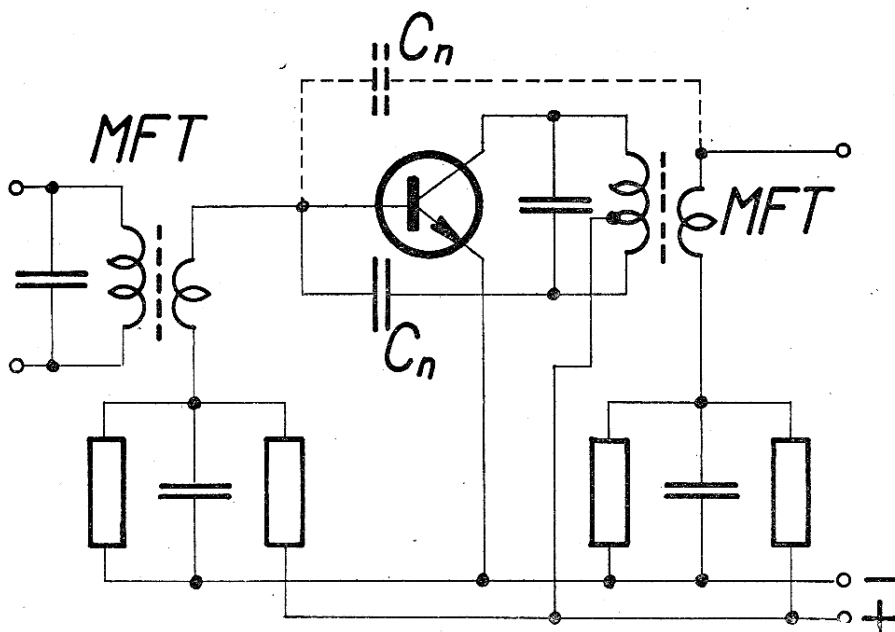


Obr. 9a. Dělič u „studeného“ konce vinutí

Výstupní okruhy v f tranzistorů a směšovače musí mít impedanci velkou — kolektorový obvod tranzistorů má totiž odpor řádově stovky kiloohmů — a vysoký činitel jakosti Q k docílení dostatečné selektivity. Proto např. primáry m f transformátorů mají být jakostní, ale vlastní kolektor se k nim připojuje na odbočku vinutí.



Obr. 9b. Dělič přímo u „živého“ bodu báze



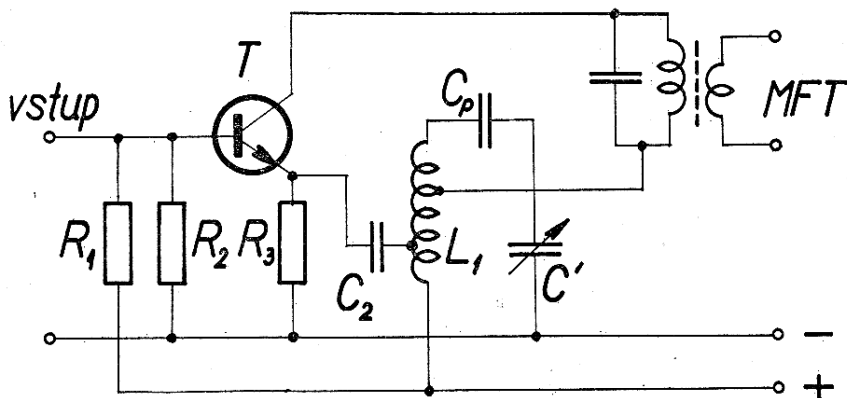
Obr. 10. Neutralizace vnitřní kapacity u mř. stupňů

Při více než jednom mf stupni se uplatňuje i značná vnitřní kapacita a zpětné působení tranzistoru, takže musíme zavést neutralizaci: děje se to malou kapacitou C_n mezi bázi a vhodnou odbočkou kolektorového vinutí nebo ze sekundárního vinutí mf transformátoru v obrácené fázi, aby toto napětí působilo proti účinkům mezelektrodové kapacity (obr. 10). Je výhodné, používáme-li čs. vf tranzistory, značené barvou (viz tab. II), neboť vnitřní kapacita mf typů se amatérskými prostředky obtížně zjišťuje. Je-li odbočka v polovině primárního vinutí, volíme neutralizační kapacitu rovnou udané kapacitě tranzistoru; při odbočce jiné nebo použití sekundárního vinutí se kapacita transformuje ve čtvrtci nebo odmocnině příslušného poměru závitů.

Běžně — použijeme-li jakostní mf transformátory a tranzistory s vyšším zesilovacím činitelem — zcela postačí dva mf stupně. Tři již mají sklon k nežádáným vazbám a oscilacím vzdor neutralizaci a obtížně se ovládají zvláště u stěsnaných konstrukcí „kapesních“ přijímačů na plošných spojích.

8.2. VF OSCILÁTORY

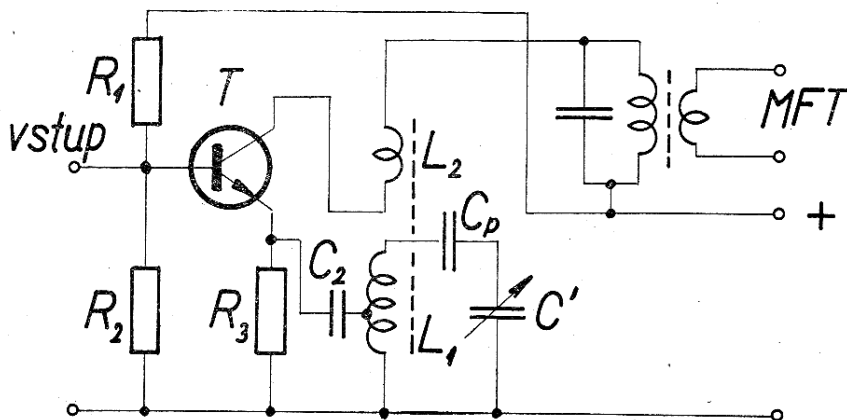
Pro střední a dlouhé vlny se používá nejčastěji tzv. samokmitajících směšovačů se společným emitorem. Používání odděleného směšovacího tranzistoru a oscilátoru nemá pro mírné požadavky, kladené na přenosné a kapesní přijímače, valných výhod, vyžaduje však dva vf tranzistory, více součástí a větší napájecí proud z baterie.



Obr. 11. Zapojení samokmitajících směšovačů

Nejběžnější druhy jednoduchého směšovače jsou schematicky znázorněny na obr. 11 a 12. První má na vinutí laděné cívky L_1 2 odbočky: bližší u studeného konce (asi 6. až 9. závit) je kapacitou C_2 vázána s emitorem, lépe řečeno s nepřemostěným odporem R_3 . Vhodná velikost tohoto odporu je 1 600 až 3 300 podle napájecího napětí a zesilovacího činitele oscilačního tranzistoru. Čím větší odpor, tím těsnější vazba a vyšší oscilační napětí; vhodná hodnota je 2k2. (Tyto neokrouhlé veličiny jsou dány výrobní řadou hodnot, zvanou E 12.) Druhá odbočka, vzdálenější (asi po 19. až 22. závitě pro SV cívku) je přes primár mf transformátoru vázána s kolektorem. Začátek vinutí proto nesmí být spojen s kostrou, ale s + pólem (při použití tranzistorů npn) nebo s - pólem (při typu pnp) baterie. Pokud jde o kondenzátor C_2 , i zde je příliš velká kapacita zbytečná; nad 3k3 až 4k7 není (u středních vln) pozorovatelná žádná změna. C_p je pedynk pro docílení souběhu se vstupem (nemá-li již ladicí kondenzátor jiný průběh pro oscilátor).

Tento oscilátor má sice podle zjištění o něco menší množství harmonických kmitočtů, ale nastavení odboček je dosti choulostivé (záleží na zesilovacím činiteli a mezním kmitočtu tranzistoru, napájecím napětí aj.). To někdy znamená zkoušet několik cívek. Méně náročný je oscilátor podle obr. 12. Ladicí cívka L_1 má pouze jednu odbočku a navrch oddělené vinutí L_2 pro vazbu s kolektorovým obvodem (20 až 25 závitů). Nehledě na to, že změna jedné cívky (vazební) je daleko snazší, kmitá tento oscilátor i za méně vhodných poměrů. O odporu R_3 a kapacitě C_2 platí, co již bylo řečeno u předchozího typu. Vazbu možno ještě měnit paralelním nebo sériovým odporem u cívky L_2 .



Obr. 12. Nejpoužívanější zapojení oscilátoru

Pro střední (případně dlouhé) vlny použijeme vř tranzistoru s mezním kmitočtem as 5 MHz, např. 154 až 156 NU 70 (nnp) nebo OC 170 či sovětský π 401 (pnp). (Poslední OC 170 a π 401 postačí i na krátké vlny do 30 MHz.) Na krátkých a zvláště velmi krátkých vlnách řádu 100 MHz se však používá zapojení se společnou bází, které má vyšší mezní kmitočet — ale vky pásma pro amatérské přenosné přijímače zatím nepoužíváme (nutnost poměrně rozměrné dipólové antény — zde ferit nestačí — a zatímní nedostatek tuzemských tranzistorů s mezním kmitočtem nad 100 MHz. Vhodný je sovětský typ Π 403, který má mezní kmitočet f_{α} až 120 MHz).

8.3. NF ZESILOVACÍ STUPNĚ

Zde máme na mysli stupně nevýkonové, „předzesilovací“. (Budící stupeň musí mít u tranzistorů určitý wattový výkon.) Nf stupně jsou vázány buď odporově nebo pomocí transformátorů, podobně jako elektronky.

O vazbě odporové jsme již mluvili v odstavci 7.0. Výstupní (zatěžovací) odpor R_z v kolektoru (obr. 8) mívá však poměrně malou hodnotu, 2k2 až 8k2, aby se v něm neztrácelo napájecí napětí, čímž by klesalo zesílení, případně — při větším signálu — by nastalo silné zkreslení omezováním špiček. Teplotní stabilitu docílíme děličem v bázi a odporem v emitoru, jak bylo již řečeno. Dolní odpor děliče R_2 má být větší než výstupní odpor (impedance) předcházejícího stupně, neboť pro signál jsou výstupní odpor předchozího stupně a R_2 zapojeny paralelně. Proto, má-li předchozí stupeň impedanci např. 4k7, měli bychom volit R_2 asi $10 \div 15 \text{ k}\Omega$, což je ještě v mezích požadované stability.

Velikost odporu R_1 řídí jen kolektorový proud (u předzesilovacích stupňů asi 0,5 mA) a tím nastavení pracovního bodu tranzistoru; z hlediska vstupního odporu se však R_1 přiřazuje paralelně k R_2 . Pokud jde o velikost vazební kapacity C_1 , řídíme se známým pravidlem: při rovnosti reaktance X_c tohoto kondenzátoru a vstupního odporu R_2 následujícího tranzistoru poklesne zesílení nejnižšího zvoleného kmitočtu asi o 30 % (o 3 dB), což je snesitelné. U malých přijímačů stejně nebudou „basy“ příliš mohutné, a proto můžeme za nejnižší kmitočet zvolit $f = 150$ až 300 Hz.

Horší je, že již vstupní impedance tranzistoru R_V je malá a paralelně připojený odpor R_2 ji ještě zmenšuje. Záleží na poloze pracovního bodu, na charakteristice a typu tranzistoru, bude však u malých nf druhů řádově jen několik set ohmů! Uvažujeme-li (i s paralelními odpory děliče) hodnotu $R_V \approx 300 \Omega$, potřebujeme vazební kapacitu asi o stejné reaktanci. Ta je dána vztahem

$$C = \frac{10^6}{2\pi f \cdot R_V} \quad [\mu F; \text{Hz}, \Omega] \quad (8)$$

$\Pi = 3,1416$, $f =$ kmitočet, $R_V =$ vstupní impedance tranzistoru. Dosadíme-li naše hodnoty, dojdeme při $f = 250$ Hz k hodnotě kapacity

$$C = \frac{10^6}{6,28 \cdot 250 \cdot 300} \doteq 2 \mu F$$

stačí tedy běžná kapacita $2 \div 5 \mu F$.

Při větším počtu zesilovacích stupňů za sebou a pro lepší reprodukci hlubokých tónů se sice doporučuje kapacita větší, zase však to mnohdy autoři přehánějí, tím spíše, že díky výrobní toleranci mají nové elektrolyty až o 50 % větší kapacitu!

Odpor R_3 v emitoru působí jako stabilizační; v napájecím obvodu je vlastně v sérii s R_2 , a proto se s jeho hodnotou sečítá. Kromě toho vzniká na R_3 úbytek napětí, přičemž proud emitoru I_E se zhruba rovná proudu kolektoru I_C . Proto smíme použít jen tak velký R_3 , jaký potřebujeme ke kompromisní teplotní stabilizaci. Jinak by podle Ohmova zákona zbylo na kolektoru příliš malé napětí.

Z uvedeného plyne: odporová vazba je sice jednoduchá, ale není příliš vhodná pro tranzistorové nf stupně. Předchází velká impedance prvního tranzistoru se vlastně přemostí malým vstupním odporem tranzistoru následujícího, zmenšeným ještě paralelně řazenými napájecími odpory děliče báze. Tranzistory tu pracují téměř nakrátko a docílené zesílení je proto malé. Odtud také nutnost většího počtu nf stupňů v odporové vazbě.

Výhodnější je vazba transformátorová, i když vyžaduje více místa a transformátorek je dražší a více váží. Lze však použít všech výhod zapojení z obr. 9 a), kdy velikost odporů děliče a tím činitel stability S můžeme volit daleko menší, ale na signálu tím vůbec nic neztrácíme. Nad to — což je hlavní — sestupným převodem transformátoru převádíme vysokou impedanci kolektorového obvodu na nízkou vstupní hodnotu báze téměř beze ztrát. Proto u přijímačů a jiných zařízení, která mají s minimálním počtem tranzistorů vystačit, se používá transformátorové vazby. K docílení většího výkonu dvojitým koncovým stupněm je to cesta téměř nezbytná. Transformátorek vazební má primární vinutí se značným počtem závitů (pro informaci: např. typ Jiskra BT 38 pro tranzistor 103 NU 70 má 3 000 závitů drátu $\varnothing 0,08$ mm) a malý počet závitů sekundárních (800—1000 závitů téhož drátu). V ostatním platí, co už bylo řečeno u nf transformátorů, až na to, že kapacita u studeného konce vinutí báze musí odpovídat nejnižším přenášeným nf kmitočtům ($C_1 = 2 \div 5 \mu F$).

Nf stupně, osazené tranzistorem o kolektorové ztrátě 20 až 50 mW, bohatě postačí k napájení sluchátek. Musíme jen dbát, aby ohmický (stejnoseměrný) odpor sluchákových cívek nebyl příliš velký. Již při kolektorovém proudu 1 mA vzniká v běžných slucháčkách 4 000 Ω úbytek napětí 4 V! (Výhodnější by bylo zapojení obou polovin sluchátek paralelně, čímž odpor klesne na 1 000 Ω — ale je obtížné na hotových slucháčkách takovou operaci provádět). Z podobného důvodu je výhodnější použít vazební transformátorky mezi nf stupni, neboť ohmický odpor vinutí je proti odporům $R - C$ vazby zanedbatelný.

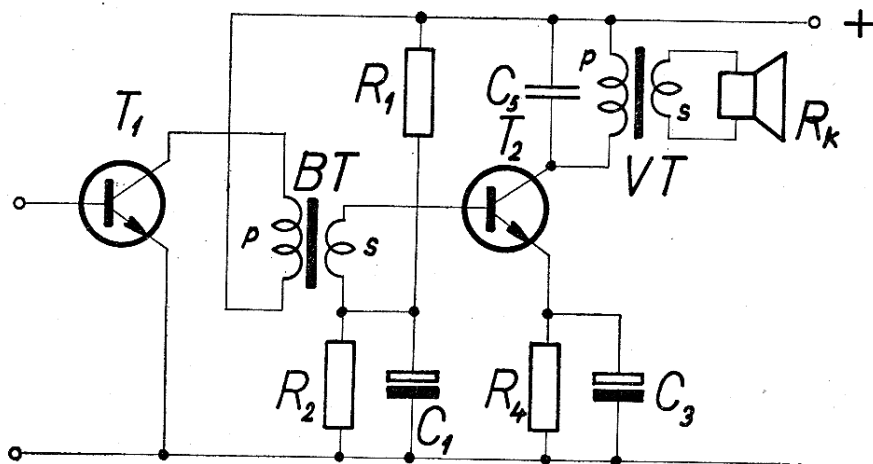
9.0. VÝKONOVÉ STUPNĚ S TRANZISTORY

K vybuzení reproduktoru — a také pro spínací a jiné účely (měniče ss napětí, relé apod.) — potřebujeme často větší výkony. Zde se však převážně zabýváme přijímači s koncovým výkonem od 50 do 200 mW a malými nf zesilovači.

Velmi nám pomůže skutečnost, že ačkoliv běžné tranzistory jsou triody, mají výstupní charakteristiky podobné pentodám a jako takové se i chovají. Účinnost jednoduchého stupně je proto teoreticky až 50 %, dvojitě až 78,5 %. V praxi leží účinnost tranzistorů mezi triodami a pentodami. Můžeme však pro ně aplikovat závislosti platné pro pentody, např. pro určení potřebného zatěžovacího odporu apod.

9.1. JEDNODUCHÝ STUPEŇ

Pro tento případ platí běžné zapojení nf stupně včetně stabilizace (obr. 13). Pouze kolektorový proud musí být větší, abychom docílili potřebného wattového (nebo miliwattového) výkonu pro reproduktor. Ale pozor! Nesmíme přestoupit dovolenou hodnotu kolektorové ztráty — a to ani při vyšší teplotě okolí!



Obr. 13. Jednoduchý koncový stupeň (tř. A)

Kolektorová ztráta P_c (stejněměrný příkon) se totiž mění v teplo, které zahřívá polovodičový přechod a zvyšuje tak teplotu T_j . Příkon je součinem stejnosměrného napětí U_{CE} a proudu kolektoru I_c (neuvažujeme-li zbytkové proudy)

$$P_c = U_{CE} \cdot I_c \quad [W; V, A \text{ nebo } mW, V, mA] \quad (9)$$

Je-li např. 50mW tranzistor napájen ze zdroje $U_z = 9V$ proudem $I_c = 6mA$ a po průtoku tohoto proudu vinutím výstupního transformátoru zbude na kolektoru napětí $U_{CE} = 8,7V$, je tranzistor zatížen (9) ztrátou

$$P_c = 8,7 \cdot 6 = 52,2 \text{ mW}$$

To by však již bylo mnoho při teplotě okolí $50^\circ C$ (např. při letním vedru na slunci).

Omezení příkonu oteplením zjistíme ze vztahu

$$P_C = \frac{T_j - T_a}{\kappa} \quad [\text{mW}; \text{ } ^\circ\text{C}] \quad (10)$$

(pro tranzistory o ztrátě ve W dosazujeme místo κ v miliwattech/ $^\circ\text{C}$ teplotní odpor R_T ve $^\circ\text{C}/\text{W}$).

Výslední teplota přechodu (u tranzistoru menší kolektorové ztráty bez chlazení) je

$$T_j = T_a + \kappa \cdot P_C \quad [^\circ\text{C}; \text{ } ^\circ\text{C}, \text{ mW}] \quad (11)$$

Vnitřní teplota tranzistoru 103 NU 70 při vypočtené ztrátě $P_C = 52,2 \text{ mW}$ a teplotě okolí $50 \text{ } ^\circ\text{C}$ by byla (výrobce udává hodnotu $\kappa = 0,5 \text{ mW}/^\circ\text{C}$): $T_j = 50 + 0,5 \cdot 52,2 = 50 + 26,1 = 76,1 \text{ } ^\circ\text{C}$, tedy nad dovolenou mezí!

Zatěžovací odpor (impedance) jednoduchého tranzistorového výkonového stupně se určí přibližně jako u pentody, tj. jako podíl z koléktorového napětí a proudu

$$R_z = \frac{U_{CE}}{I_C} \quad [\Omega; \text{ V, A, nebo k}\Omega; \text{ V, mA}] \quad (12)$$

Pro uvedený tranzistor s kolektorovým napětím $U_{CE} = 8,7 \text{ V}$ a proudem $I_C = 6 \text{ mA}$ by

byl optimální zatěžovací odpor $R_z = \frac{8,7}{6} = 1,45 \text{ k}\Omega$, což je podle zkušeností s elektronkami málo; ještě daleko menší odpor vyjde pro větší výkony, např. už pro tranzistor příkonu 125 mW napájený 6 V to bude jen asi $300 \text{ } \Omega$; výstupní transformátorky, určené pro elektronky, tedy nelze použít pro tranzistory! Druhy vhodné pro tranzistory jsou běžné k dostání jak pro jednoduché, tak i pro dvojitinné stupně.

Převod na kmitací cívku reproduktoru je většinou sestupný. Poměr vinutí je odmocninou impedancí zatěžovacího odporu R_z a odporu kmitačky R_k (obr. 13)

$$p = \sqrt{\frac{R_z}{R_k}} \quad [\Omega, \Omega] \quad (13)$$

Např. pro náš případ a kmitačku 5Ω by byl převod $p = \sqrt{\frac{1450}{5}} = \sqrt{290} = 17$, čili sekundár by měl 1/17 počtu primárních závitů.

Výpočet transformátoru již nepatří do této úvahy. Nevýhodou jednoduchého stupně je jednak poměrně malý výkon (asi $35 \div 40 \%$ kolektorové ztráty), jednak skutečnost, že poměrně značný kolektorový proud je z baterie odebírán stále, tedy i v době bez signálu, čímž se její životnost značně krátí.

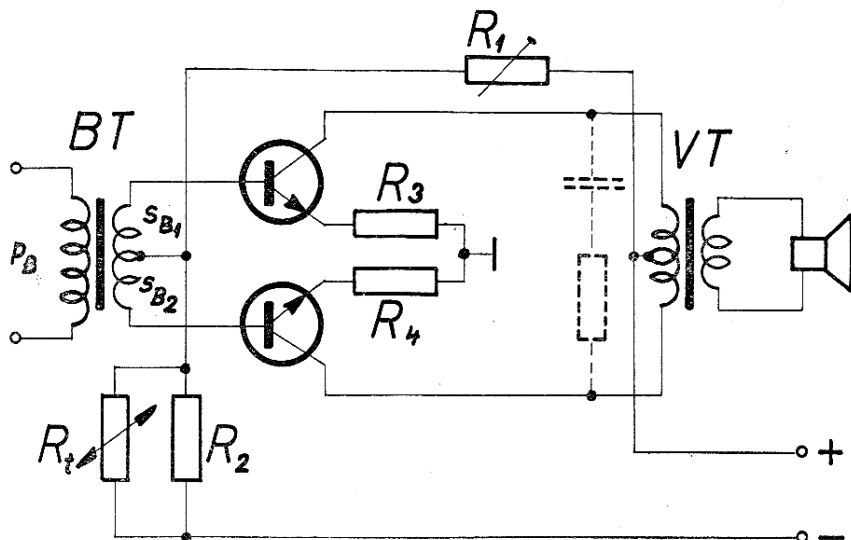
9.2. DVOJČINNÝ STUPEŇ

Větší výkon i s tranzistory menšího příkonu docílujeme ve dvojitinném zapojení (obr. 14). Používá se ovšem dvou tranzistorů a dvou transformátorů — budícího a výstupního.

Podle polohy pracovních bodů tranzistorů na kolektorových charakteristikách pracuje dvojitinný stupeň buď ve třídě A nebo B.

Ve třídě A bychom získali jen větší výkon (a menší zkreslení harmonickými kmitočty) — jinak i zde je značná a stále stejná proudová spotřeba z baterie.

Ve třídě B docílujeme nejen větší výkon, ale i úsporný provoz: bez signálu neprotéká téměř žádný kolektorový proud, ale každý tranzistor zpracovává jednu půlplnu signálu, čímž vzniká při malém signálu velmi značné zkreslení. Teoretická účinnost tohoto zapojení je až $78,5 \%$. Oba tranzistory však musí být elektricky stejné, **spárované**. Nelze tedy použít jen dvou tranzistorů stejného typu, nutno je vybírat.



Obr. 14. Dvojitý koncový stupeň (tř. AB)

V praxi jdeme „zlatou střední cestou“: posuneme pracovní body tranzistorů tak, aby i bez signálu protékal slabý kolektorový proud (např. 2 mA pro 50 mW tranzistor), který úměrně se signálem samočinně vzrůstá. Je to kompromis obou zapojení, třída AB. Má také ještě značnou účinnost a malé zkreslení při slabém signálu. Je výkonné a přitom úsporné v provozu.

Zatěžovací odpor se ovšem nedá určit jako u jednoduchých stupňů třídy A, neboť kolektorový proud zde silně kolísá s modulací. Přibližně stanovíme hodnotu R_z ze vztahu,

$$R_z = \frac{U^2}{12 \cdot P_C} \quad [\Omega; V, W] \quad (14)$$

kde U je napětí napájecího zdroje. P_C však můžeme zvýšit o $1/4$ až $1/2$ oproti udané kolektorové ztrátě, protože se plné zatížení nevyskytuje trvale. Tak při napětí 9 V a tranzistoroch 50 mW (připustíme-li špičkový příkon 70 mW) bude zatěžovací odpor (14)

$$R_z = \frac{81}{12 \cdot 0,07} = 96,5 \Omega$$

To je zatěžovací odpor pro jeden tranzistor. Od kolektoru ke kolektoru musí být (podobně jako u elektronek) zatěžovací odpor čtyřnásobný, takže

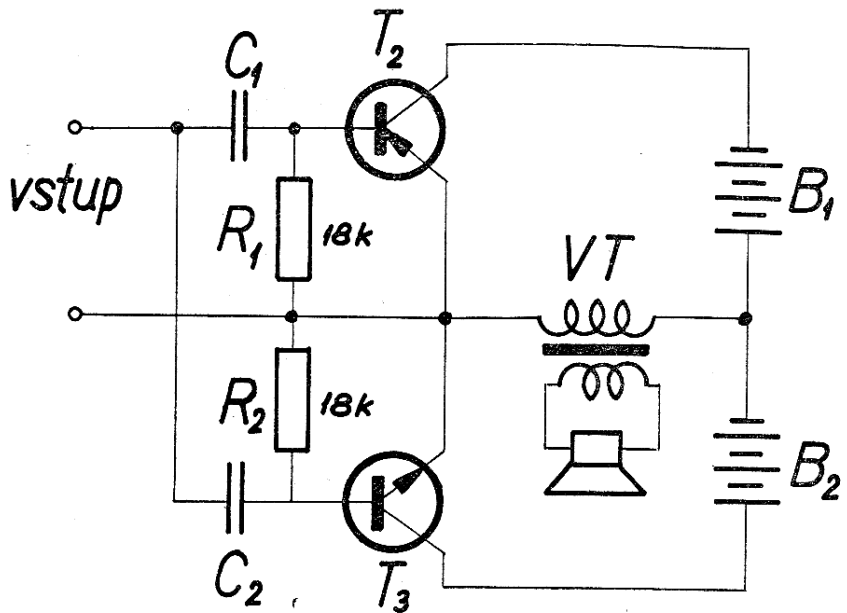
$$R_{C-c} = 4 R_z \quad [\Omega; \Omega] \quad (15)$$

Pro náš příklad by byl výsledný zatěžovací odpor $R_{C-c} = 4 \cdot 96,5 \approx 386 \Omega$.

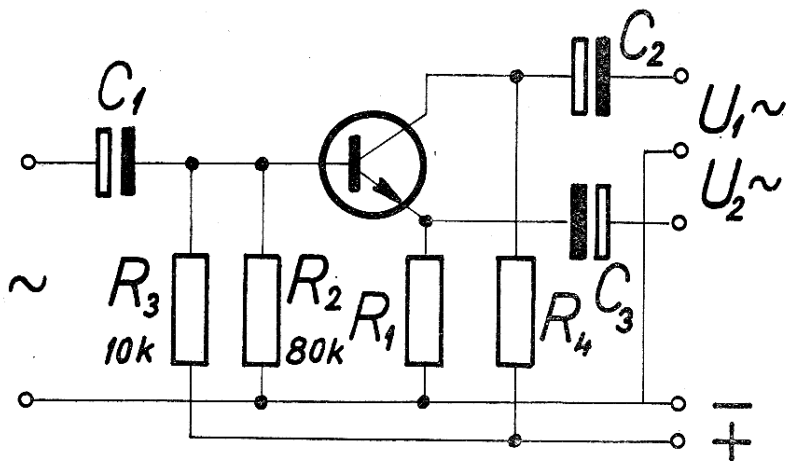
Převod výstupního transformátoru se určí jako odmocnina poměru celé impedance primáru k impedanci sekundáru, obdobně vzorcí (13). Např. pro kmitačku 5Ω je poměr vinutí

$$P = \sqrt{\frac{R_{C-c}}{R_k}} = 8,8$$

Ohmický odpor vinutí musí být malý, aby ani při silném signálu příliš nekleslo napětí na kolektorech. Teplotní stabilizace musí být účinnější, aby nemohlo dojít k poškození



Obr. 15. Dvojčinný stupeň s komplementárními tranzistory



Obr. 16. Budící stupeň pro dvojčinný konec

tranzistorů. Vedle běžného děliče v bázi (zapojeného na střed sekundáru budicího transformátoru BT), sestávajícího z odporů R_1 a R_2 používá se často termistoru, tepelně závislého odporu R_t ($100 \div 200 \Omega$) paralelně k odporu R_2 nebo plošné diody, namontované pro vyšší výkony tranzistorů na společné chladicí desce, aby se oteplení měnilo současně. Kromě toho se do emitorů vkládají malé odpory R_3 , R_4 ($2 \div 10 \Omega$ dle kolektorové ztráty), které mohou vyrovnávat kolektorové proudy spárovaných tranzistorů přesněji.

Budicí transformátor BT musí dostávat do primáru P_B z předchozího tranzistoru určitý výkon. Impedance jeho primáru odpovídá zatěžovacímu odporu tranzistoru T_1 , primáry výstupního jsou přizpůsobeny AB třídě výkonnového stupně. Např. transformátory Jiskra pro 50 mW tranzistory mají hodnoty: BT 38 — primár 3 000 závitů drátu průměr 0,08 mm, sekundáry 2x1 000 závitů téhož drátu, je tedy poměr vinutí BT sestupný 3 : (1 + 1). Výstupní VT 38 — primár 2x410 závitů drátu 0,2 mm, sekundár 64 závitů drátu 0,5 mm, takže poměr P : S = (6,4 + 6,4) : 1 pro kmitačku 5 Ω .

Dvojčinné stupně mohou být též bez budicího transformátoru, ba někdy i bez výstupního („bez železa“, obr. 15). Tranzistory jsou tu tzv. doplňkové (komplementární), tj. jeden typu npn, druhý pnp, např. 103 NU 70 a 0 C 70 apod. Báze obou jsou spojeny. Kolektorové obvody se však napájejí ze dvou oddělených baterií po 4,5 až 6 V. Má-li kmitačka vyšší impedanci, může odpadnout i výstupní transformátor — oba stejnosměrné kolektorové proudy se v ní totiž ruší.

Také budicí transformátor lze nahradit tranzistorovým stupněm, obdobným elektronkovému „katodynu“. Zapojení je znázorněno na obr. 16. V kolektoru a emitoru jsou stejné odpory R_1 a R_4 ($4k7 \div 10 k\Omega$), na nichž vzniká stejně velké střídavé napětí U_1 a U_2 opačné fáze. Účinnost se zapojení tř. AB s transformátory úplně nevyrovná, odpadnou však rozměrné součásti.

10. POZNÁMKY K ZAPOJENÍ PŘIJÍMAČŮ

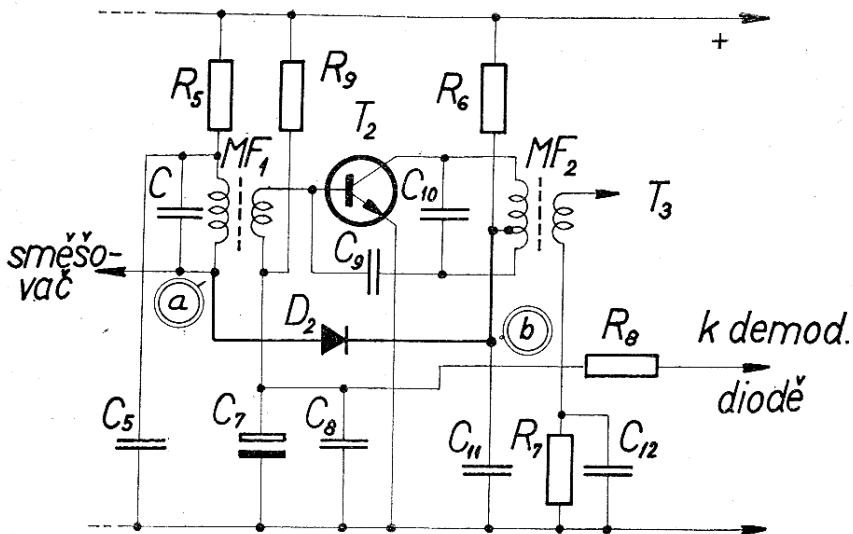
Nejčastěji se používá tři druhů zapojení tranzistorových přijímačů — podobně jako u elektronek. Přímozesilující zpětnovazební (detekce + nf), přímozesilující reflexní a superhet (příp. reflexovaný).

Přístroje prvé skupiny odpovídají asi „dvoulampovkám“ — mají dosti kvalitní přednes, ale malou selektivitu a citlivost a potřebují nutně anténu, případně i uzemnění. Doporučujeme reproduktor většího průměru a zdroj napětí asi 9 V.

Reflexní přímozesilující přijímače využívají vstupní tranzistor 2x, tj. jako vysokofrekvenční a po detekci, kterou zde obstarává dioda, znovu jako 1. nízkofrekvenční. Pak následuje koncový (výkonový) stupeň, jednoduchý nebo dvojčinný. Ušetří se tím počet tranzistorů a vzhledem k vř zesílení stoupne i citlivost, takže není zapotřebí vnější anténa a silné vysíláče hrají i na zabudovanou ferritovou tyčku. Pro zvýšení citlivosti a selektivity se přidává říditelná zpětná vazba ve vř stupni. Prvý tranzistor má mít vyšší mezní kmitočet, $2 \div 3$ MHz (např. 152 NU 70 nebo 154 až 156 NU 70) a nf stupně doporučujeme osadit typy s větším činitelem β . Výkon i citlivost bývá slušná, obsluha je však poměrně složitá a chybí vyrovnávání citlivosti. Stavba vyžaduje trochu praxe a dobré součástky.

Nejcitlivější — a pro toho, kdo již získal zkušenosti s tranzistory — nejvhodnější je superhet. Je selektivní, přenosný (často skutečně kapesních rozměrů, což záleží na součástkách) a citlivý prakticky stejně po celém vlnovém rozsahu. Obsluha je snadná a navíc citlivost se řídí samočinně podle intenzity přijímaného vř signálu. Dobrý superhet lze sestavit již ze 4 tranzistorů (reflexní i s 3); standardní je typ 6 tranzistorový, kde je každý obvod samostatně využit. Při koncovém stupni třídy AB je úsporný v provozu a dostatečně výkonný. Bylo jich už popsáno mnoho a nebudeme se proto zapojením detailně zabývat.

Při velkém zesílení a selektivitě je někdy velmi silný vysíláč (např. Praha I v kraji Praha a východní Čechy) zkrácen přehlcením už v detekci. Tranzistor totiž nemá tak dlouhou regulační charakteristiku jako říditelná elektronka („selektoda“). Tato závada se dá



Obr. 17. Tlumicí dioda D_2 v citlivém superhetu

úplně odstranit druhou tzv. tlumicí diodou D_2 . (Obr. 17.) Přidané obvody jsou vytaženy silněji. Do vývodu od 2. MFT na $+$ pól se vloží odpor R_6 , přemostěný kapacitou $C_{11} = 10 - 20$ nF. R_6 nutno vyzkoušet, aby bez signálu nebyl mezi body a, b žádný rozdíl stejnosměrného napětí. Mezi tyto body se zapojí tlumicí dioda D_2 (raději s vyšším závěrným napětím, např. 3 NN 41); pozor na její polaritu! Při silném vstupním signálu klesne působením automaticky kolektorový proud tranzistoru T_2 a tím stoupne napětí na odporu R_6 (bod b). Diodou D_2 počne protékat určitý proud a klesne její odpor, který tlumí primární vinutí MF_1 v závislosti na napětí a tím samočinně zeslabí i značně silný signál, čímž zkrácení zmizí. Současně se rozšíří přenášené pásmo kmitočtů. Nastavíme jen správně hodnotu R_6 (mezi $1 \div 3,9$ k Ω). I v napájecích obvodech tranzistoru T_1 jsou totiž odpory (v emitoru nebo i kolektoru); proto nařídíme nulový rozdíl napětí mezi body a, b tímto odporem.

Za demodulační diodou stačí běžně jeden budící stupeň s tranzistorem o zesilovacím činiteli $\beta = 60 \div 75$. Doporučuje se koncový stupeň dvojčinný tř. AB (s transformátory). Negativní nf zpětná vazba neškodí, bývá ale málo platná, neboť nevalný frekvenční průběh reproduktorků malých přijímačů se jí stejně nedá dostatečně korigovat. Nadbytečně vysoké tóny (šum!) omezíme již před výkonovým stupněm. U demodulační diody se proto má používat větší kapacity, např. 22–47 nF. Spotřeba proudu správně seřízeného šesti-tranzistorového superhetu při napájecím napětí baterie $U_B = 9$ V činí bez signálu pouze 4–5 mA, při špičkách průměrné hlasitosti asi 20 mA. Takový superhet je tedy velmi úsporný.

11.0. CO TRANZISTORY NESNÁŠEJÍ

V prvé řadě vysokou teplotu, ani vzniklou při pájení vývodů, ani např. v létě přímým slunečním zářením apod.! Tavicí teplota cínové pájky je 230 °C — a přívodní drátky vedou rychle teplo k elektrodám uvnitř tranzistoru. Proto je nesmíme zbytečně zkracovat — v žádném případě natolik, aby se vývody nedaly při pájení chladit! Teplo odvádíme držením v plochých kleštičkách nebo aspoň v masívní pinzetě. Chlazení namočenými plstěnými vložkami v čelistích krokodýlků a podobné vynálezy jsou problematické. Držení v klíšťkách (pinzetě) zcela vyhoví i pro přívody zkrácené až na 15 mm, netrvá-li pájení déle než 2 vteřiny. Nesmíme ovšem ihned po ztuhnutí cínu klíšťky či pinzetu odstranit — ještě dost značné teplo z cínové pájky by se dostalo na polovodičový přechod! Při opatrném (třeba i několikanásobném) pájení i zkrácených přívodů nebylo prokázáno žádné zhoršení tranzistoru, ale přesto doporučujeme opatrnost. Mnohé návody doporučují místo pájení upevnění do svorek. Pro zkušební montáže to vyhoví; pájením vývodů zaniká záruka na tranzistor. Před pájením na vývody navlékneme různobarevné izolační trubičky (vnitřního \varnothing 0,5–0,7 mm) v určitém sledu, např. emitor — černá, báze — žlutá nebo zelená, kolektor červená apod. Zabráníme tím možnému zkratu vývodů nebo styku s jinými součástkami, což je — vedle přehřátí — častou příčinou poškození tranzistoru (zvýšený I_{CO} a šum) nebo jeho zkázy.

Některé zahraniční — i starší čs. druhy — měly skleněné pouzdro natřené zevně černou barvou nebo jsou kovová pouzdra u vývodů uzavřena sklem nebo průhlednou plastickou hmotou. Takové typy nesmíme v činnosti a při měření vystavovat světlu, neboť polovodičový systém reaguje na světlo jako fotonka. Tím vzrůstá klidový proud elektrod a šum nebo vzniká vrčení (při osvětlení žárovkou, napájenou střídavým proudem).

I menší tranzistory (50–125 mW) výkonových nízkých stupňů doporučujeme chladit na koncových dvojitých stupních upevněním obou tranzistorů do společného držáčku z měděného nebo hliníkového plechu asi 12 cm² velkého a tloušťky 0,2–0,5 mm, čímž si oba tranzistory navíc udržují stejnou teplotu.

Tranzistory jsou choulostivé i na napětové nárazy; škodí jim, přivádíme-li na bázi větší signál při odpojném zatěžovacím odporu (např. kmitačky reproduktoru od výstupního transformátoru). Pokud se tranzistorů používá k ovládání relé, musíme napětové špičky ve vinutí oslabit použitím ochranné paralelní diody.

Nesmíme též přehodit póly napájecího zdroje. Proti následkům přepólování chráníme zařazení jednoduše zapojením plošné diody do série s jedním pólem baterie, samozřejmě správnými póly. Při obrácené polaritě zdroje je dioda uzavřena a nepropustí do přístroje proud. K odstranění vlivu odporu diody (možnost vazeb) přemostíme napájecí vstup tranzistorového zařízení velkou kapacitou, např. elektrolytem 100 μ F na 6 až 30 V (podle napětí zdroje). Existuje též vtípné zapojení se 4 diodami v můstkovém zapojení, kdy přístroj funguje při jakékoli polaritě zdroje. Je to však složitější a nákladnější.

12.0. ZÁVĚR

Snad tyto pokyny a zkušenosti poslouží mnoha amatérům i technikům. Škoda, že omezený rozsah brožurky nemůže pojmout více informací. Stále se zvyšující jakost, výhodnější parametry a úspornost v provozu jistě tranzistorům dopomohou brzy k velkému rozšíření.

Mnohý čtenář by zde rád viděl i tabulku hodnoty běžných tranzistorů. Ale tento sortiment se rychle vyvíjí, a proto se stále mění. Jednak budou nahrazeny jakostnějšími, jednak se přejde na jiné označení tranzistorů. Proto po dobré úvaze hodnoty tranzistorů neuvádíme, neboť jsou obsaženy v běžně dostupných výtiscích kapesního katalogu výrobků n.p. Tesla Rožnov, případně na listech technické dokumentace s údaji mnohem obsáhlejšími, než by bylo v této příručce možné.

OBSAH

Úvod	str. 3
1.0. Hrotové diody — základ tranzistorů	4
1.1. Tranzistory hrotové	4
1.2. Tranzistory plošné	4
2.0. Zapojení tranzistorů	6
2.1. Zesilovací činitel	6
2.2. Mezní kmitočet	7
2.3. Barevné značení tranzistorů	7
2.4. Značení tranzistorových veličin	8
3.0. „Tajemné“ tranzistory	8
3.1. Zjištění vývodů tranzistorů	9
3.2. Určení druhu (vodivosti) tranzistoru	9
4.0. Improvizované měření hlavních veličin	10
4.1. Zbytkový proud I_{CBO}	11
4.2. Kolektorový proud I_C	11
4.3. Proud báze I_B	13
4.4. Činitel proudového zesílení	13
5.0. Záměna tranzistorů pnp a npn	14
6.0. Šum tranzistorů	16
7.0. Teplotní stabilizace	16
8.0. Tranzistory v přijímačích	19
8.1. Vf a mf stupně	19
8.2. Vf oscilátory	21
8.3. Nf zesilovací stupně	22
9.0. Výkonové stupně s tranzistory	24
9.1. Jednoduchý stupeň	24
9.2. Dvojčinný stupeň	25
10.0. Poznámky k zapojení přijímačů	28
11.0. Co tranzistory nesnášejí	30
12.0. Závěr	30
Literatura	32

LITERATURA

- (1) **Dragoun-Šmirous:** Polovodiče. SNTL 1959
- (2) **Čermák Jindř., inž.:** Tranzistory v radioamatérově praxi. SNTL 1960
- (3) **Frank-Šnejdar:** Krystalové elektronky. SNTL 1959
- (4) **Lukeš Jaroslav, inž.:** Tranzistorová elektronika. SNTL 1959
- (5) **Sominskij N. S.:** Polovodiče. Naše vojsko 1962
- (6) **Čermák Jindřich, inž.:** Měření a zkoušení tranzistorů. SNTL 1962
- (7) **Staněk Milan, inž.:** 100 tranzistorových přístrojů. Práce 1961
- (8) **Budínský J., inž.:** Nízkofrekvenční tranzistorové zesilovače. SNTL 1961
- (9) **Novák-Kozler:** Amatérské součástky a stavba tranzistorových přijímačů. SNTL 1963
- (10) **Myslivec J., inž.:** Tranzistorové magnetofony. SNTL 1963
- (11) Časopis Amatérské rádio. Naše vojsko.
- (12) Časopis Sdělovací technika. SNTL
- (13) Kalendáře Sdělovací techniky.
- (14) Katalog elektronek Tesla Rožnov. 1964.
- (15) Polovodičové součásti. Tesla Rožnov 1963.

STAVEBNÍ NÁVODY

PRO RADIOAMATÉRY

- 1 KRYSTALOVÝ PŘIJIMAČ
 - 2 MONODYN — 1 elektronkový přijímač na baterie.
 - 3 DUODYN — 2 elektronkový přijímač síťový
 - 5 SONORETA RV 12 — trpasličí rozhlas 2 elektronkový
 - 6 SONORETA 21 — trpasličí přijímač 1 elektronkový
 - 7 SUPER I - 01 — malý standardní superhet
 - 8 DIVERSON — moderní superhet
 - 9 NF 2 — 2 elektronkový univerzální přijímač
 - 10 NÁHRADNÍ ELEKTRONKY — porovnávací tabulky
 - 11 SUPER 254 E — malý superhet
 - 12 OSCILÁTOR — pro vf měření
 - 13 ALFA — výkonný superhet
 - 14 DIPENTON — 2+1 elektronkový přijímač
 - 15 MÍR malý 4+1 elektronkový superhet
 - 16 MINIATURNÍ ELEKTRONKY
 - 17 MINIBAT — 4 elektronkový superhet
 - 18 TRIODYN — 3+1 jednoobvodový přijímač
 - 19 EXPOMAT — elektronkový časový spínač
 - 20 GERMANIOVÉ DIODY v teorii i praxi
 - 21 ELEKTRONKOVÝ VOLTMETR EV 101
 - 22 TRANSINA — kabelkový tranzistorový přijímač
 - 23 VIBRATON — elektronkové vibrato ke kytarě
 - 24 TRANSIWATT — předzesilovač pro Hi-Fi — 1. část
 - 25 TRANSIWATT — výkonový zesilovač — 2. část
 - 26 TRANSIWATT STEREO — kompl. zesil. souprava — 3. část
 - 27 STEREOSONIC — souprava pro stereofonní desky
 - 28 RIVIERA — horské slunce
 - 29 MINIATURNÍ VENTILÁTOR na baterie a síť
 - 30 AVANTIC — zesilovací aparatura pro věrný přednes
 - 31 TRANSIWATT MINOR — zesilovač pro stereofonní sluchátka
 - 32 CERTUS — výkonný nabíječ akumulátorů
 - 33 TRANZISTOROVÝ MĚŘICÍ PŘÍSTROJ
 - 34 TONMIX I.
 - 36 MINIATURNÍ OSCILOGRAF
- mimo řadu: SYNCHRODETEKTOR — pro příjem VKV za cenu 4,50 Kčs
Neuvedená čísla jsou rozebrána.

► Cena za 1 sešit 2 Kčs.

Objednávky vyřizujeme pouze na dobírku

Brožury obdržíte v pražských prodejnách radiosoučástek

Václavské nám. 25 ● Žitná 7 (Radioamatér) ● Na poříčí 45 ● Jindřišská 12

Cena 2,— Kčs

D-10*40328

56/III-8