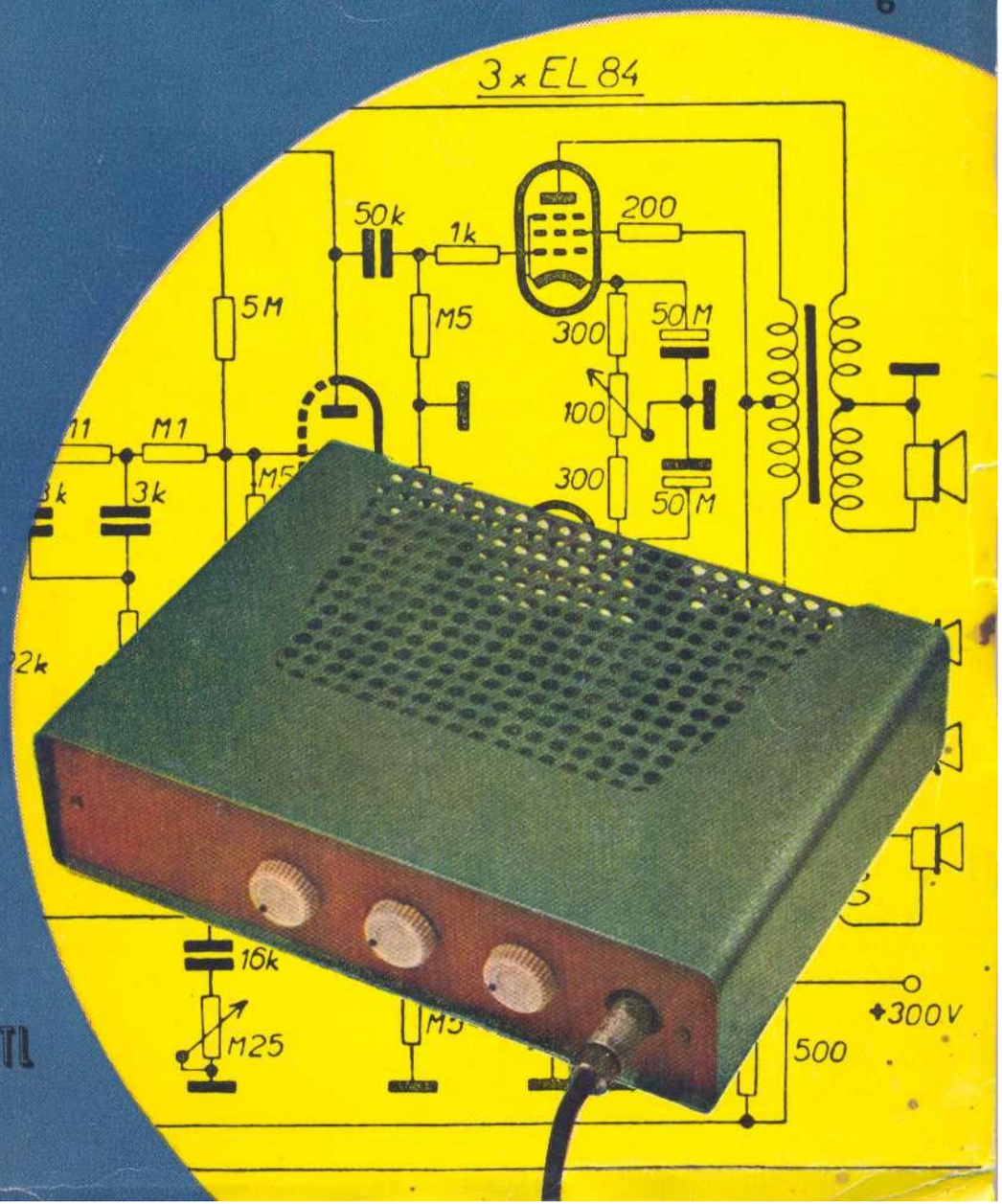
JAROSLAV HYAN

ZESILOVAČE
PRO VĚRNOU REPRODUKCI

RADIOTECHNIKA POPULÁRNÍ

6



SNTL

INŽ. JAROSLAV T. HYAN

ZESILOVAČE PRO VĚRNOU REPRODUKCI

PRAHA 1960

STÁTNÍ NAKLADATELSTVÍ TECHNICKÉ LITERATURY

Kniha zpracovává požadavky na věrnou reprodukci, popisuje jednotlivé části zařízení, kudy prochází a kde se upravuje nízkofrekvenční signál, seznamuje s prostředky, jimiž se dosahuje jakostní reprodukce. Podrobně popisuje několik typů jakostních zesilovačů s ohledem na možnosti a požadavky uživatele. Vysvětluje zařízení pro stereofonní reprodukci, způsoby nahrávek a užití.

Kniha je určena radioamatérům, pracovníkům místních rozhlasových zařízení a širokým masám zájemců o jednokanálovou a stereofonní reprodukci.

Lektor: Inž. dr. Aleš Boleslav

Redakce elektrotechnické literatury — hlavní redaktor inž. dr. František Kašpar

© Inž. Jaroslav T. Hyan, 1969

ÚVODEM

S rozvojem a výrobou dlouhohrajících gramofonových desek a se zavedením pravidelného pořadu na velmi krátkých vlnách s kmitočtovou modulací vzrůstá počet zájemců o jakostní zesilovače, které mohou věrně přenášet široké kmitočtové pásmo nahrávek a vysílaných pořadů. Tato kniha má seznámit čtenáře s problémy spojenými s dosažením věrné reprodukce, s typy moderních zesilovačů s minimálním zkreslením a jejich konstrukcí. Pojednává také o stereofonii neboli prostorovém slyšení — novém oboru elektroakustiky, který je i v zahraničí velmi populární. Úkolem knihy je seznámit zájemce se stránkou teoretickou, aby si pak na podrobných návodech osvojili praktické zkušenosti.

Autor dodal redakci výkresy, nakreslené s některými odchylkami v symbolice od čs. normy (např. značení nepřímo žhavené katody elektronky tečkou místo obloučkem); protože tyto odchylky neporušují srozumitelnost a čitelnost, ponechala redakce výkresy v původní podobě.

Předkládáme tuto knihu širokému okruhu čtenářů s přáním, aby jim pomohla při řešení otázek z oboru elektroakustiky.

OBSAH

Úvodem 5

I. Zesilovače 9

1. Věrnost reprodukce 9
2. Zkreslení 11
3. Způsoby korekce 12
4. Mísicí stupně 15
5. Korekční předzesilovače 18
6. Jakostní zesilovače 20
   a) jednoduchý zesilovač 21
   b) „ultralineární" zapojení koncového stupně 23
   c) Williamsonův zesilovač 25
   d) jednopólový souměrný zesilovač 25
   e) zesilovač PPP (push-pull-parallel) 31
   f) dvoukanálový zesilovač 35
7. Fyziologický regulátor 38
8. Výstupní transformátor 40
9. Elektrické výhybky 44
10. Reproduktory a reproduktorové soustavy 49
11. Ozvučnice 52
12. Měření zesilovačů 61
   a) měření zesílení 61
   b) měření kmitočtového zkreslení 61
   c) měření fázového zkreslení 62
   d) měření citlivosti a výkonu 62
   e) měření činitele tvarového zkreslení 62
   f) měření intermodulačního zkreslení 63
13. Tónový generátor a kmitočtový nízkofrekvenční modulátor 65

II. Stereofonie 70

14. Několik slov úvodem 70
15. Vlastnosti stereofonní reprodukce 71
16. Nahrávací postup 72
17. Záznamové cesty 74
18. Přenoska 79
19. Vyvážení kanálů 80
20. Některé zásady pro uskutečnění prostorového vjemu při stereofonní reprodukci 84

21. Zesilovače 92
a) stereofonní adaptor 93
b) jednoduchý stereofonní zesilovač 95
c) stereofonní zařízení s „ultralineárním" koncovým zesilovačem 96
d) stereofonní zesilovač pro hudební skříň 97
e) nízkofrekvenční část hudební skříně 99
22. Stereofonní rozhlas 100

III. Stavba zesilovačů 103

23. Korekční předzesilovač 103
24. Zesilovač 4 W 108
a) kostra 108
b) pájení 111
c) zapojení zesilovače 115
d) uvedení do chodu 118
e) skříň pro zesilovač 120

Literatura 124

Rejstřík 127

I. ZESILOVAČE

1. Věrnost reprodukce

Velmi jakostní reprodukce ("high fidelity = Hi-Fi") je pojem, s kterým se v elektroakustice často setkáváme. Vznikl při splnění požadavku vývoje takového reprodukčního zařízení, které by bylo s to co nejvěrněji reprodukovat zesilované tónové spektrum kmitočtů bez znatelného zkreslení.

Zařízení pro věrnou reprodukci se skládá z řady článků — dílů, jejichž vlastnosti určují jeho jakost. Jsou to:

a) zdroj signálu (obvykle gramofonová přenoska),

b) vstupní a mísicí jednotka pro reprodukci několika pořadů (někdy je opatřena pevnými korekčními obvody vyrovnávajícími kmitočtovou charakteristiku zdrojů signálu),

c) předzesilovač s nezávislou regulací hlubokých a vysokých tónů,

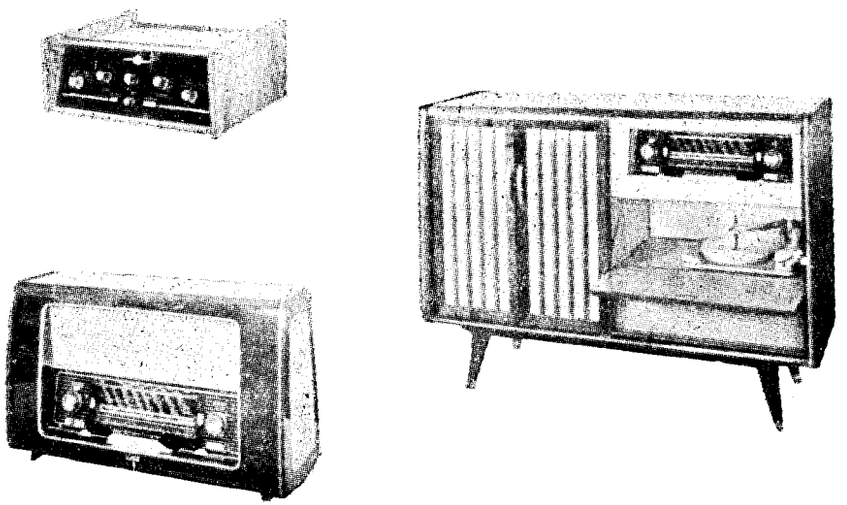
d) výkonový zesilovač (na jehož vlastnosti má vliv zapojení a druh výstupního transformátoru),

e) reproduktorová soustava.

Od velmi jakostního zařízení tedy požadujeme, aby se sluchový vjem reprodukovaného pořadu shodoval se sluchovým vjemem pořadu původního. Tato podmínka se splňuje řadou opatření omezujících zkreslení zařízení na nejmenší možnou míru. (Značný význam má i tvar vyzařovací charakteristiky reproduktorové soustavy, který má být takový, aby byla akustická energie rozdělena v poslechové místnosti pokud možno rovnoměrně.) K tomu přistupuje ještě fyziologická závislost lidského sluchu pro různou hlasitost reprodukovaných pořadů, s kterou je též nutno se vyrovnat. Naproti tomu se někdy musí potlačit kmitočty pod 30 Hz, aby se zabránilo reprodukci nežádoucího hluku zdrojů signálu — zejména gramofonů. Též je třeba dostatečně tlumit rezonance reproduktorů vhodným zapojením a volbou správného typu ozvučnice.

Jsou tedy nároky kladené na jakostní nízkofrekvenční zařízení poměrně značné. Přesto však moderní technika zvládla tyto problémy. Zdůrazňujeme, že možnost dalšího zlepšení reprodukce není otázkou konstrukce nízkofrekvenčního zesilovače, nýbrž spíše jakosti reproduktorů, jejichž účinnost pro vyzařování nízkých kmitočtů (pod rezonančním kmitočtem) prudce klesá.

Jedním reproduktorem běžné výroby nelze vyzářit rovnoměrně celé tónové spektrum (s výhradou zvlášť nákladných speciálních konstrukcí), a proto se v jakostních zařízeních používá několika reproduktorů pracujících v rozdílných částech tónového spektra. V otázce řešení vyzařovacích soustav nepadlo ještě poslední slovo.



Obr. 1. Ukázky některých zahraničních přístrojů pro jakostní reprodukci. Vlevo nahoře zesilovač Hi-Tonne H 212 S, vlevo dole rozhlasový přijímač L. M. T. W 52 AM/FM, vpravo hudební skříň L. M. T. Prima-Ballerina.

Ve výčtu článků tvořících reprodukční zařízení jsme se zmínili o nezávislé regulaci hlubokých a vysokých tónů — neboli korekci kmitočtové charakteristiky. V dalším výkladu se těmito korekcemi budeme zabývat podrobněji; úvodem je však třeba zdůraznit, že poloha korekčních prvků, odpovídající ideální (kmitočtově nezávislé) charakteristice zesilovače, musí být jasně vyznačena. To proto, aby posluchač s necvičeným sluchem si nevhodným nastavením korekčních prvků reprodukci ještě podstatně nezhoršil, místo aby dosáhl reprodukce nejlepší jakosti. Korekční prvky slouží tedy jen k vyrovnání nf charakteristiky zařízení, aby se dosáhlo reprodukce co nejshodnější s nahrávkou.

Závěrem této stati připojujeme ukázku zahraničních výrobků pro dosažení věrné reprodukce — obr. 1.

2. Zkreslení

Nízkofrekvenční zesilovače i reprodukční soustavy mají co možná nejvěrněji přenášet signály tónového spektra, tj. v rozsahu od 20 do 20 000 Hz. Tato podmínka věrné a jakostní reprodukce není však bohužel dokonale splněna ani u nejlepších zařízení — vždy se setkáme s některým druhem zkreslení, které zhoršuje reprodukci.

V ideálním případě by byl časový průběh výstupního signálu co do tvaru shodný se signálem vstupním. Ve skutečnosti se však výstupní průběh signálu od vstupního poněkud liší, takže zařízení má zkreslení. Podle příčiny rozeznáváme hlavní druhy zkreslení:

1. tvarové (amplitudové, nelineární),
2. fázové,
3. kmitočtové,
4. intermodulační.

Tvarové zkreslení vzniká při průchodu signálu na kterémkoli členu zesilovače, který má nelineární charakteristiku (např. elektronka, výstupní a nízkofrekvenční transformátor, reproduktor atd.) tím, že kromě základního kmitočtu je signál nežádaně obohacen o kmitočty další, tzv. harmonické. Velikost tvarového zkreslení zesilovače závisí na amplitudě harmonických složek, které se objevují na výstupu. Tvarové zkreslení omezíme na přijatelnou míru zavedením silné záporné zpětné vazby, správnou volbou pracovních bodů elektronek, dostatečným dimenzováním výstupního transformátoru apod.

Fázový posun mezi výstupním a vstupním signálem udává fázové zkreslení. Pokud není příliš velké, neuplatní se při jednokanálové reprodukci příliš rušivě. Fázové zkreslení souvisí se zkreslením kmitočtovým.

Ideální zesilovač by měl zesilovat všechny tóny s různým kmitočtem stejnou měrou. Protože se to však nedčje, vzniká kmitočtové zkreslení. O velikosti tohoto zkreslení nás informuje kmitočtová charakteristika zesilovače, tj. křivka udávající průběh zesílení na kmitočtu. Ideální zesilovač, v kterém by nedocházelo ke kmitočtovému zkreslení, by měl tedy kmitočtovou charakteristiku rovnou (kmitočtově nezávislou) bez jakýchkoli odchylek znamenajících zkreslení. Kmitočtové zkreslení, které se vyskytuje převážně v okrajových částech přenášeného zvukového spektra, vyrovnáváme jednak korekcemi, jednak účinkem záporné zpětné (kmitočtově závislé nebo nezávislé) vazby.

Přenáší-li zesilovač dva nebo více signálů různého kmitočtu, je zkreslení dané nelineárností zařízení patrné již při daleko menší hodnotě, než tomu bylo při přenosu jediného signálu. Je to tím, že na výstupu zesilovače se objeví nové kombinační složky. Tím vzniká tzv. intermodulační zkreslení, které je mnohem citelnější než tvarové, protože kmitočty složek působících zkreslení nejsou v harmonickém vztahu k základním kmitočtům a projevují

se tedy jako nelibé zvuky, které původní nahrávka vůbec neobsahuje. Intermodulační zkreslení se omezí zmenšením nelineárnosti zařízení, a to opět pomocí silné záporné zpětné vazby a omezením tvarového zkreslení.

Někdy se ještě udává u zesilovačů zkreslení zakmitávací, které vzniká při reprodukci přechodových jevů, kdy skok napětí vyvolá vlastní tlumené kmity zařízení.

3. Způsoby korekce

V předešlé stati jsme se seznámili s různými druhy zkreslení, jež potlačujeme a omezujeme různými způsoby. Jak tedy vypadají např. korekce kmitočtového zkreslení nebo kmitočtové charakteristiky zesilovače? Tak především můžeme použít k širokopásmovému výkonovému zesilovači samostatných korekčních předzesilovačů, které používají k úpravě kmitočtové charakteristiky tří druhů korekcí. Jsou to:

a) korektory skládající se z pasivních členů *RC* jako proměnných hloubkových a výškových propustí (zádrží),

b) korektory využívající rozdílu fáze snímaného signálu na elektrodách předzesilující elektronky,

c) korektory pracující se zpětnými vazbami kmitočtově závislými.

Je pochopitelné že uvedené tři druhy korekcí bývají i v zapojení samostatných zesilovačů bez separátních předzesilovačů. Zde se většinou používá pro úpravu kmitočtové charakteristiky korektorů s pasivními prvky, popř. zavedení záporné zpětné vazby kmitočtově závislé.

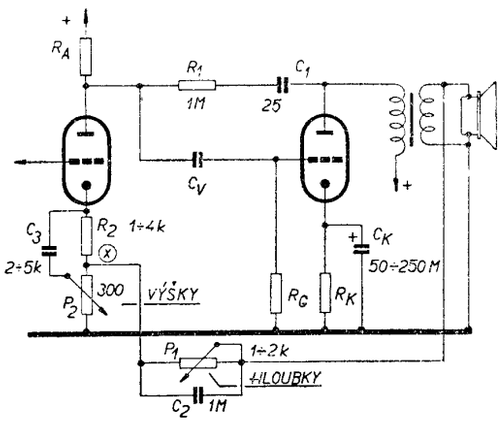
Nejjednodušším případem kmitočtově závislé záporné zpětné vazby je zapojení sériového členu *RC* z anody koncového stupně na anodu předcházejícího stupně. Z toho vyplývá, že přivádíme vlastně z anody koncového stupně část zesíleného signálu přes pomocný člen (např. kondenzátor) na mřížku téhož stupně (obr. 2).

Stupeň zpětné vazby závisí jednak na zesílení stupně, na němž vazbu zavádíme, jednak na hodnotě impedance mezi jeho anodou a mřížkou a konečně na impedanci zdroje signálu (předchozího budicího stupně). Jak patrno, není ani tato poměrně jednoduchá vazba příliš snadnou záležitostí. Je-li impedance zdroje v rozsahu tónových kmitočtů přibližně konstantní, což je případ uvedený na obr. 2, je zesílení stupně se zpětnou vazbou mezi anodou a mřížkou závislé na hodnotě impedance mezi oběma elektronkami.

Takto provedená zpětná vazba (která je napěťová) zmenšuje zesílení daného zesilovacího stupně a přitom zmenšuje i jeho výstupní impedanci.

Jestliže vynecháme kondenzátor a zpětnovazební člen tvoří jen odpor R_1, je zpětná vazba kmitočtově nezávislá a tedy zesílení při všech kmitočtech je přibližně stejné. Záleží ovšem na velikosti zpětné vazby. Čím silnější je totiž tato vazba — což dosahujeme zmenšováním hodnoty odporu R_1 — tím menší je zesílení, avšak nízkofrekvenční charakteristika je vyrovnanější.

Jiným způsobem zavedení záporné zpětné vazby (kmitočtově nezávislé) pro úpravu kmitočtové charakteristiky je vypuštění katodového kondenzátoru C_k. Střídavým proudem, který prochází katodovým odporem, vzniká na něm totiž kolísající úbytek napětí, tedy střídavé napětí, které působí proti napětí mřížkovému. Je tedy účinek této proudové zpětné vazby obdobný jako u napěťové vazby již popsané. Tato vazba která je proudová, zvětšuje vnitřní odpor elektronky. Jestliže katodový kondenzátor u odporu



Obr. 2. Zapojení dvoustupňového zesilovače se zpětnovazebními obvody.

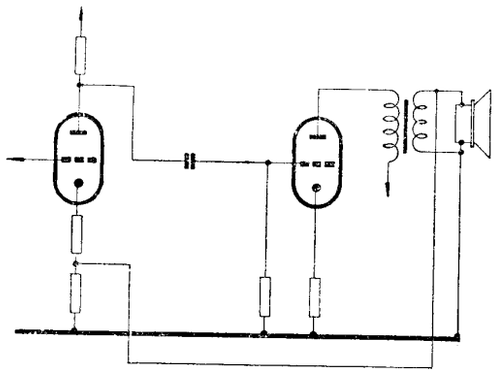
ponecháme, zrušíme částečně účinek zpětné vazby. Pak je třeba, aby kapacita kondenzátoru byla značně velká — podle okolností řádu set μF — nemá-li působit jako zdroj kmitočtového zkreslení na nízkých kmitočtech. (Je-li totiž jeho jalový odpor na nízkých a středních kmitočtech velký, zpětná vazba se opět uplatní a závisí na kmitočtu. Bude při nejvyšších kmitočtech nejmenší, a tím bude zesílení výšek proti hloubkám větší.)

Výpočet kapacity katodového kondenzátoru nalezneme v literatuře [56] a [54].

Další zapojení využívající záporné zpětné vazby kmitočtově závislé pro plynulou regulaci hlubokých a vysokých tónů zvukového spektra je též vyznačeno na obr. 2. Používá se ho s oblibou u jednodušších a levnějších dvoustupňových až třístupňových zesilovačů.

Zpětnovazební napětí se odebírá na sekundárním vinutí výstupního transformátoru a přivádí přes dělič napětí ke katodě předchozí elektronky, při čemž jeden konec sekundárního vinutí je uzemněn. Dělič napětí se

skládá z kondenzátoru C_2 a dvou potenciometrů P_1 a P_2. Kondenzátor C_2 a potenciometr P_1 tvoří obvod pro řízení hloubek, odpor R_2, potenciometr P_2 a kondenzátor C_3 obvod pro regulaci vysokých tónů. Kapacita C_2 je zvolena právě tak velká, že impedance při středních a vyšších kmitočtech je proti odporu P_2 nepatrná, avšak v oblasti nízkých kmitočtů je větší. Z toho vyplývá, že při nižších kmitočtech se zvětšuje impedance členu děliče C_2 (takže se mění celkový vzájemný poměr členů děliče), čímž se napětí v bodě x zmenšuje. Zpětnovazební napětí se dále převádí z bodu x odporem R_2 na katodu příslušné elektronky. Změnami hodnot potenciometru P_1 (který je vlastně zapojen jako proměnný odpor) řídíme tedy průběh hloubek. Při zkratovaném P_1 jsou hloubky potlačeny, při plné hodnotě P_1 hloubky vynikají.



Obr. 3. Zavedení napěťové záporné vazby kmitočtově nezávislé.

V oblasti středních a vysokých kmitočtů není třeba uvažovat impedanci kondenzátoru C_2, a můžeme si proto představovat, že celé napětí sekundárního vinutí je přivedeno přímo do bodu x. Kondenzátor C_3 výškové propusti se volí tak, aby jeho impedance byla při horním mezním kmitočtu malá, avšak při nízkých kmitočtech velká. Je-li tedy běžec potenciometru P_2 v dolní poloze, spojuje kondenzátor C_3 katodu elektronky se zemí. Je tedy jasné, že při vysokých kmitočtech tvoří kondenzátor C_3 pro zpětnovazební napětí zkrat, takže zesílení těchto kmitočtů bude větší. V opačném případě, kdy je běžec potenciometru P_2 v horní poloze, je kapacita kondenzátoru C_3 připojena paralelně k odporu R_2, a proto bude zpětnovazební napětí při vysokých kmitočtech větší než při středních a nízkých kmitočtech. Zesílení v oblasti výšek tedy v této poloze běžce poklesne.

Na obr. 3 je zapojení, v němž je opět použito záporné zpětné vazby ve-

dené ze sekundárního vinutí výstupního transformátoru na katodu jedné elektronky některého z předzesilujících stupňů. Zde je zpětná vazba kmitočtově nezávislá, neboť v jejím obvodě není žádný člen, jehož reaktance by se měnila s kmitočtem. Stupeň zpětné vazby je dán hodnotami použitých odporů a je pro použité hodnoty konstantní bez zřetele na kmitočet. Takový druh korekce je zvlášť výhodný, neboť ačkoli zmenšuje zisk zesilovače, vyrovnává kmitočtové zkreslení a omezuje zkreslení tvarové tím, že zmenšuje procentový obsah harmonických na výstupu. Dále pak zpětná vazba zmenšuje vnitřní odpor zesilovače, takže se dosahuje vhodného tlumení reprodukčních soustav, a přispívá k stabilnosti zesilovače. (Zde však je nutno upozornit na okolnost, že při stavbě a návrhu zesilovače se silnou zápornou zpětnou vazbou je třeba věnovat zvláštní pozornost konstrukci výstupního transformátoru; má-li mít zesilovač dostatečnou stabilnost, je jedním ze základních předpokladů jakost jeho výstupního transformátoru, tj. jeho činitel rozptylu musí být v mezích daných výpočtem a kapacita vinutí malá. Z toho vyplývá, že nelze povšechně tvrdit, že zvětšováním zpětné vazby se zvětší stabilnost. Naopak při zavádění silnější zpětné vazby se vždy nepodaří udržet stabilní provoz zesilovače.)

Zmenšení zisku způsobené zavedením zpětné vazby se vyrovnává použitím více stupňů, při čemž se zpětná vazba zavádí většinou do všech stupňů (nejvíce však do čtyř — nemá-li být ohrožena stabilnost vlivem fázového zkreslení působením rozptylových kapacit vazebních členů a přívodů elektronek a rozptylové indukčnosti transformátoru). Tím je tedy vysvětleno, proč jakostní zesilovače jsou zpravidla třístupňové či vícestupňové.

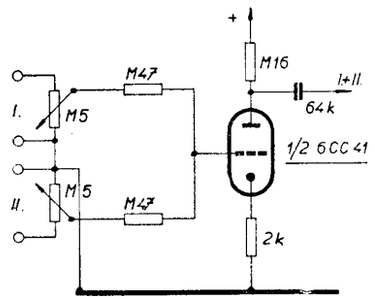
(Výpočet zesílení, stupně zpětné vazby, součinitele β apod. nalezne zájemce v literatuře [54, 20, 57], měření velikosti stupně zpětné vazby pak v [58]).

4. Mísicí stupně

Mnohdy je třeba přivádět na vstup zesilovače dva nebo více signálů, které se musí plynule smísit a vzájemně regulovat. Je tomu tak např. při reprodukci gramofonových desek (ve studiích ze dvou gramofonů bez přestávek s prolínáním při přechodech z jedné desky na druhou), nebo při reprodukci mluveného slova s podmalováním vhodnou hudební skladbou apod. V takových případech se používá různých zapojení, která umožňují měnit vzájemný poměr amplitud obou signálů. O několika zapojeních pojednáme poněkud podrobněji.

Nejjednodušší mísič dvou nízkofrekvenčních napětí je na obr. 4. Používá jedné elektronky — triody — přičemž oba signály jsou přiváděny na vstupní svorky dvou potenciometrů, jejichž běžce jsou přes oddělovací odpory připojeny k řídicí mřížce této triody. Hodnota oddělovacích odporů je poměrně velká (0,32 až 0,47 MΩ), čímž se zabraňuje vzájemnému ovlivňo-

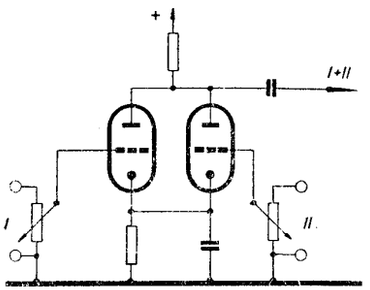
vání signálů při řízení hlasitosti. Při vypuštění těchto oddělovacích odporů by byla činnost řídicích potenciometrů mnohdy znemožněna. (Tak by tomu bylo, kdyby běžec jednoho vstupního potenciometru byl v uzemněné poloze. Pak by totiž byl zároveň zkratován i signál druhého kanálu — nemluvě o značném vzájemném ovlivňování.)



Obr. 4. Mísicí jednotka s jednou elektronkou pro dva vstupní signály.

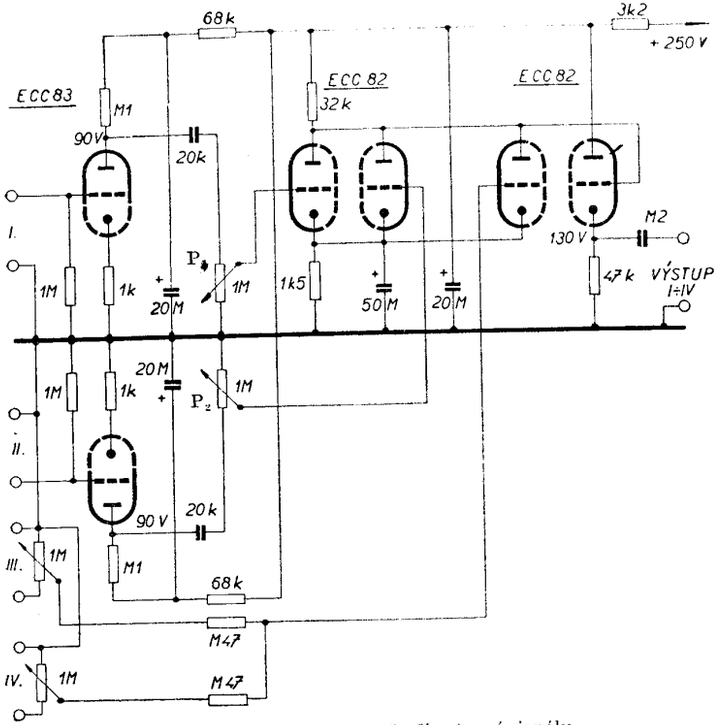
Zařazením oddělovacích odporů vznikají pochopitelně ztráty, neboť i při krajní poloze běžců potenciometrů k hornímu (živému) dorazu tvoří odpory společně s odpory potenciometrů dělič, který zeslabuje signál v nejlepším případě na 66 % úrovně vstupního napětí (zeslabení závisí na použitých hodnotách děliče). Proto se používá dalšího zapojení, které tyto ztráty odstraňuje, avšak vstupní elektronky musí být zdvojeny. Principiální zapojení je na obr. 5.

Jak je patrné, jsou elektrody triod (vyjma řídicí mřížky) spojeny paralelně. Vnitřní odpor paralelně spojených systémů je pak ovšem poloviční proti odporu jednoho systému, kdežto strmost zůstává nedotčena (neboť změna potenciálu mřížky jedné triody nevyvolá změnu anodového proudu v druhém systému.) Naproti tomu pokles vnitřního odporu (následkem paralelního zapojení) způsobí pokles zesilovacího činitele μ.



Obr. 5. Mísicí jednotka se zdvojenou triodou.

Zapojení na obr. 6. znázorňuje mísicí jednotku pro čtyři signály, přičemž dva vstupy jsou určeny pro signál nízké úrovně (mikrofon apod.), další dva pak pro signály s poměrně větší amplitudou (gramofon, magnetofon, rádiový přijímač). Jednotlivé signály lze vzájemně libovolně mísit. V zapojení je použito obou již popsaných způsobů míšení: navíc pak k dosažení dostatečného odstupu signál — pozadí (šum, bručení) jsou signály prvního a druhého kanálu nejprve zesíleny elektronkou ECC83 a pak teprve nastavena jejich úroveň potenciometry P_1 a P_2. Katodové odpory tohoto předzesilovacího stupně nejsou přemostěny kondenzátory, čímž vzniká proudová záporná vazba, přispívající k zmenšení nelineárního zkreslení. Výstupy jsou vedeny na další dvojitou triodu typu ECC82, ve které probíhá vlastní směšování. Na tuto dvojitou triodu navazuje další elektronka téhož typu, jejíž jeden systém slouží pro třetí a čtvrtý kanál, a je opět paralelně (anodou) spojena s předchozí elektronkou. Druhý systém tvoří katodový sledovač. K jeho mřížce je stejnosměrnou

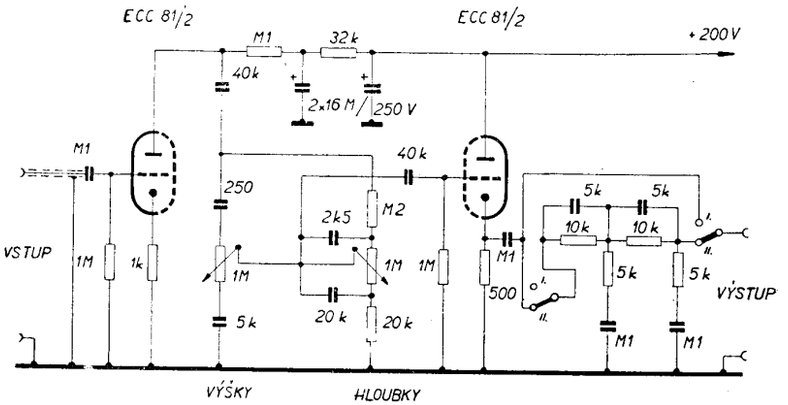


Obr. 6. Mísicí jednotka pro čtyři vstupní signály.

vazbou připojen výstup všech tří triodových systému (tj. jejich anody), čímž odpadá jeden vazební člen způsobující fázové zkreslení. Z katody sledovače je již odebírán výstupní signál obsahující napětí všech čtyř kanálů smíšených v libovolném poměru. Výhodou tohoto uspořádání je malá impedance výstupu mísiče, takže lze umístit celou jednotku i mimo vlastní zesilovač.

5. Korekční předzesilovače

Některé druhy jakostních zesilovačů se skládají jen z budicího a výkonového koncového stupně bez možnosti korekce zesilovaného signálu. K takovým jednotkám přidáváme korekční předzesilovače, které konstrukčně spojujeme v jeden celek s výkonovým zesilovačem, a to buď na společnou kostru, nebo je předřazujeme zvlášť.

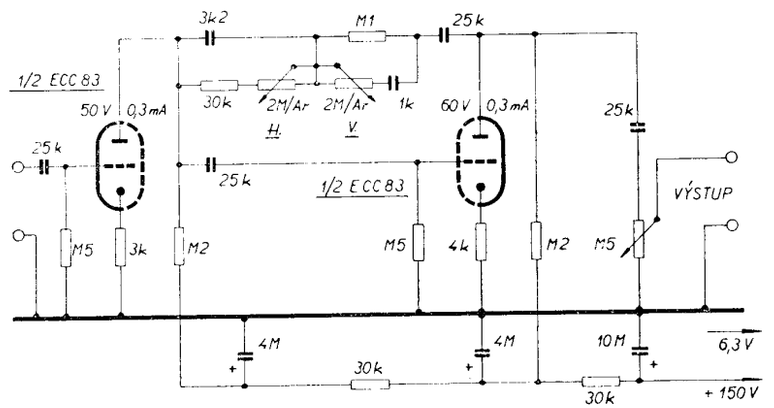


Obr. 7. Korekční předzesilovač s korektory tvořenými pasivními prvky *RC*.

První ukázkou je korekční předzesilovač (obr. 7), který lze umístit mimo vlastní zesilovač a ovládat tak barvu reprodukce na dálku. Umísťujeme jej do těsné blízkosti snímacího zařízení (mikrofonu nebo gramofonu) a zesílený signál vedeme z výstupu předzesilovače stíněným kabelem k vstupu výkonového zesilovače. K tomuto účelu se velmi dobře hodí, neboť má výstup s malou impedancí.

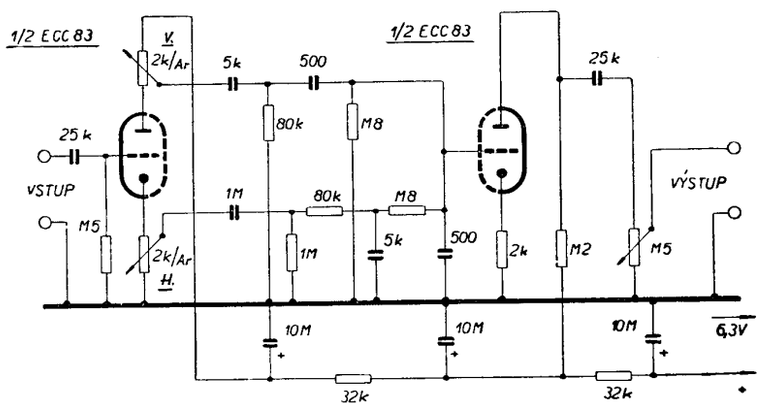
Je osazen dvojitou elektronkou se sdruženými systémy dvou triod, mezi nimiž je funkčně umístěn dvojitý pasivní korekční člen *RC* pro nezávislou regulaci hloubek a výšek. Vysvětlení funkce těchto členů je podrobně popsáno v části III, kde je i popis podobného předzesilovače.

Druhým typem korekčního předzesilovače je obdobné zařízení, které však používá pro nezávislou regulaci hloubek a výšek proměnné zpětné vazby, kmitočtově závislé (obr. 8). Na rozdíl od předešlého zapojení má výstup s velkou impedancí, a tedy i větší zesílení sejmutého signálu. (Nepoužívá se zde katodového sledovače, jehož zisk je rovný přibližně



Obr. 8. Korekční předzesilovač využívající pro korekci proměnné zpětné vazby.

jedné!). Je rovněž osazen dvojitou triodou, typu ECC83. Vlastnosti tohoto předzesilovače jsou poněkud lepší než u předešlého typu. K zdůraznění okrajových pásem tónového spektra se nepoužívá potlačení střední části



Obr. 9. Korekční předzesilovač využívající otočené fáze na elektrodách předzesilující elektronky.

pasivními členy *RC*, nýbrž zpětné vazby, která se pro okrajová pásma zeslabuje.

Posledním typem korekčního předzesilovače je zesilovač, který používá pro nezávislou regulaci rozdílu fáze signálu na elektrodách předzesilující elektronky (obr. 9). Princip jeho činnosti: Sejmutý signál se přivádí na vstup a odtud na mřížku první triody. Po zesílení se odebírá zesílené nf napětí jak z anody, tak i z katody, ale s opačnou fází. Tato napětí se přivádějí do vysokotónové a hlubokotónové propusti, které vyúsťují na mřížku druhé triody. Napětí se odebírají z dvou potenciometrů umístěných v katodovém a anodovém přívodu první elektronky. Polohami běžců se ovlivňuje v širokém rozmezí průběh signálů na mřížce druhé nf triody a pochopitelně i zesíleného signálu na výstupu. Využívá se zde tedy možnosti sčítání napětí s opačnou fází. Na výstupu předzesilovače je třetí potenciometr, kterým lze řídit úroveň zesíleného signálu; stejným regulátorem byl opatřen i předchozí zesilovač (v první ukázce byl tento regulátor vypuštěn). Zato však byl obohacen o odpínatelný pevný korekční člen, který trvale zdůrazňuje kmitočty pod 300 Hz a kmitočty nad 3 kHz.

6. Jakostní zesilovače

Dnes máme již dobrou představu o tom, co rozumíme pod pojmem jakostního zesilovače a jaké požadavky musí plnit, má-li věrně reprodukovat. Zopakujme si hlavní ukazatele jakosti. Jsou to:

a) minimální zkreslení tvarové (amplitudové), kmitočtové, fázové a intermodulační,

b) lineární kmitočtová charakteristika s možností korekcí okrajů přenášeného pásma,

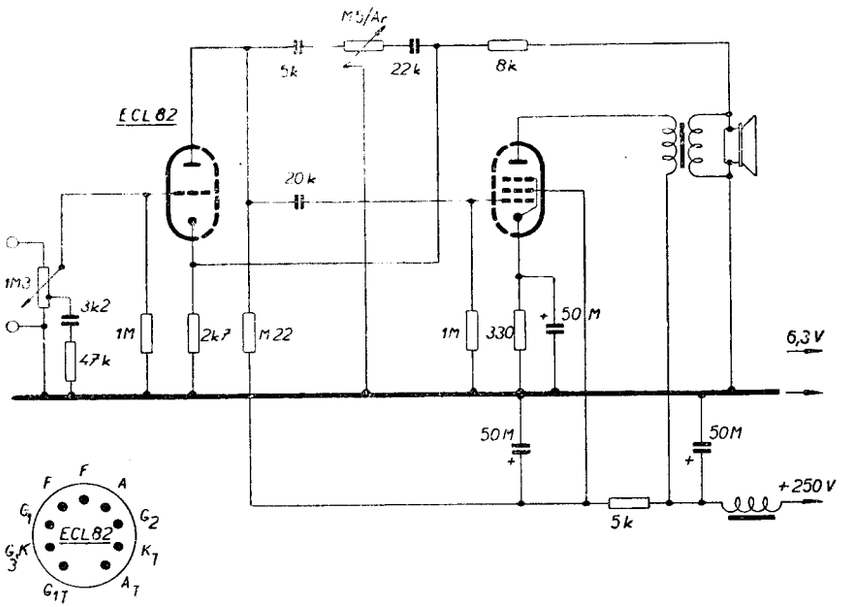
c) dostatečně široký kmitočtový rozsah zesilovače.

Dosažení těchto všech ukazatelů je mnohdy obtížné a bývá splněno u zesilovačů mnohoelektronkových se speciálním zapojením. Z toho vyplývá i konstrukční složitost a zvýšené náklady, které si příslušné zapojení vyžádá. Avšak naproti tomu nelze tvrdit, že jen složitým a nákladným zařízením lze dosáhnout bezvadné reprodukce. Z praxe je známo, že i u jednoduššího zesilovače se dosáhne více než uspokojivé reprodukce, ovšem za předpokladu správného provedení výstupního transformátoru a dodržení dalších parametrů. Takové konstrukce budou vždy vyhledávány amatéry, neboť rozhodujícím činitelem při stavbě zesilovače je většinou pořizovací cena. Pro amatéra nemá valný význam konstruovat zesilovač se zkreslením dosahujícím desetin procenta, je-li minimální zkreslení běžného reproduktoru 2 % (i více).

Všimněme si ve stručném přehledu typů různých zesilovačů, od nejjednodušších k složitějším.

a) Jednoduchý zesilovač

Jako první příklad uveďme malý a levný nízkofrekvenční zesilovač s jedinou elektronkou se sdruženými systémy, typu ECL82. Zapojení je na obr. 10. Sejmutý signál se přivádí na vstupní svorky, odkud se dále dostává přes fyziologický regulátor hlasitosti na mřížku triody. Po zesílení

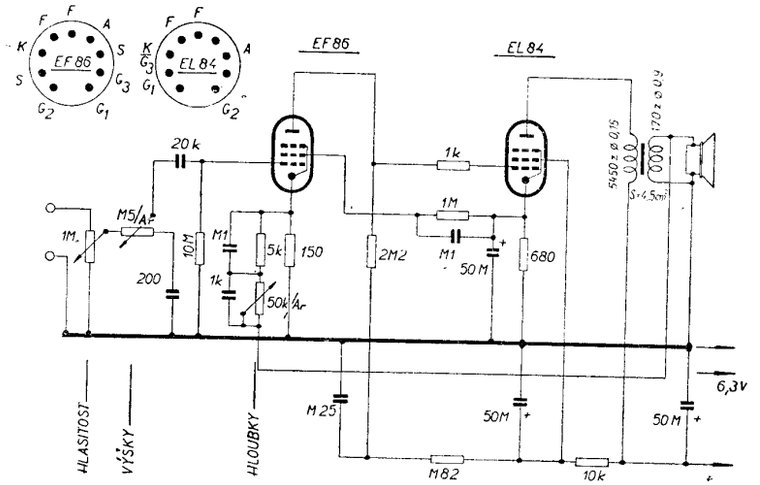


Obr. 10. Jednoduchý zesilovač opatřený regulací barvy zvuku v zpětnovazebním obvodu.

postupuje signál z anody této triody na mřížku koncové pentody, jíž se dosáhne dalšího zesílení. K úpravě kmitočtové charakteristiky zesilovače slouží napěťová záporná zpětná vazba z anody koncového systému do katody triody. Barva zvuku se řídí lineárním potenciometrem 0,5 MΩ který pracuje jako korektor s proměnnou zpětnou vazbou.

Další příklad jednoduchého zesilovače je na obr. 11. Vstupní signál se přivádí na regulátor hlasitosti, k jehož běžci je připojena horní propust pro korekci vysokých tónů. Odtud se dostává signál přes vazební kondenzátor na mřížku pentody EF86 první nízkofrekvenční elektronky. Z anody této elektronky se signál dostává přímo na galvanicky spojenou

mřížku strmé koncové elektronky EL84. Po zesílení a transformování slyšíme signál prostřednictvím reproduktoru. Ze sekundárního vinutí výstupního transformátoru je zavedena obvyklá záporná zpětná vazba, která zmenšuje vnitřní odpor koncové elektronky (lepší tlumení reproduktoru) a upravuje vhodně kmitočtový průběh. Do jejího okruhu jsou zařazeny kmitočtově závislé členy, složené z kondenzátorů a odporů. Jeden proměnný odpor — potenciometr 50 kΩ slouží dále k regulaci hlubokých tónů.



Obr. 11. Zapojení dvoustupňového zesilovače s regulací barvy zvuku.

Z galvanické vazby anody první elektronky na mřížku koncové elektronky vyplývají neobvyklé hodnoty odporů obou elektronek. Vstupní pentoda pracuje s velmi nízkým anodovým napětím a je v tzv. „chudém" zapojení. Protože provozní anodové napětí první elektronky je nízké, může být i nízké napětí její stínicí mřížky a přibližně se rovnat předpětí koncové pentody. Vzhledem k tomu, že mřížka koncové elektronky je spojena přímo s kladným potenciálem anody předchozí elektronky, je její katodový odpor větší, než udává katalog (tj. 140 nebo 210 Ω), což je nutné pro zachování správného mřížkového předpětí. Kdybychom to plně nerespektovali, došlo by k tvarovému zkreslení zesilovaných kmitočtů, a to hlavně vlivem velkých amplitud v oblasti hlubokých tónů.

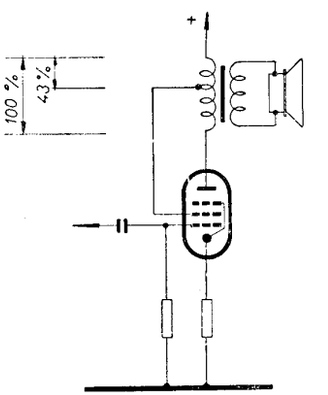
Podle [22] je zkreslení tohoto zesilovače při výstupním výkonu 3 W jen 1 % a kmitočtový průběh v rozmezí 50 až 10 000 Hz je rovný ±1 dB. Vstupní citlivost je 500 mV.

V uvedených případech bylo použito záporné zpětné vazby pro korekce kmitočtové charakteristiky, při čemž stupeň zpětné vazby není konstantní a je závislý na kmitočtu. To proto, že jednak při úpravě barvy přednesu se mění hodnoty kmitočtově závislých členů, vřazených do obvodu zpětné vazby, jednak impedance kondenzátorů tvořících tyto členy se s kmitočtem mění. Tak např. při zdůraznění výšek nebo basů se značně zmenšuje záporná zpětná vazba a tím se zvětšuje zkreslení (a současně i zesílení). Účinek zkreslení je ještě zesilován tím, že při zrušení zpětné vazby zmizí i její vliv na výstupní impedanci koncové elektronky, která pak nestačí dostatečně tlumit reproduktor, popř. jeho kmitací cívku (a to v oblasti nízkých kmitočtů, kam padá i rezonance akustického měniče). Ale i při zdůrazněných výškách je činitel zkreslení rušivý, třebaže se u nejvyšších kmitočtů natolik neprojeví vlivem necitlivosti lidského sluchu k vzniklým harmonickým kmitočtům. Proto bývá tento způsob korekce jen u levnějších a jednoduchých zesilovačů.

b) „Ultralineární" zapojení koncového stupně

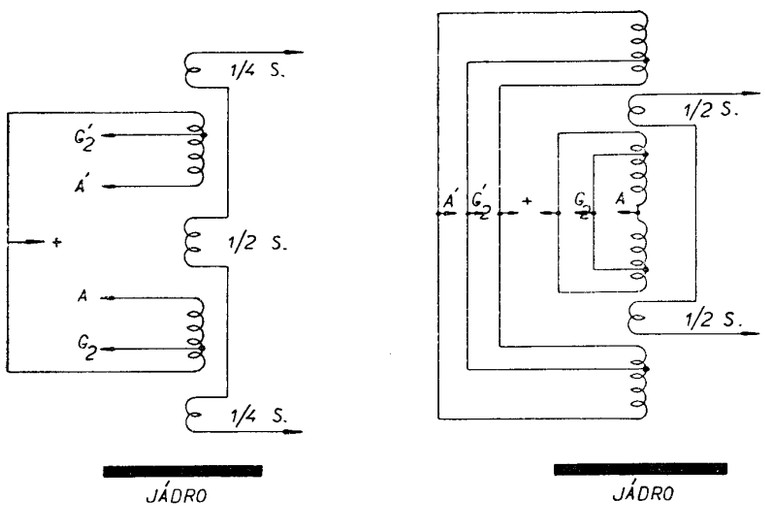
Vlastnosti některých jednoduchých zesilovačů lze značně zlepšit tzv. „ultralineárním" zapojením koncového stupně. Co to vlastně znamená? Podotkněme hned na začátku, že toto pojmenování není výstižné, neboť jde o zavedení zpětné vazby do obvodu stínicí mřížky, což z názvu nevyplývá. Navíc je tento název ještě chybný, protože žádný zesilovač nemůže být lineárnější než lineární; nicméně se v technických kruzích toto označení již vžilo.

„Ultralineární" zapojení záleží v tom (obr. 12), že stínicí mřížka není připojena ani k anodě, ani ke zdroji provozního napětí, ale k odbočce primárního vinutí výstupního transformátoru. Polohou odbočky lze nastavit pracovní režim elektronky buď blízký triodě (malé zkreslení, malý výkon) nebo pentodě (větší zkreslení, větší výkon), přičemž se pochopitelně mění i vnitřní odpor elektronky. Je-li odbočka vhodně umístěna, lze nalézt poměr, při kterém jsou vlastnosti koncového stupně nejpříznivější, a to lepší



Obr. 12. Princip „ultralineárního" zapojení.

než při pentodovém nebo triodovém zapojení. Měřením bylo zjištěno, že minimálního zkreslení se dosáhne při napojení odbočky na 15 až 20 % impedance primárního vinutí. Tak např. při dvojčinném zapojení koncového stupně s dvěma elektronkami EL84 bylo dosaženo nejlepšího výsledku při 18,5 % impedance, tj. při umístění odbočky na 43 % vinutí (od středního vývodu jdoucího ke zdroji provozního napětí).



Obr. 13. Přehled vinutí výstupního transformátoru. A jednoduché vinutí v sekcích. B složitější vinutí pro paralelní spojení sekcí.

Uvedeného zapojení se zprvu nejvíce používalo k zlepšení vlastností dvojčinných koncových stupňů. Lze ho však použít i pro jednočinné koncové zesilovače pracující v třídě A. U dvojčinných koncových zesilovačů je z hlediska amatéra ponckud obtížnější výroba výstupního transformátoru, od něhož běžně požadujeme, aby měl co největší primární indukčnost pro přenos hlubokých tónů a co nejmenší rozptylovou indukčnost pro přenos vysokých tónů. Proto se musí ukládat části vinutí transformátoru v sekcích tak jak je naznačeno na obr. 13. Pro jednočinný zesilovač není vinutí (vzhledem ke stabilnosti zesilovače) již tak choulostivé, a proto je lze vinout obvyklým způsobem. Hlavní výhodou „ultralineárního" zapojení tedy je, že se dostatečného výkonu (co do zkreslení), rovného triodě, dosahuje při účinnosti blízké pentodovému zapojení.

c) Williamsonův zesilovač

Jedním z dnes již klasických zapojení zesilovačů pro dosažení věrné reprodukce je tzv. Williamsonův zesilovač. Jeho zapojení je na obr. 14, kde však jsou původní použité triody v dvojčinném koncovém stupni nahrazeny pentodami v „ultralineárním" zapojení.

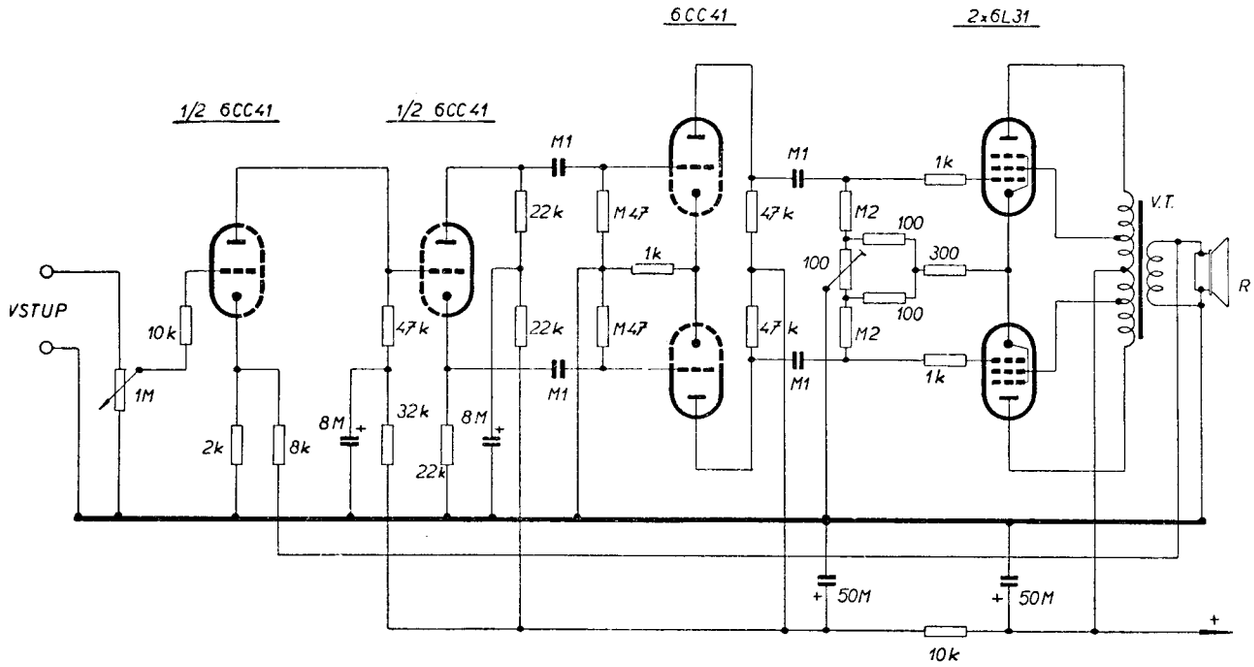
Sledujme nyní cestu signálu zesilovačem. Ze vstupních svorek se přivádí signál přes regulátor hlasitosti na první nf zesilovací triodu, která má přímou stejnosměrnou vazbu s dalším stupněm zesilovače. Tím odpadá aspoň jeden člen (vazební kondenzátor) způsobující fázové zkreslení při nízkých kmitočtech. Druhá trioda pracuje již jako obraceč a získáváme z ní dva souměrné signály lišící se ovšem fází. Z anody tohoto obraceče tedy odebíráme signál pro další triodový předzesilovač. Rovněž tak odebíráme z katody obraceče signál otočený o 180 ° pro druhý triodový předzesilovač, který jej zesílí na dostatečnou úroveň pro řádné vybuzení koncového stupně. Obě koncové elektronky mají společný výstupní transformátor, který představuje velmi choulostivou součást zesilovače. Pečlivá konstrukce tohoto výstupního transformátoru zvětšuje stabilnost zesilovače a zlepšuje jakost reprodukce. (Koncové elektronky v „ultralineárním" zapojení jsou na vyšších kmitočtech náchylné ke kmitání.)

Aby se zmenšila výstupní impedance a upravila kmitočtová charakteristika zesilovače, je zavedena ze sekundárního vinutí výstupního transformátoru silná záporná zpětná vazba, která je v daném případě kmitočtově nezávislá. Je zavedena již do katody první vstupní elektronky.

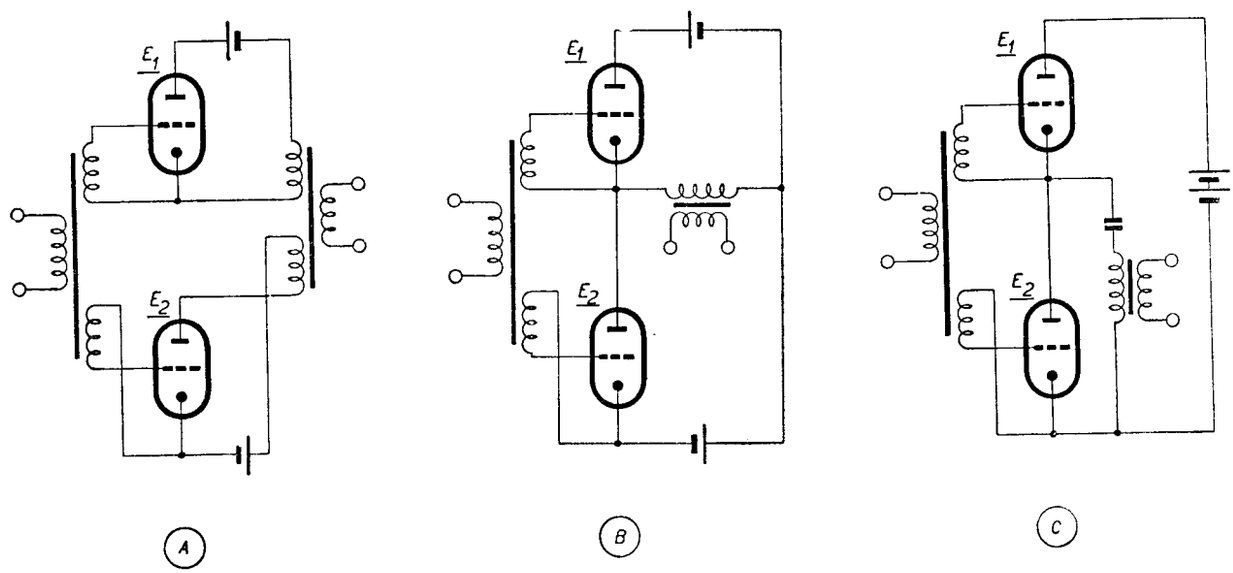
Katodový odpor koncových elektronek je společný a tvoří jej dělič navazující na mřížkové svody. Při rozdílnosti elektronek se jeho proměnnými členy seřídí anodový proud na stejnou velikost. Při správném provedení, jež záleží v použití přesných odporů, v nastavení správných předpětí a ve splnění dalších parametrů, lze dosáhnout zesilovačem tohoto druhu skutečně věrné a jakostní reprodukce. V praxi jsou známé různé obměny tohoto klasického zapojení, jež zavádějí používání kladné zpětné vazby z anody obraceče na vstupní elektronku, čímž zlepšují hospodárnost zesilovače (lepší využití koncových elektronek, takže lze vypustit souměrné budicí stupně a signál přivádět přímo z obraceče na mřížky koncových pentod).

d) Jednopólový souměrný zesilovač bez výstupního transformátoru

U běžných druhů zesilovačů závisí jakost reprodukce mimo jiné na správném provedení výstupního transformátoru, jehož dokonalé provedení pro amatéra je obtížné a mnohdy i nákladné (nesnadné vinutí do sekcí, opakování výpočtu a zkoušek apod.). Vždy však bývá výstupní transformátor příčinou vzniku tvarového zkreslení (jakožto pasivní čtyřpól, kde závislost indukce na intenzitě magnetického pole je nelineární) a nelze

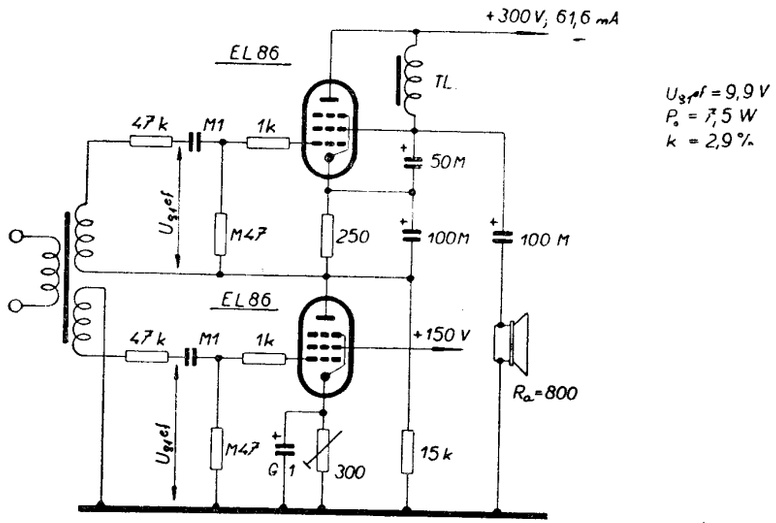


Obr. 14. Zapojení Williamsonova zesilovače.



Obr. 15. Tři fáze přeměny souměrného zesilovače na tzv. „jednopólové zapojení".

jím dosáhnout libovolně velké šířky přenášeného pásma. Má-li zdroj dostatečně malou impedanci a je-li sycení v jádře v mezích 0,4 až 0,6 T*), pak hodnota zkreslení způsobená výstupním transformátorem není zvlášť velká. Proto se hledala taková zapojení koncových stupňů, u nichž lze výstupní transformátor úplně vypustit. Jedno z těchto zapojení tvoří tzv. jednopólový souměrný zesilovač.



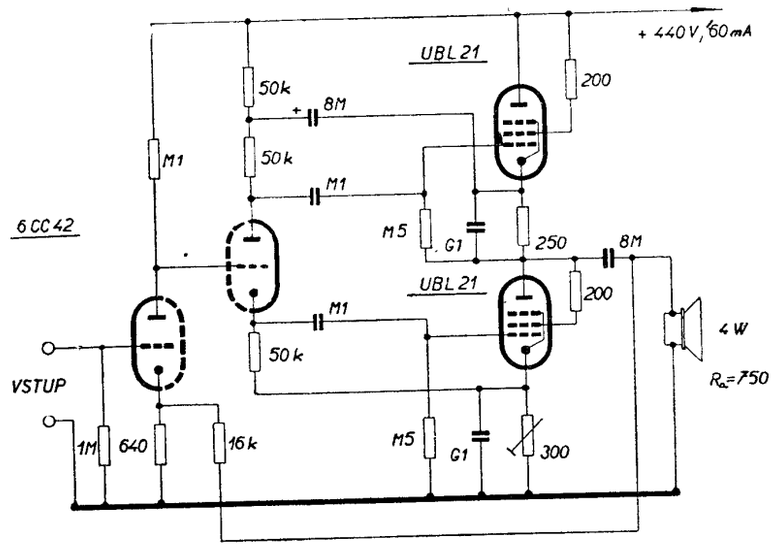
Obr. 16. Zapojení jednopólového zesilovače s transformátorovým obracečem fáze.

Podívejme se nejprve na obr. 15, kde jsou zachyceny tři fáze přeměny popisovaného zesilovače z původního souměrného zapojení. Tak na obr. A je dvojitý souměrný zesilovač, jehož každá elektronka má vlastní zdroj. V tomto případě lze spojit anodu elektronky E_2 s katodou elektronky E_1 a kladný pól dolního zdroje se záporným pólem horního zdroje, aniž dojde k nějakým škodlivým změnám pracovního režimu obou elektronek. Provedeme-li zmíněné úpravy a překreslíme-li zapojení, vidíme, že se objeví obě sekce primárního vinutí výstupního transformátoru spojené paralelně, což nahradíme jediným vinutím (obr. B). Protože se stejnosměrné anodové proudy obou koncových elektronek ruší, lze do série s výstupním transformátorem zařadit oddělovací kondenzátor a připojit jej ke kladnému nebo

*) 1 T (tesla) = 10 000 G (gaussů) = 1 Wb/m²

zápornému pólu zdroje (vytvořeného nyní již sériovým sloučením obou dřívějších zdrojů — takže má dvojnásobné napětí — viz obr. C).

Výhodou tohoto zapojení tedy je, že výstupní impedance zesilovače je čtvrtinová (proti původnímu zapojení a je podle druhu použitých elektronek 500 až 1000 Ω). Zmenšení zatěžovací impedance se dosáhne paralelním zapojením anodových obvodů obou elektronek, přičemž zůstávají stejno-



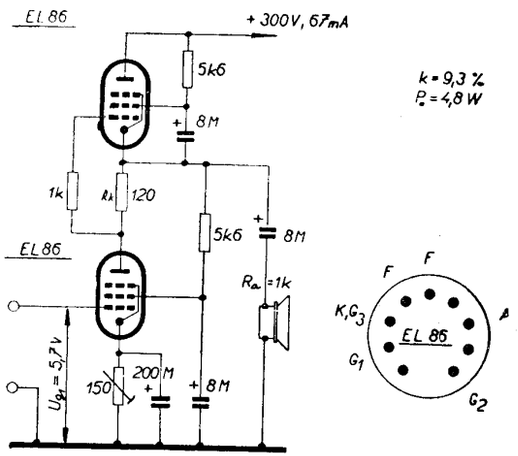
Obr. 17. Zapojení jednopólového zesilovače s triodovým obracečem fáze.

směrné obvody obou elektronek v sérii. Tím je dána možnost vypustit úplně výstupní transformátor a do výstupu vřadit přímo reproduktory s kmitací cívkou s velkou impedancí (200 až 400 Ω proti běžné kmitací cívce s impedancí 4 až 10 Ω). Zatím se u nás takové reproduktory nedělají, neboť jejich výroba je příliš nákladná a v provozu jsou velmi choulostivé.

Ukažme si nyní, jak vypadá schéma tohoto zesilovače. Na obr. 16 je překresleno základní schéma z obr. 15 C, nyní již se všemi potřebnými údaji. V zapojení je použito pentod typu ELS6, tj. elektronek speciálně vyvinutých pro tento druh zesilovače. Buzení elektronek obstarává nízkofrekvenční transformátor, jehož sekundární vinutí má dvě shodné poloviny. Uvážíme-li, že zapojení bylo vyvinuto proto, aby se mohl vypustit výstupní transformátor (pro dosažení menšího zkreslení), je snad samozřejmé, že

nebudeme používat nf transformátoru, ale použijeme elektronkového obvodu.

Praktické provedení jednopólového soumě ného zesilovače s triodovým obracečem je na obr. 17. Vstupní člen s poměrně malou citlivostí tvoří první trioda z dvojité elektronky 6CC42, jejíž anoda je stejnosměrně vázána na mřížku druhé triody tvořící obraceč. Z anody a katody obraceče se odebírá signál pro buzení koncových elektronek a vede se vazebními kon-



Obr. 18. Úsporné zapojení koncového stupně.

denzátory na jejich mřížky. Koncové elektronky (2 × UBL21) jsou zapojeny jako triody, čímž sice klesá jejich výkon (3 W), zkreslení se však pohybuje pod 0,5 % při kmitočtovém rozsahu 10 až 100 000 Hz. Kmitočtovou charakteristiku upravuje zavedení již známé záporné zpětné vazby z výstupu (s impedancí 750 Ω) na katodu vstupní elektronky.

Zvětšení zisku lze dosáhnout zmenšením záporné zpětné vazby, zvětšení výkonu pak pentodovým zapojením koncových elektronek. Nutno však uvážit, že tímto způsobem se sice výkon přibližně zdvojnásobí, děje se to však na újmu jakosti reprodukce. Zkreslení třetí harmonickou (u pentod) se totiž při souměrném zapojení neruší, takže zmenšení tvarového zkreslení na přijatelnou velikost (pod 2 %) lze dosáhnout pouze silnou zápornou zpětnou vazbou.

V zahraničních přijímačích a nf zesilovačích se často setkáváme s tímto druhem zapojení, které se těší velké oblibě pro své výborné vlastnosti.

U levnějších přijímačů by však obraceč zvyšoval cenu výrobku, a proto se používá obměněného zapojení, které je značně zjednodušeno (obr. 18). Koncový zesilovač nemá vlastní obraceč a horní elektronka se budí napětím na neblokovaném katodovém odporu R_k. Nevýhodou zesilovače bez obraceče je však to, že se neruší sudé harmonické složky. Výkon zesilovače s elektronkami EL86 je asi 4 W při výstupní impedanci 1000 Ω a při zkreslení 9,3 %. Zkreslení i výkon odpovídají sice jen běžnému jednoduchému zesilovači osazenému pentodou a pracujícímu v třídě A, avšak z hlediska přenášeného kmitočtového rozsahu se dosahuje daleko větší šířky pásma. Cena jedné koncové elektronky navíc je vyvážena odpadnutím dražšího výstupního transformátoru. Výstup s velkou impedancí pak přímo nutí k použití více reproduktorů, čímž je zajištěno rovnoměrnější vyzařování zvukového spektra (než by tomu bylo při použití jednoho běžného reproduktoru).

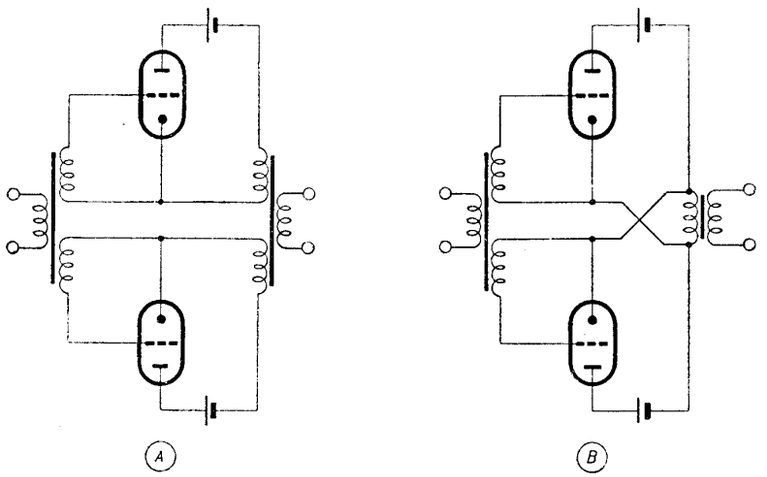
Avšak i tehdy, nejsou-li po ruce reproduktory s velkou impedancí, má zesilovač podstatné výhody i při použití přizpůsobovacího transformátoru mezi výstupem a reproduktory, který se provádí často jako autotransformátor. Protože zatěžovací impedance koncového stupně je poměrně malá, vychází i výstupní transformátor poněkud menší než u obvyklého dvojčinného koncového stupně. Konečně tím, že transformátorem neteče stejnosměrný proud, zmenšuje se možnost přesycení jádra a z toho vyplývající kmitočtové zkreslení v dolní oblasti spektra.

Závěrem této stati podotýkáme, že uvedený jednopólový zesilovač splňuje již nároky kladené na jakostní zařízení, neboť je s to pracovat v širokém kmitočtovém rozsahu (6 až 200 000 Hz) při zkreslení rovnajícím se jen desetinám procenta. Nevýhodou vlastního zesilovače je malá vstupní citlivost, kterou lze zvětšit vhodným kompromisním řešením, vždy však s přírůstkem zkreslení. Zesilovač bývá obvykle spojován v jeden celek s korekčním předzesilovačem opatřeným nezávislou regulací hlubokých a vysokých tónů. Příklady takových předzesilovačů jsou v příslušné stati.

e) Zesilovač PPP („push-pull-parallel")

Dalším zapojením koncového zesilovače, který může pracovat bez výstupního transformátoru, je zesilovač typu PPP. Funkčně je odvozen opět z klasického souměrného zapojení koncového stupně, jak ukazuje obr. 19 A a B, kde v případě A je nakreslen souměrný zesilovač, a jeho přeměna v zesilovač typu PPP (B), pokládaný dnes za nejlepší řešení. Přeměna spočívá v paralelním zapojení obou primárních vinutí výstupního transformátoru, čímž splynou v jedno (19 B). Paralelním zapojením se dosáhne malé zatěžovací impedance, která je rovněž (jako v předešlém případě) čtvrtinová a pohybuje se podle použitých elektronek v mezích 500 až

1500 Ω. Z toho vyplývá, že lze výstupní transformátor (po vhodné úpravě) vynechat a do výstupu zesilovače zařadit několik reproduktorů s velkou impedancí v sérii, u nichž součet impedancí kmitacích cívek přibližně souhlasí se zatěžovací impedancí. Zavedením záporných zpětných vazeb lze dále zlepšit vlastnosti zesilovače jako celku. Získá se tím lineární kmitočtová charakteristika v celém slyšitelném pásmu, tvarové a intermodu-



Obr. 19. Základní zapojení souměrného zesilovače a jeho přeměna v zapojení typu PPP.

lační zkreslení se omezí na minimum i při plném výkonu a rovněž se zmenší vnitřní odpor zesilovače, což je nutné pro tlumení vlastních rezonancí reproduktorů.

Ukážeme si nyní celkové zapojení důsledně souměrného zesilovače PPP, který vyvinul n. p. Gramofonové závody [16]. Schématické zapojení je na obr. 20 (v příloze) a je elektricky úplně souměrné proti kostře, což je zachováno i na výkresu. Vstupní člen tvoří dvojitá trioda a pracuje jako křížově vázaný obraceč [17, 18]. Snímaný signál řádů 1 V se přivádí na vstupní svorky a je lhostejné, zda je souměrný či nikoli (1 a 2 nebo 2 a 1′ nesouměrný signál, 1 a 1′ souměrný signál).

Při nesouměrném signálu (1 a 2) se budí jedna trioda křížového obraceče do mřížky a pracuje jako zesilovač s uzemněnou katodou. Odpor R_1 tvoří její mřížkový svod a R_7 její pracovní odpor. Dolní trioda E_1' se také budí stejným signálem na zdířkách 1, 2, ale do katody, takže pracuje jako ze-

silovač s uzemněnou mřížkou. Odpor R_1 je nyní jejím katodovým odporem, třebaže pro elektronkou E_1 představuje zase mřížkový svod. Předpětí pro E_1' se vytváří na odporu R_5, při čemž její pracovní odpor tvoří odpor R_8. Na pracovních odporech (R_8 a R_7) se při správné činnosti obou triod křížového obraceče objeví zesílený signál, na každém však v opačné fázi.

Zároveň pracují obě triody též opačně. Výstupní signál triody E_1 se objeví na jejím katodovém odporu R_4, který však zároveň tvoří mřížkový svod dolní triody E_1'. Proto je tato trioda buzena (stejně jako horní) do mřížky. Výstupní napětí má i na katodovém odporu, který je (jak bylo již uvedeno) též i mřížkovým svodem horní triody. Z toho vyplývá, že každá trioda obraceče je současně buzena do mřížky i do katody, ať již je na vstup přiváděn signál souměrný nebo nesouměrný. Křížovým obracečem se dosáhne souměrného výstupního napětí na pracovních odporech a je dále zesilováno. Je samozřejmé, že mřížkové svody mají malé hodnoty, mají-li být zároveň i katodovými odpory protějšího systému. Tím je dána i vstupní impedance, která se pohybuje v řádu tisíce ohmů.

Souměrný signál z anod obraceče přichází vazebními kondenzátory C_1 a C_2 na mřížky další dvojité triody (E_2 a E_2'), jimiž se signál dále zesílí a zároveň je upravena jeho souměrnost silnou zápornou zpětnou vazbou, která vzniká na společném neblokovaném katodovém odporu R_{13} a vyrovnává popř. nesouměrnost signálu z obraceče. Předpětí pro obě triody E_2 a E_2' se získává na společném odporu R_{14}. Zesílený souměrný signál se vede dále vazebními kondenzátory C_3 a C_4 již na mřížky koncových elektronek.

Protože se v zesilovači typu PPP používá strmých koncových pentod, u nichž se často vyskytují nežádané vysokofrekvenční kmity, jsou do přívodu k řídicím mřížkám vřazeny tlumicí odpory R_{21} a R_{22}. Rovněž pro omezení vlivu mřížkového proudu se volí poměrně malé mřížkové svody R_{19} a R_{20} (0,2 MΩ). Předpětí vzniká na katodových odporech R_{29} a R_{30}, které jsou přemostěny kondenzátory C_5 a C_6 s velkou kapacitou. Koncové elektronky pracují v třídě AB. Stínicí mřížky těchto elektronek jsou napájeny přes miniaturní odpory R_{25} a R_{26}, které působí při přetížení jako pojistky.

Jedinou nevýhodou je potřeba dvou zdrojů provozního napětí pro koncové elektronky, a tedy i dvou usměrňovačů. Proto je usměrnění jen jednocestné. Hladina bručení je však zanedbatelná, přesto že není použito filtračních tlumivek. Je jen třeba zapojit sekundární sekce síťového transformátoru tak, aby střídavá složka způsobující bručení se rušila (prohozením vývodu jedné sekce). Síťový transformátor lze navrhnout na větší sycení (asi 1,2 T), neboť rozptylové pole se nemůže indukovat do tlumivek, které byly vynechány.

V zesilovači je několik zpětných vazeb, o nichž se zmíníme. První vazbu přináší sám princip zapojení. Budicí stupeň (E_2 a E_2') má střídavý nulový

potenciál proti kostře a odevzdává tedy budicí napětí mezi kostru a mřížky koncových elektronek. Jejich katody však mají proti kostře polovinu výstupního napětí, při čemž vlastní budicí napětí je jen mezi mřížkami a katodami. Zbytek mezi katodami a kostrou (o řád větší než vlastní budicí napětí) působí jako zpětná vazba proti budicímu napětí z druhého nízkofrekvenčního stupně (E_2 a E_2'). Z toho vyplývá, že koncové elektronky pracují jako katodové sledovače. Značné budicí napětí odevzdává souměrný budič bez obtíží, protože pracuje vlastně se „zvýšeným" anodovým napětím. Jeho pracovní odpory R_{17} a R_{18} jsou tedy napájeny ze zdrojů, které mají také proti kostře polovinu střídavého výstupního napětí, což se výhodně projeví právě v okamžiku, kdy budicí stupeň odevzdává maximální budicí napětí pro koncové elektronky.

Další záporná zpětná vazba je zavedena do stínicích mřížek z děliče tvořeného odpory R_{27}, R_{28}, R_{23}, R_{24}, který kromě stejnosměrného napětí dělí i střídavé výstupní napětí a jeho část přivádí přes ochranné odpory do stínicích mřížek, čímž se dosáhne dalšího zmenšení vnitřního odporu zesilovače.

Pochopitelně nechybí zde ani obvyklá záporná vazba z výstupu na vstup, kterou zprostředkují odpory R_{11} a R_{12}. Aby se zvětšila vstupní citlivost, je zavedena z výstupu na vstup obraceče slabá napěťová kladná vazba, aniž nepříznivě ovlivňuje jiné vlastnosti zesilovače. Je zavedena přes dělič tvořený odpory R_9, R_2 a R_{10}, R_3. Nízkofrekvenční signál se odebírá přes kondenzátory C_8 a C_9. Jejich kapacita musí být řádu set mikrofaradů; jinak by se totiž nepříznivě uplatnila jejich impedance v oblasti nízkých kmitočtů, a tím by nepříznivě ovlivnila kmitočtový průběh zesilovače.

Zkreslení zesilovače uvedeného zapojení je podle [46] menší než 0,3 % v slyšitelném pásmu, při vnitřním odporu zesilovače 20 Ω a při kmitočtovém průběhu 10 až 300 000 Hz ±3 dB.

Na podkladě tohoto zapojení a konstrukcí popsaných v [22] a [47] byl sestaven zesilovač, jehož schéma je na obr. 21 (v příloze). Zesilovač je upraven pro snímání dvou signálů s možností jejich mísení. Jak je patrno, byl křížový obraceč vypuštěn a nahrazen korekčním dvouelektronkovým předzesilovačem v oblíbené a běžné úpravě. Nezávislá korekce hlubokých a vysokých tónů je řízena pasivními proměnnými členy *RC*. Z výstupu korektoru, tvořeného dvojitou triodou 6CC41, přichází signál na mřížku budicího obraceče, který je rovněž osazen dvojitou triodou 6CC41.

Koncový stupeň má dvě elektronky 35L31 v paralelním souměrném zapojení. Zpětná vazba je vedena z výstupu do katody druhé triody a její stupeň lze nastavit potenciometrem 0,2 MΩ. Protože nejsou na trhu reproduktory s velkou impedancí, bylo použito přizpůsobovacího autotransformátoru, který je velmi jednoduchý. Zdroji napětí jsou dvě rozdělená sekundární vinutí síťového transformátoru a usměrňovací elektronky

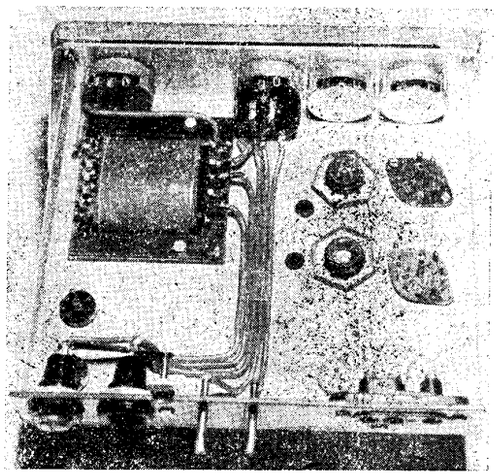
35Y31. Místo nich je však výhodnější selenový (popř. křemíkový) usměrňovač, který zdaleka tak nezahřívá skříň zesilovače.

Jako koncových elektronek se doporučuje vždy použít typů s velkou strmostí, jako je např. EL84, 35L31 apod. V tomto případě je však třeba vhodně voleným vedením spojů zamezit vznik nežádaných vysokofrekvenčních kmitů, které se prozradí značným zkreslením reprodukce.

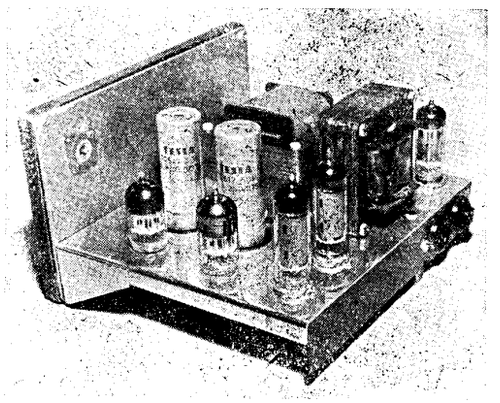
Na obr. 22 a 23 je zachycena kostra tohoto zesilovače ve stavbě, s rozložením hlavních součástí. Na obr. 24 je pak pohled na skříň s hotovým zesilovačem.

f) Dvoukanálový zesilovač

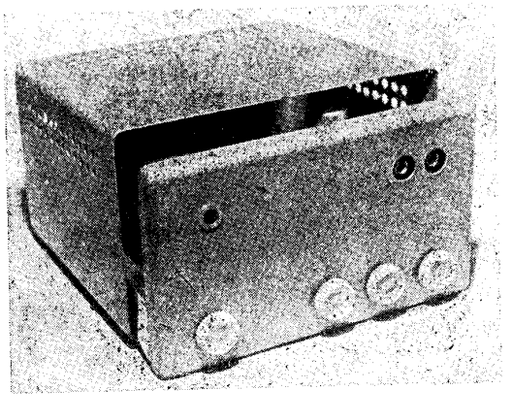
Skupinové schéma dvoukanálového zes.lovače je na obr. 25. Vidíme, že se zde zesilují jednotlivé oblasti zvukového spektra odděleně. Každý kanál propouští určitý úsek rozsahu kmitočtů. Např. první kanál zesiluje kmitočty v rozmezí od 30 Hz do 1000 Hz, druhý od 1000 Hz do 15 000 Hz.



Obr. 22. Pohled na kostru amatérské konstrukce zesilovače PPP.



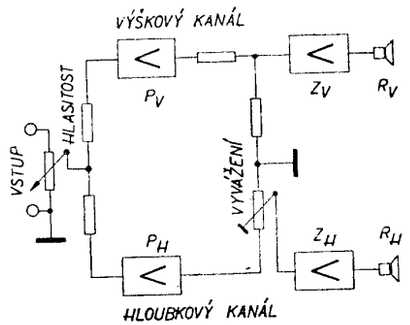
Obr. 23. Rozložení součástek zesilovače na jednoduché kostře.



Obr. 24. Kovová skříň s hotovým zesilovačem.

Přitom signály zvukového kmitočtu se rozdělují do obou kanálů již na vstupu. V dalších stupních zesilovačů se pak obě pásma kmitočtů zesilují odděleně. K výstupům obou kanálů jsou připojeny reproduktory, jež jsou voleny výhradně k přenosu příslušného kmitočtového pásma. Pro výstup hloubkového kanálu se pochopitelně volí reproduktor s velkou plochou a pokud možno s velmi poddajným uložením membrány. Pro výstup druhého kanálu k vyvážení kmitočtu střední a výškové části spektra volíme jeden nebo dva reproduktory menších rozměrů s velmi tuhým uložením membrány.

V některých konstrukcích dvoukanálových zesilovačů je rozdělení na dva kanály upraveno až před koncovými zesilovači. Tak je tomu obyčejně při použití společného korekčního předzesilovače s nezávislou regulací hloubek a výšek. Vlastní dvoukanálový zesilovač je vytvořen až v oblasti koncových elektronek.



Obr. 25. Skupinové schéma dvoukanálového zesilovače.

Dvoukanálové zesílení snímaného pořadu má proti běžnému jednokanálovému zesilovači tyto přednosti:

a) minimální intermodulační zkreslení,

b) snazší přizpůsobení hloubkového a výškového reproduktoru,

c) menší tvarové zkreslení.

Ad a): Intermodulační zkreslení vzniká vždy při průchodu dvou signálů s různým kmitočtem nelineárním čtyřpólem, tj. zesilovačem. Vlivem nelineárnosti vzniknou od každého z procházejících signálů vyšší harmonické kmitočty vzájemně se ovlivňující, vznikají zázněje, kombinační tóny a jiné nežádané průvodní jevy. Vznik kombinačních tónů se prakticky nejzřetelněji projeví při reprodukci hlubokých tónů, kdy současně znějící vysoké tóny jsou jimi modulovány, takže vyznívají drsně. Rozdělením zvukového spektra do dvou kanálů, z nichž každý zesiluje část rozsahu, omezí se možnost vzniku zkreslení vzájemnou modulací (intermodulací) na nejmenší míru.

Ad b): V jednokanálových jakostních zesilovačích se rozděluje (pro lepší vyzáření zvukového spektra) tónový rozsah za výstupním transformátorem do několika různých reproduktorů pomocí „elektrických výhybek" — tj. filtrů. Tímto dělením se obtížněji přizpůsobují reproduktory k výstupu zesilovače. Při dvoukanálovém zesilovači se výstupy zesilovačů obou kanálů přizpůsobí příslušným hloubkovým a výškovým reproduktorům přímým připojením k výstupním transformátorům, aniž bylo použito elektrických výhybek.

Ad c): Menšího tvarového zkreslení u dvoukanálového zesilovače se dosahuje tím, že každý kanál zesiluje jen část kmitočtového rozsahu. Má tedy menší šířku zpracovávaného pásma, což platí jak o elektronkách, tak o výstupních transformátorech jakožto zdrojích tvarového zkreslení.

Dále je třeba zdůraznit, že výkony koncových stupňů se sčítají, takže při použití dvou běžných koncových elektronek (6L31) není třeba jich využívat naplno, s čímž souvisí opět pokles tvarového zkreslení. Je však nutno uvážit otázku hospodárnosti (zdvojení zesilovačů nebo jejich koncových stupňů) provozu a výrobních nákladů, které mluví proti této konstrukci.

Na obr. 26 (v příloze) je úplné schéma zapojení dvoukanálového zesilovače. Je osazen třemi elektronkami — dvojitou triodou typu ECC83 a dvěma koncovými pentodami typu 6L31. Zapojení je velmi jednoduché: Vstupní část tvoří oblíbený korekční předzesilovač opatřený nezávislou regulací hlubokých a vysokých tónů. Z anody druhé triody je odebírán zvukový signál vazebním kondenzátorem 64 nF a za ním je rozdělen do dvou kanálů tvořených dvěma koncovými pentodami. Dělicí kmitočet se pohybuje kolem 1000 Hz a rozdělení na dvě části zvukového spektra se dosahuje pomocí několika členů *RC*, zapojených paralelně k mřížkovému obvodu příslušné koncové elektronky. Je pochopitelné, že jak reproduktory, tak výstupní transformátory odpovídají přenášené části tónového spektra. Při tom musí být splněn požadavek, aby hloubkový výstupní transformátor měl velkou primární indukčnost a transformátor pro vysoké tóny měl co nejmenší rozptylovou indukčnost. Filtrace provozního napětí vzhledem k jednocestnému usměrnění musí být co nejlepší — hlavně pro koncovou elektronku hloubkového kanálu. Zde by se totiž každé bručení nežádaně

projevovalo. Proto je anoda této elektronky napájena o filtrační stupeň dále. Kapacita katodového bloku se volí též značně větší než u kanálu výškového, a to pro dobrý přednes basů. Odpory připojené k mřížkám koncových elektronek odstraňují náchylnost ke kmitání, jehož vznik (nevhodným provedením spojů) v hloubkovém kanálu je téměř vyloučen blokováním anody proti zemi kondenzátorem 2000 pF a paralelním kondenzátorem 10 000 pF k primárnímu vinutí výstupního transformátoru. Tyto kondenzátory též odřezávají vysoké tóny, které proniknou do hloubkového kanálu. Nevýhodou popsaného zesilovače je mimo jiné velká vstupní impedance.

Za zmínku stojí ještě regulátor hlasitosti, který má fyziologický průběh. Tohoto průběhu se dosahuje použitím přídavných členů *RC*. Tak např. odpor 47 000 Ω a kondenzátor 12 000 pF upravují hloubky, kdežto odpor 0,5 MΩ a kodenzátor 32 pF upravují výšky.

7. Fyziologický regulátor

Při provozu jakéhokoli zesilovače, který nemá korekční obvody pro nezávislé řízení hloubek a výšek, zjistíme, že při ztlumení poslechu je výsledná reprodukce plochá a bezvýrazná. S tímto jevem se celkem běžně setkáváme a je možné, že z této příčiny mnozí majitelé přijímačů nebo gramofonových zesilovačů nastavují regulátor hlasitosti tak naplno, kolik jen vydrží koncový stupeň a trpělivost sousedů.

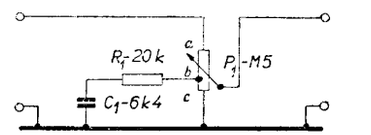
Zeslabíme-li totiž poslech z obvyklé hlasitosti na tichý, pozorujeme především nápadný nedostatek hloubek. Hudba se stává plochou, zvuk prázdným. Někdy zmizí i výšky a přednesu ubývá na jasnosti. Úbytek basů zaviňuje hlavně vlastnost lidského sluchu, jehož kmitočtová charakteristika je různá podle intenzity zvuku, tj. má amplitudovou závislost.

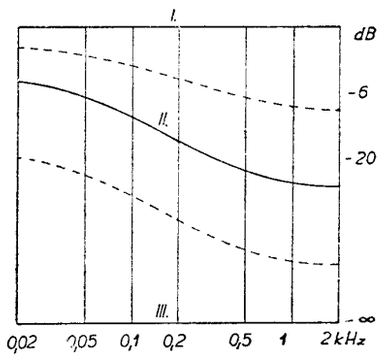
V praxi však existují jednoduchá zapojení, která i při tichém poslechu zdůrazňují basy. Toto zdůraznění se děje současně se změnou polohy regulátoru hlasitosti (tzv. fyziologický regulátor). Nepůsobí však zcela přesně tak, jak bychom chtěli, a v části regulačního rozsahu více méně potlačuje i ty výšky nad 1000 Hz, které by měly v přednesu zůstat. Proto je lepší regulace nezávislá; naproti tomu však lze dosáhnout velmi dobrých výsledků i s fyziologickým regulátorem podle obr. 27. Je to obvyklé zapojení, které se skládá z potenciometru s pevnou odbočkou, umístěnou obvykle v dolní třetině hodnoty celkového odporu. K této odbočce je pak připojen sériový člen *RC*.

Hodnota odporu *R* bývá asi dvacetina až padesátina z celkového odporu regulátoru, tj. při hodnotě 1 MΩ je to 10 až 50 kΩ, hodnota kondenzátoru se pak pohybuje od 2000 do 20 000 pF.

Pro tóny velmi hluboké se člen *RC* neuplatní, kdežto pro velmi vysoké tóny představuje reaktance kondenzátoru prakticky zkrat. Dosahujeme

tedy použitím tohoto regulátoru takového průběhu, který odpovídá amplitudové závislosti lidského ucha (ovšem jen asi pro 60 % dráhy běžce). Na obr. 27 je kmitočtový diagram jednoduchého fyziologického regulátoru. Z jeho průběhu vidíme, že regulátor mimo krajní polohu (největší hlasitost) ponechává basy méně potlačené než výšky, tedy tak, jak má odpovídat citlivosti sluchu; tím dosahujeme představy „plnosti" přednesu i při zeslabeném poslechu.

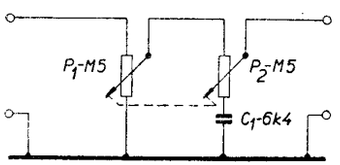




Obr. 27. Obvyklé zapojení fyziologického regulátoru.

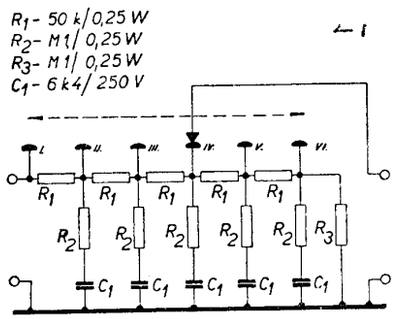
Vzhledem k tomu, že na trhu nejsou potenciometry s odbočkou v dostatečném množství, je účelnější zapojit fyziologický regulátor podle obr. 28. Při tomto zapojení používáme dvojitého potenciometru na společné ose. Při provozu zeslabuje první potenciometr všechna nízkofrekvenční napětí stejně, druhý pak, doplněný kapacitou, zeslabuje z kmitočtů tónového spektra jen výšky. Opět lze uvést, že pro vysoké tóny představuje jalový odpor kondenzátoru *C* zkrat, který se pro hluboké tóny neuplatní. Vhodnou volbou hodnot obou potenciometrů lze získat fyziologický průběh (ovšem jen v určité části — ve zbývající je průběh již jen přibližný). Velmi hluboké tóny jsou totiž řízeny vlastně jen potenciometrem P_1 (vysoké tóny pak potenciometry P_1 a P_2), a to až do nulové úrovně, což v poslední části polohy běžců potenciometrů při velkém zeslabení nesouhlasí s fyziologickými požadavky.

Se zapojením na obr. 29 se můžeme přiblížit fyziologickému průběhu ve všech polohách již velmi těsně. Vlastní regulátor tvoří několikapolohový přepínač a řada opakujících se odporů R_1, R_2 a kapacit C_1 se závěrným odporem R_3. Pro nízké kmitočty se kapacita C_1 neuplatní a regulátor si můžeme představit jako lineární stupňovitý dělič. Pro vysoké kmitočty lze opět pokládat reaktanci kapacit C_1 za zkrat, čímž soustava odporů přechází v logaritmic-



Obr. 28. Jiné zapojení fyziologického regulátoru pomocí tandemového potenciometru.

ký dělič napětí, kde každý stupeň působí zeslabení o týž počet decibelů. Nevýhodou je však stupňovité přepínání a větší počet stupňů, který je nutný, máme-li dosáhnout pozvolných změn, a dále nemožnost regulace až do nulové úrovně. Poslední nevýhoda nemá však valný význam, neboť v poslední poloze je již přednes velmi tichý a nemělo by smysl jej ještě více potlačovat. (Stupňovité řízení by se mohlo nahradit plynulým jen za použití lineárního potenciometru se čtyřmi nebo více odbočkami; takový druh se však nevyrábí.)



Obr. 29. Zapojení několikapolohového přepínače pro vytvoření stupňovitě řízeného fyziologického regulátoru.

Použijeme-li tedy fyziologického regulátoru s vhodně volenými hodnotami, máme všechny předpoklady pro dosažení správného přednesu i při změnách hlasitosti. A skutečně, při plné hlasitosti reprodukuje přístroj jako každý jiný. Když pak přednes zeslabíme, zabrání dostatek basů dojmu „ploché" reprodukce — jevu nevítanému a přece tak častému u starších přístrojů. Je tedy fyziologický regulátor jen malou součástí reprodukčního zařízení, která však znamená jednoduché, levné a výhodné zdokonalení přednesu každého zesilovače nebo přijímače. Je však nutno závěrem uvést, že účinek fyziologického regulátoru nikdy nevyhoví plně požadavkům na něj kladeným — zvláště v polohách odpovídajících menší hlasitosti. To je nutno mít na zřeteli, aby se tak neprávem nepřeceňoval význam těchto druhů regulátorů.

8. Výstupní transformátor

Výstupní transformátor je jedním členem z řady článků tvořících zařízení pro jakostní reprodukci. Proto mu musíme věnovat náležitou pozornost. V následujícím výkladu uvedeme stručně postup obvyklého výpočtu a upozorníme na kritéria, která je nutno dodržet.

Pro návrh vycházíme z výkonu a nejnižšího kmitočtu, který má výstupní transformátor přenášet. Výkon zjistíme v katalogu elektronek a zpravidla se rovná 50 % anodové ztráty u pentod, 25 % u triod. Nejnižší kmitočet

pak volíme obvykle v rozmezí 30 až 50 Hz. Průřez středního sloupku jádra určíme ze vztahu

$$S = 10\sqrt{cP/f} \qquad [\mathrm{cm^2; W, Hz}]$$

kde f je dolní nejnižší kmitočet,

$c = 1$ až 2,

P přenášený výkon.

Dále zjistíme zatěžovací odpor elektronky R_a (při jednočinném zesilovači) nebo R_{aa}' (při dvojčinném) a impedanci kmitací cívky R_k. Zatěžovací odpor při jednočinném zapojení v třídě A se u triody rovná dvojnásobku až trojnásobku vnitřního odporu, u pentody pak třetině až šestině vnitřního odporu R_i. Zjistíme jej opět v katalogu elektronek. (Zatěžovací odpor pentody je přibližně dán vztahem

$$R_a = U_a/I_a \qquad [\mathrm{k\Omega; V, mA}]$$

kde U_a a I_a jsou statické hodnoty anodového napětí a proudu.) Pro dvojčinný zesilovač v třídě A se volí zatěžovací odpor R_{aa}' rovný dvojnásobku R_a, pro třídu B pak čtyřnásobku R_a.

Všimněme si, že zatěžovací odpor R_a se nikdy nerovná vnitřnímu odporu elektronky (zdroje), ačkoli by to bylo logické a žádoucí pro přenesení maximálního výkonu. V zájmu dosažení malého zkreslení obsahem harmonických kmitočtů se však právě toto kritérium nedodržuje.

Nyní určíme poměr závitů primárního vinutí k sekundárnímu (převod) z výrazu

$$p = \sqrt{R_a/R_k}$$

kde p je převod,

R_a zatěžovací odpor koncové elektronky (při dvojčinném zapojení R_{aa}'),

R_k impedance kmitací cívky.

Neznáme-li impedanci kmitací cívky, určíme její hodnotu přibližně zvětšením jejího reálného odporu o 25 %, tj.

$$R_k = 1{,}25 \,.\, R \qquad [\Omega]$$

Nyní potřebujeme určit počet primárních závitů. Určíme je z indukčnosti primárního vinutí, která musí mít při zvoleném nejnižším kmitočtu takovou induktivní reaktanci (zdánlivý odpor Z_1), jako je vnitřní odpor zdroje R_i s paralelně připojeným zatěžovacím odporem R_a. Splněním této podmínky se bude přenášet nejnižší kmitočet se zeslabením —3 dB. Vyjádříme to rovnicí

$$Z_1 = \frac{R_a R_i}{R_a + R_i}$$

kterou můžeme zjednodušit na tvar

$$Z_1 \doteq R_a \qquad [\Omega]$$

neboť $R_a > \frac{R_a R_i}{R_a + R_i}$. (U jakostních výstupních transformátorů se reaktance Z_1 volí s ohledem na dosažitelný výkon v oblasti nízkých kmitočtů mnohdy v rozmezí 2 až 3 R_a).

Induktivní reaktance je dána vztahem

$$Z_1 = 2\pi f L_p,$$

z čehož

$$L_p = Z_1/2\pi f \qquad [H]$$

čímž zjistíme velikost hledané indukčnosti primárního vinutí. Počet závitů N_p určíme ze známého vzorce

$$N_p = 8900 \,.\, \sqrt{L_p R_{\check{z}}}$$

kde L_p je indukčnost primárního vinutí [H] a $R_{\check{z}}$ reluktance (magnetický odpor), vyjadřující vliv vzduchové mezery, kterou jsou plechy transformátoru jednočinného zesilovače přerušeny. Reluktance je dána vztahem

$$R_{\check{z}} = \frac{l_{\check{z}}}{\mu_{\check{z}} S} + \frac{l_v}{1{,}25 \,.\, S}$$

kde $l_{\check{z}}$ je délka střední silové čáry [cm],
S průřez středního sloupku jádra [cm²],
$\mu_{\check{z}}$ = 3000 až 5000 = poměrná permeabilita (poměrná měrná magnetická vodivost) materiálu,
l_v tloušťka střední mezery přerušení [cm].

Z převodu p vyjádříme dále i počet sekundárních závitů

$$N_s = N_p/p$$

Nyní provedeme kontrolu magnetické indukce B podle vztahu

$$B = 1{,}256 \,.\, \mu \,.\, N_p \,.\, I \,.\, 10^{-4} \Big/ \left(l_v + \frac{l_{\check{z}}}{\mu_{\check{z}}} \right) \quad [\mathrm{T; A; cm}]$$

kde I je anodový proud [A],
μ = 1 = poměrná permeabilita vzduchového prostředí,
l_v vzduchová mezera [cm],
$l_{\check{z}}$ délka střední silové čáry [cm],
$\mu_{\check{z}}$ = 3000 až 5000 = poměrná permeabilita železného jádra.

Jestliže se B nepohybuje v mezích 0,4 až 0,6 T, přezkoušíme, zda jsme volili správnou velikost vzduchové mezery

$$l_v = 1{,}25 \,\frac{0{,}4\pi \,.\, N_p \,.\, I \,.\, 10^{-4} - B \,.\, l_{\check{z}}/\mu_{\check{z}}}{B} \qquad [\mathrm{cm; A, T, cm}]$$

přičemž B je magnetická indukce v mezích 0,4 až 0,6 T,
$l_{\check{z}}$ délka střední silové čáry [cm],
$\mu_{\check{z}}$ = 3000 až 5000 = poměrná permeabilita.

Podle uvedených vztahů tedy upravíme (zmenšíme) počet závitů N_p nebo magnetickou indukci B tak, aby nedošlo k přesycení jádra a tím k poklesu indukčnosti primárního vinutí. (U transformátoru pro dvojčinný koncový stupeň se výpočet pochopitelně zjednodušší, neboť odpadá vzduchová mezera!).

Dále pak již jen zbývá volba průměru drátů pro primární a sekundární vinutí, při čemž kontrolujeme, zda se při konstrukci vejde vše do okénka použitého transformátoru včetně izolačních prokladů a skutečného plnění. Z délky vinutí (závity × délka středního závitu) stanovíme průměr drátu tak, aby jeho odpor byl menší než $^5/_{100}$ zatěžovací impedance. Tedy

$$R_p \leqq 0{,}05 \, Z_1$$

Pro jakostní transformátor se požaduje, aby činitel rozptylu se pohyboval kolem 0,002. Tímto činitelem jsou dány i rozptylové indukčnosti transformátoru, které omezují přenos vysokých kmitočtů [56]. Rozptylové indukčnosti závisí na součiniteli rozptylu podle vztahu

$$L_{sp} = \sigma L_p$$
$$L_{ss} = \sigma L_s \qquad [H]$$

kde L_{sp} je rozptylová indukčnost primárního vinutí,
L_p indukčnost primárního vinutí,
L_{ss} rozptylová indukčnost sekundárního vinutí,
L_s indukčnost sekundárního vinutí.

Indukčnosti L_p a L_s jsou ve vzájemném vztahu daným převodem p

$$L_s = L_p : p^2$$

Hotový transformátor po zabudování do zesilovače lze přezkoušet pomocí tónového generátoru a oscilografu. Zjistíme-li, že přenášené pásmo (na straně vysokých kmitočtů nízkofrekvenčního pásma) je nedostačující, pak příčina je v příliš velké rozptylové indukčnosti. Konstrukčně je možné zmenšit ji takovým způsobem vinutí, že se primární vinutí provede v rozdělených souosých sekcích, mezi něž se umístí sekundární vinutí. Děláme

tedy vinutí buď válcové (vrstvové), nebo komůrkové (deskové). (Vineme např. tři sekce primárního vinutí a mezi ně vkládáme dvě sekce sekundárního vinutí. Musíme však přitom při propojování jednotlivých sekcí zachovat směr vinutí!).

Rozptylovou indukčnost kontrolujeme podle vztahu:

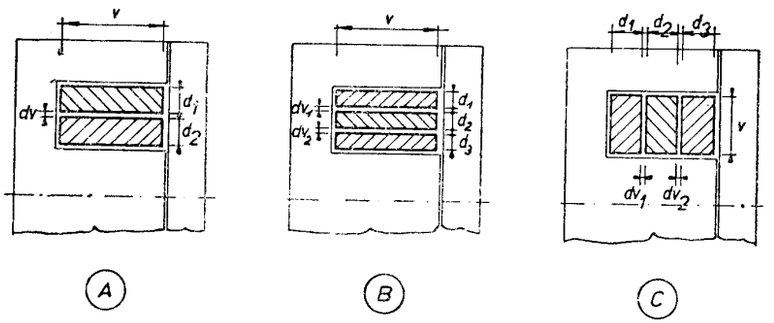
a) při způsobu bez vystřídaných sekcí

$$L_{sp} = \frac{1{,}14 \,.\, N_p^2 l_s}{v} \left(dv + \frac{d_1 + d_2}{3} \right) \cdot 10^{-8} \qquad [\mathrm{H}]$$

b) s vystřídáním

$$L_{sp} = \frac{c N_p^2 l_s}{v} \left(dv_1 + dv_2 + \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3} \right) \cdot 10^{-8} \qquad [\mathrm{H}]$$

kde l_s je délka středního závitu [cm],
hodnoty d, dv a v dosazujeme v [cm] a jejich význam je jasný z obr. 30; c je konstanta, která je pro vinutí ve vrstvách 0,283, pro vinutí deskové pak 0,315.



Obr. 30. Způsoby vinutí výstupních transformátorů.

Závěrem lze jen říci, že rozptylová indukčnost má být rovná 0,005 L_p. Pro jakostní zesilovače se zvlášť silnou zpětnou vazbou (a s velkou primární indukčností) má mít L_{sp} hodnotu dokonce jen řádu desítek milihenry (zpravidla 30 až 50 mH).

9. Elektrické výhybky

Za své praxe jste se jistě již setkali s pojmem dělená reprodukce. Pod tímto pojmem se někdy rozumí takové zařízení, kde výstup korekčního předzesilovače (nebo korekčních členů) je rozdělen na dva spolu nesouvisející kanály — výškový a hloubkový. Každý kanál pak tvoří samostatný dvoustupňový nebo jednostupňový nízkofrekvenční zesilovač s příslušným reproduktorem. Tato kombinace je však poměrně nákladná, složitější, a proto i méně běžná. Pro určité výhody, jako je např. minimální intermodulační zkreslení, se od ní neupustilo a seznámili jsme se s ní ve stati o dvoukanálovém zesilovači.

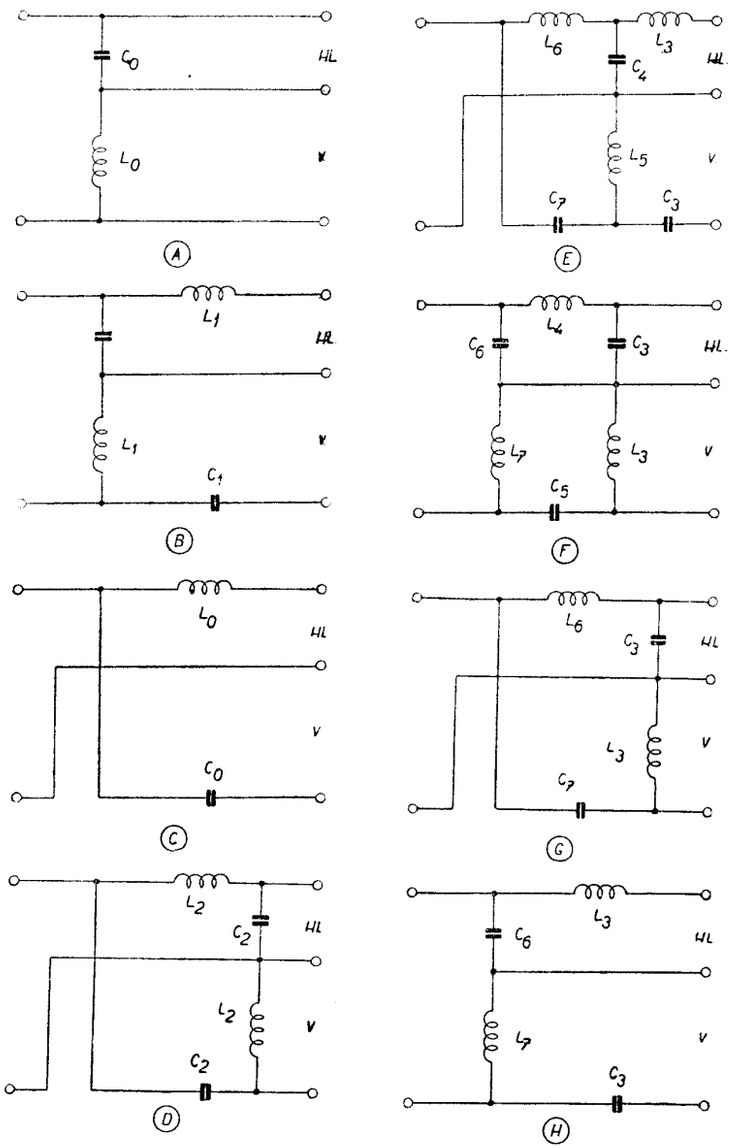
Pod dojmem dělené reprodukce se však častěji rozumí rozdělení zvukového spektra až za koncovým zesilovačem — tedy před vstupem do reproduktorů. Při jakostní reprodukci používáme reproduktorové soustavy složené z několika reproduktorů (nejméně dvou), z nichž jeden je určen k přenosu hlubokých tónů a druhý k přenosu vysokých tónů zvukového spektra. Rozdíl tedy je v tom, že reprodukci nf kmitočtů dělíme nikoli za korektory, ale až u výstupního transformátoru širokopásmového zesilovače. Znamená to tedy, že zesilovač dodává celé zvukové spektrum (16 až 16 000 Hz) s eventuálním nadzdvižením nízkých a vysokých kmitočtů, které na výstupu dělíme pomocí elektrických výhybek, přičemž konstrukčně zajistíme, aby celkové zkreslení zesilovače nebylo větší než 2 %.

Nazýváme tedy elektrickou výhybkou takovou soustavu filtrů složenou s členů *LC* a jejich kombinací, zapojenou za výstupním transformátorem, která do hloubkového reproduktoru propouští jen tóny hluboké — nízkého kmitočtu — a do výškového reproduktoru jen tóny vysoké. Připojovat více reproduktorů bez filtru by nemělo valný význam, neboť hloubkový reproduktor by byl zbytečně zatížen vysokými tóny (které stejně nemůže vyzářit) a výškový reproduktor by byl přetížen hlubokými tóny (které v určitých případech — při příliš velkých amplitudách — mohou ohrozit i život reproduktoru).

Ukážeme si nyní, jak takové elektrické výhybky vypadají. Na obr. 31 jsou přehledně vyznačeny nejčastěji používané druhy. Vidíme, že každá výhybka se skládá ze dvou filtrů tvořených kondenzátory a tlumivkami.

Velikostí kapacity kondenzátorů a indukčností tlumivek je určen mezní, nebo lépe řečeno dělicí kmitočet. Představuje určitou mez, od níž začíná jeden reproduktor hrát, kdežto druhý přestává. Filtry jsou zapojeny tak, že hloubkový reproduktor propouští hluboké tóny až do dělicího kmitočtu a vyšší tóny zadržuje; výškový reproduktor pracuje opačně.

Při návrhu elektrických výhybek vycházíme z hodnot dělicího kmitočtu a impedance reproduktoru. Impedanci (tj. zdánlivý odpor kmitací cívky) uvažujeme konstantní, tj. kmitočtově nezávislou, jak se to též předpokládá při návrhu výstupního transformátoru. Její hodnotu udává výrobce v ohmech pro kmitočet 1000 Hz a zpravidla se pohybuje kolem 5 Ω. (Výjimku tvoří reproduktory s velkou impedancí, jejichž kmitací cívky mají odpor až několik set ohmů. Bývají ve speciálních zapojeních nízkofrekvenčních zesilovačů bez výstupních transformátorů.) Pokud jde o dělicí kmitočet, je většinou dán přímo typem výškového reproduktoru, vlastně



Obr. 31. Nejčastější druhy elektrických výhybek.

jeho dolním mezním kmitočtem. Naproti tomu hloubkový reproduktor nemá ostře vyjádřený horní mezní kmitočet, a proto jej také neuvažujeme. V praxi klademe dělicí kmitočet mezi 300 až 1500 Hz; jeho hodnota se volí podle vlastností použitých reproduktorů.

Avšak vraťme se ještě jednou k obr. 31. Jsou na něm přehledně nejužívanější druhy elektrických výhybek. Většinou se požaduje, aby kmitočty vně mezního kmitočtu byly potlačeny aspoň o 12 dB na oktávu. Tuto podmínku sice první čtyři zapojení nesplňují (A až D mají útlum jen 6 dB), zato se však vyznačují stálým vstupním odporem. Další zapojení dosahují útlumu asi 18 dB na oktávu, poslední dvě (G a H) pak mají útlum 12 dB. Jednotlivé prvky ve filtrech vypočítáme podle vzorců

$$L_0 = \frac{R_0}{2\pi f_m} \qquad C_0 = \frac{10^6}{2\pi f_m R_0}$$

$$L_1 = \frac{L_0}{\sqrt{2}} \qquad C_1 = C_0\sqrt{2}$$

$$L_2 = L_0\sqrt{2} \qquad C_2 = \frac{C_0}{\sqrt{2}}$$

$$L_3 = \frac{R_0}{2\pi f_m} \qquad C_3 = \frac{10^6}{2\pi f_m R_0}$$

$$L_4 = \frac{2R_0}{2\pi f_m} \qquad C_4 = \frac{2}{2\pi f_m R_0}\cdot 10^6$$

$$L_5 = \frac{R_0}{4\pi f_m} \qquad C_5 = \frac{10^6}{4\pi f_m R_0}$$

$$L_6 = (1+m)\frac{R_0}{2\pi f_m} \qquad C_6 = (1+m)\frac{10^6}{2\pi f_m R_0}$$

$$L_7 = \frac{1}{1+m}\cdot\frac{R_0}{2\pi f_m} \qquad C_7 = \frac{1}{1+m}\cdot\frac{10^6}{2\pi f_m R_0}$$

[H; Ω, Hz] [μF; Hz, Ω]

kde R_0 je impedance kmitací cívky reproduktoru,
f_m mezní kmitočet,
$m = 0{,}6$.

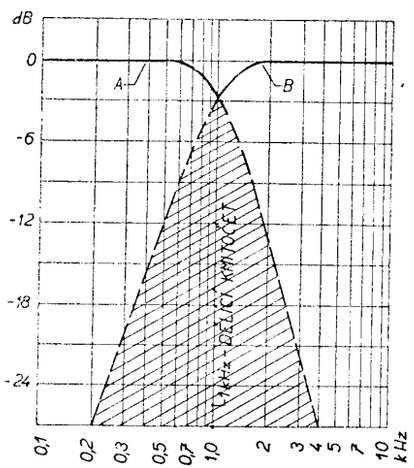
(Pokud jde o hodnoty členů výhybek, pak uvedené výrazy platí pouze pro čistě reálnou zatěžovací impedanci kmitací cívky. To je však ve skutečnosti většinou splněno jen velmi přibližně, protože v oblasti vyšších

kmitočtů se do značné míry uplatňuje indukčnost kmitací cívky. Pro přibližné určení hodnot však s uvedenými vzorci vystačíme.)

Je samozřejmé, že použijeme-li v soustavě dvou reproduktorů s rozdílnými impedancemi kmitacích cívek, musíme k tomu přihlížet při výpočtu. Uvádíme kapacity a indukčnosti použitých členů filtrů, vypočítané pro dělicí kmitočet 1000 Hz a impedanci 5 Ω.

$C_0 = 32\ \mu F/15\ V$ $\quad L_0 = 0{,}8\ mH$
$C_1 = 45\ \mu F/15\ V$ $\quad L_1 = 0{,}56\ mH$
$C_2 = 23\ \mu F/15\ V$ $\quad L_2 = 1{,}10\ mH$
$C_3 = 32\ \mu F\ 15\ V$ $\quad L_3 = 0{,}80\ mH$
$C_4 = 64\ \mu F/15\ V$ $\quad L_4 = 1{,}60\ mH$
$C_5 = 16\ \mu F/15\ V$ $\quad L_5 = 0{,}40\ mH$
$C_6 = 51\ \mu F/15\ V$ $\quad L_6 = 1{,}30\ mH$
$C_7 = 20\ \mu F/15\ V$ $\quad L_7 = 0{,}50\ mH$

Vidíme, že hodnoty kondenzátorů nejsou nijak malé, kdežto hodnoty tlumivek jsou v přijatelných mezích. Protože dále jsou kondenzátory zapojeny v obvodech, kterými protéká střídavý proud, nelze použít jednoduše běžných elektrolytických kondenzátorů. Musíme je řadit bipolárně, takže každý kondenzátor je zastoupen svou hodnotou dvakrát. Vzhledem k tomu, že na trhu jsou — i když v omezeném množství — miniaturní elektrolytické kondenzátory na nízké napětí pro tranzistorové přijímače, nebude působit obtíže sestava jakékoli kapacity v uvedeném rozsahu. Daleko výhodnější jsou kondenzátory z metalizovaného papíru (MP), které však zaberou mnohem více místa.



Obr. 32. Kmitočtový průběh elektrické výhybky podle obr. 31D.

Na obr. 32 je kmitočtový průběh běžné elektrické výhybky (podle obr. 31 D). Vidíme zde, že křivky označující pracovní oblast hloubkové a výškové soustavy se protínají na pořadnici, jež odpovídá dělicímu kmitočtu. Plochu vymezenou mezi oběma křivkami nazýváme oblastí překrývání. Je pochopitelné, že podle druhu zapojení a s tím i souvisící selektivnosti (propustnosti) filtrů se bude lišit i oblast překrývání.

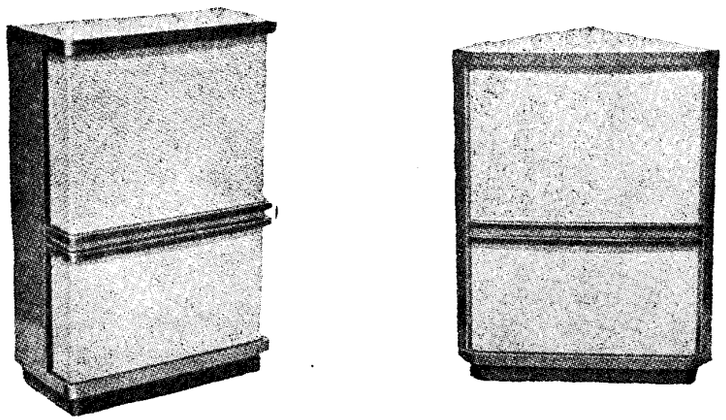
Vysvětlíme si nyní, jak pracuje hloubkový filtr. Všimneme-li si obr. 31 D, vidíme, že paralelně k hloubkovému reproduktoru je připojen kondenzátor a v sérii s ním tlumivka. Protože kondenzátor a tlumivka jsou kmitočtově závislé členy filtru, mění se i jejich impedance se změnou kmitočtu. Impedance kondenzátoru směrem k vyšším kmitočtům klesá, kdežto impedance tlumivky k vyšším kmitočtům vzrůstá. Lze si tedy jak hloubkový, tak výškový filtr představit jako dělič napětí, jehož dvě větve tvoří zdánlivé odpory tlumivky a kondenzátoru. Pro nízké kmitočty je impedance tlumivky malá a impedance kondenzátoru velká, takže dělič prakticky nezeslabuje. Pro vysoké kmitočty (tj. v pásmu tónových kmitočtů) je naopak impedance tlumivky velká a impedance kondenzátoru malá, takže dochází k značnému zeslabení. Složitější případ však nastává při dělicím kmitočtu, který je shodný s rezonančním kmitočtem kapacity a indukčnosti, kdy impedance tlumivky se rovná impedanci kondenzátoru. V tomto případě zeslabuje pak filtr o 6 dB. Filtr výškové soustavy pracuje obdobně, ale opačně. I ostatní výhybky pracují na stejném principu, avšak liší se útlumem a oblastí překrývání.

10. Reproduktory a reproduktorové soustavy

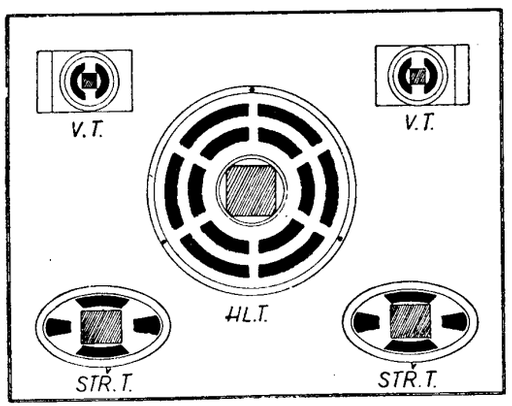
V předcházející stati jsme si řekli, že pod pojmem elektrické výhybky rozumíme více méně jednoduchý filtr složený z členů *LC*, který rozděluje tónové spektrum do několika (minimálně dvou) zvukových kanálů. Na výhybku dále navazují reproduktory, jejichž počet se v praxi pohybuje mezi dvěma až třemi jednotkami. Při tom převládají výškové reproduktory. To proto, že vysoké tóny se šíří směrově. Abychom tedy zajistili podmínky přibližně všesměrového vyzařování vysokých tónů, jsme nuceni použít výškových reproduktorů vhodně umístěných, čímž dosahujeme rovnoměrného šíření zvuku nejen dopředu, ale i do stran v celém zvukovém spektru. Taková zařízení bývají pak označována jako systém „3 D“ (odvozený od tří dimenzí, ačkoli nikdy nejde o trojrozměrnou reprodukci) nebo „4 R“ (reprodukce ve čtyřech směrech), a obecně je nazýváme reproduktorovými kombinacemi (soustavami).

Pro vysokotónové reproduktory jsou vhodné malé typy s malou hmotou kmitajícího systému, kdežto pro nízké kmitočty vyhledáváme reproduktory s velkou plochou membrány. Pro usnadnění výběru poslouží přehled typizované řady. Při zapojování kombinací musíme však dát pozor na správnou polaritu — tj. membrány všeeh reproduktorů se musí pohybovat souhlasně ve směru — jinak by došlo ke zhoršení fázových poměrů a zeslabení určitých kmitočtů (v pásmu překrývání apod.). Pólování reproduktorů zkoušíme plochou baterií pro kapesní svítilny; pohyb membrán dovnitř nebo ven je zřetelně vidět.

Na dalším obrázku (obr. 33) je bytová reproduktorová kombinace TESLA ARS 701, která obsahuje jeden hlubokotónový reproduktor ARO 701 a tři vysokotónové eliptické reproduktory typu ARE 512 (dva z boku a jeden zpředu) s elektrickou výhybkou a přizpůsobovacím trans-

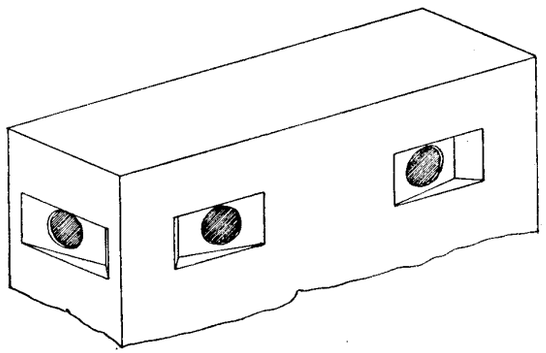


Obr. 33. Komerční provedení bytové reproduktorové kombinace. Vlevo TESLA ARS 701, vpravo ARS 751.



Obr. 34. Typické uspořádání kombinace reproduktorů na společné ozvučnici.

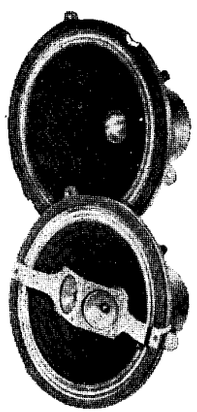
formátorem (obr. 33 vlevo). Vpravo je jiná reproduktorová kombinace, a to rohová skříň typu TESLA ARS 751, obsahující jeden hlubokotónový reproduktor ARO 711 a pro výšky jeden eliptický reproduktor ARE 512, rovněž s výhybkou a přizpůsobovacím transformátorem. Kmitočtový průběh obou kombinací je v pásmu od 70 Hz do 10 000 Hz a skříně jsou určeny pro věrnou a jakostní reprodukci hudby i mluveného slova. Vkusným tvarem tvoří obě skříně vhodný doplněk bytového zařízení. Lze je připojit ke každému běžnému zesilovači s výstupem 5 Ω, jakož i k zesilovači s výstupem 100 V k dosažení jakostní reprodukce v širokém kmitočtovém rozsahu pomocí přizpůsobovacího transformátoru. Obě ukázky uvádíme jako příklady praktického použití elektrické výhybky při spojení několika reproduktorů.



Obr. 35. Detailní pohled na vysokotónové reproduktory umístěné v šikmo seříznutých vaničkách, pro rovnoměrnější směrové vyzařování.

Na obr. 34 je typické uspořádání reproduktorové kombinace skládající se z několika reproduktorů a umístěné na společné ozvučnici. Na obr. 35 je detailní pohled na vysokotónové reproduktory umístěné záměrně do šikmo seříznutých vaniček, aby se tóny šířily rovnoměrněji do stran.

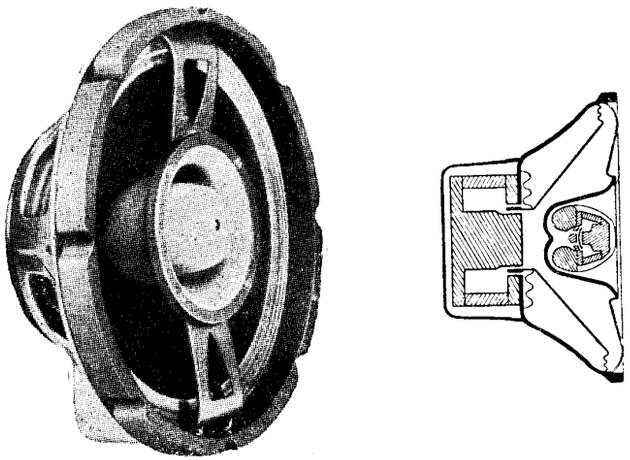
Soustava několika reproduktorů na jedné ozvučnici není právě nejlepším řešením, neboť je především nákladná a pak vyžaduje dosti prostoru. Proto se někdy používá připínatelných vysokotónových reproduktorů, které se připevňují k hlubokotónovému reproduktoru — viz obr. 36 — anebo reproduktorů koaxiálních. Koaxiální reproduktory mají zvlášť uspořádanou vysokotónovou a hlubokotónovou část, která leží v jedné ose. Každá z nich je opět napájena přes elektrickou výhybku, takže na každý sy-



Obr. 36. Ukázka připínatelných vysokotónových reproduktorů k reproduktoru hlubokotónovému.

stém je přiveden signál v takovém rozsahu, jaký je s to zpracovat. Tímto způsobem lze realizovat poměrně dokonalou reprodukci tónového spektra v celém jeho rozsahu, neboť lze konstrukčně zajistit, aby jednotlivé členy dokonale přenášely určitá pásma kmitočtů, navazující těsně na sebe.

Řešení koaxiálních reproduktorů je dosti rozmanité. Nás však bude zajímat to, že se kromě obvyklého řešení dvou částí (hlubokotónové a vysokotónové) dělají i reproduktory triaxiální, kde na hlubokotónový systém navazuje systém pro střední tóny a na něj pak vysokotónový. Koaxiální reproduktor je na obr. 37; vpravo je schématický řez objasňující jeho konstrukci.



Obr. 37. Pohled na koaxiální reproduktor (vlevo) a řez.

V zahraničí se často setkáváme v reproduktorových sestavách s nepřímo vyzařujícími vysokotónovými samostatnými reproduktory, jejichž hrdlo je prodlouženo exponenciálním zvukovodem pro zvětšení účinnosti (tzv. tweeter).

Přehled tuzemských reproduktorů je v tab. I. a II.

11. Ozvučnice

Konstrukcí zesilovače pro jakostní a věrnou reprodukci nekončí ještě zdaleka práce konstruktéra. Zbývá ještě opatřit zvolenou reproduktorovou soustavu nebo reproduktor vhodnou ozvučnicí a rozhodnout o jejím správ-

Tab. I. Kruhové reproduktory

Typ	Jmenovitý příkon [VA]	Jmenovité napětí [V]	Impedance při 1000 Hz	Kmitočtový rozsah [Hz]	Vlastní rezonance [Hz]	Magnetická indukce v mezeře [T]	Magnet	Největší průměr [mm]	Průměr membrány [mm]	Hloubka [mm]	Průměr magnetu [mm]	Váha kg*
ARO 031	0,07	0,8	10	200— 5 000	350	0,7	AlNiCo	70	35	40	62	0,135
ARO 131	0,35	1,2	4	200—10 000	260	0,9	AlNiCo	85	72	54	47	0,35
ARO 211	0,35	1,2	4	160—10 000	180	0,57	AlNi	100	78	56	47	0,35
ARO 231	0,35	1,2	4	160—10 000	180	0,9	AlNiCo	100	78	51	47	0,37
ARO 311	0,75	1,7	4	120—10 000	130	0,57	AlNi	130	108	56	47	0,37
ARO 331	0,75	1,7	4	120—10 000	130	0,9	AlNiCo	130	108	61	47	0,37
ARO 411	1,5	2,75	5	80—10 000	90	0,66	AlNi	162	143	77	61	0,96
ARO 431	1,5	2,75	5	80—10 000	90	0,76	AlNiCo	162	143	78	70	0,60
ARO 511	3	3,9	5	50— 8 000	60	0,66	AlNi	200	180	93	61	1,10
ARO 531	3	3,9	5	50— 8 000	60	0,76	AlNiCo	200	180	94	80	0,95
ARO 533	3	3,9	5	50— 8 000	60	0,95	AlNiCo	200	180	100	80	1,10
ARO 611	6	5,5	5	50— 8 000	60	0,66	AlNi	236	208	104	61	1,20
ARO 711	8	6,3	6	50— 5 000	60	0,85	AlNi	273	243	149	100	4,00
ARO 731	8	6,3	6	50— 5 000	60	1,2	AlNiCo	273	243	144	80	3,30
ARO 814	10	7,75	6	30— 4 000	35	0,85	AlNi	340	300	158	100	5,25
ARO 835	10	7,75	6	30— 4 000	35	1,0	AlNiCo	340	300	153	80	3,80

Tab. II. Eliptické reproduktory

Typ	Příkon [VA]	Jmenovité napětí [V]	Impedance při 1 kHz	Kmitočtový rozsah [Hz]	Vlastní rezonance [Hz]	Magnetická indukce v mezeře [T]	Magnet	Délka [mm]	Šířka [mm]	Délka membrány [mm]	Šířka membrány [mm]	Hloubka [mm]	Váha [kp*]
ARE 314	0,75	ve vývoji					AlNi	160	105	125	80	59	
ARE 411	1,5	2,7	5	80—8 000	150	0,66	AlNi	160	120	140	100	76	0,95
ARE 511	1,5	2,7	5	70—10 000	76	0,66	AlNi	200	151	180	131	92	1,00
ARE 531	1,5	2,7	5	70—10 000	80	0,76	AlNiCo	200	151	180	131	94	0,95
ARE 614	6	ve vývoji	5				AlNi	280	190	215	145	101	

ném umístění (při trvalém provozu). Vlastnosti ozvučnice mohou mít mnohdy i podstatně citelný vliv na jakost reprodukovaných pořadů. Je větší počet typů ozvučnic — od nejjednodušších až ke konstrukcím kladoucím při výrobě značné nároky na odbornou dovednost amatéra; např. je ozvučnice desková, dále skříňová ozvučnice otevřená, skříňová ozvučnice uzavřená, ozvučnice typu bass-reflex, ozvučnice se zvukovodem, labyrintem, s akustickými obvody apod.

Nemíníme zde probrat všechny existující typy ozvučnic s výčtem jejich vlastností a teoretickým zdůvodněním. V dalších odstavcích poukážeme jen na nejběžnější typy.

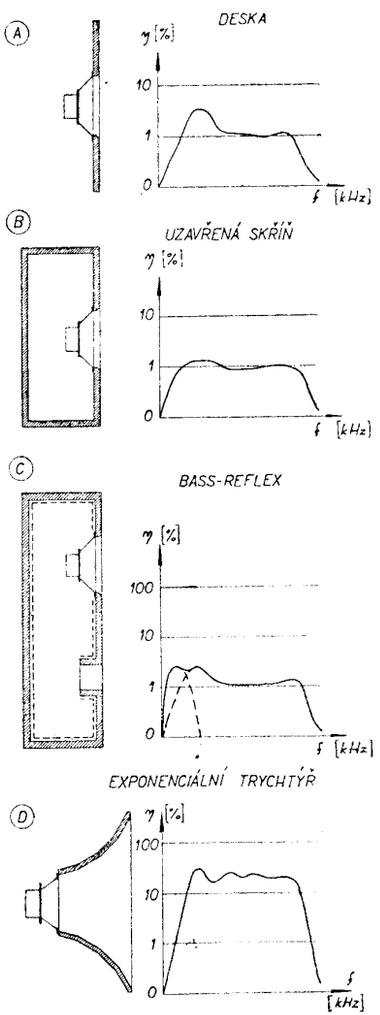
Jaký je vlastně účel ozvučnice? Je známo, že membrána reproduktoru musí působit jako píst, má-li rozechvívat okolní vzduch a vyzařovat akustický výkon. Při tom se tlaky na jedné straně membrány nemají vyrovnávat s tlaky opačného smyslu na straně druhé. Nejjednodušším způsobem, jak to zajistit, je upevnit reproduktor na ozvučnou desku. Při tom nemůže vzniknout akustický zkrat (kromě velmi nízkých kmitočtů), čímž rozumíme uvedené vyrovnávání tlaků přes okraje reproduktorů. Kmitající membrána vyzařuje akustický výkon i tehdy, není-li reproduktor zamontován v ozvučnici; vyzařovací odpor je však za tohoto stavu menší — účinnost klesá. Tato skutečnost je jistě známa každému, kdo měl možnost posoudit zvukový výkon přijímače vyňatého ze skříně i s reproduktorem a zvukový výkon přijímače vestavěného do skříně.

Tím, že ozvučnice zabraňuje vzniku akustického zkratu, upravuje výslednou kmitočtovou charakteristiku zařízení. Z hlediska jakostního a věrného přednesu se dále doporučuje volit takovou ozvučnici, jejíž kmitočtová charakteristika je v oblasti nízkých tónů vyrovnaná — tím se umožní dobrá reprodukce neperiodických přechodových průběhů.

Při nevhodně volené nebo navržené ozvučnici vznikají při reprodukci hlubokých tónů nežádoucí přechodové zakmitávající jevy, které se projevují jako nepříjemné a nepřirozené dunění. Za tohoto stavu pak trpí jakost přenosu, i když se používá jakostního zesilovače.

Prvním typem ozvučnice je deska (obr. 38), obyčejně čtvercová, s kruhovým otvorem pro reproduktor. Tento otvor se často nesprávně umisťuje do středu desky; příznivější pro kmitočtový průběh je umístění nesouměrné. Při volbě desky je nutno uvážit, že čím větší desku volíme k reproduktoru, tím větší kmitočtový rozsah získáme směrem k nižším kmitočtům. Je však jasné, že ačkoli teoreticky by byla nejvýhodnější deska co největší (nekonečně velká), není tato podmínka z hlediska zabraného prostoru splnitelná. Určitou možnost zmenšení velikosti ozvučnice dává skříňová ozvučnice otevřená, jejíž elektroakustické vlastnosti jsou přibližně stejné jako u deskové ozvučnice.

Mnohdy se ještě setkáváme s názorem, že ozvučnice, ať deska nebo skříň, má rezonancí zlepšit nebo zesílit reprodukci. Tento názor je však nesprávný.



Obr. 38. Některé typy ozvučnic. A desková, B uzavřená skříň, C bass-reflex, D exponenciální zvukovod.

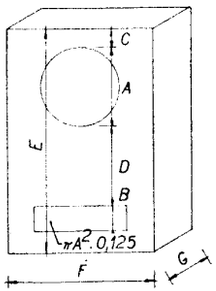
Ozvučnice má být právě mechanicky zcela tuhá, a nemá se při reprodukci chvět.

Daleko lepší náhradou „nekonečně" velké desky je další typ ozvučnice, uzavřená skříň — obr. 38 B. V tomto případě se nemůže žádnou cestou vyrovnat zvukový tlak mezi přední a zadní stěnou membrány reproduktoru. Při nízkých kmitočtech se při výchylkách membrány mění poněkud i objem vzduchu uzavřeného uvnitř skříně a tím i jeho tlak, čímž se zvětšuje tuhost měniče i zvyšuje rezonanční kmitočet reproduktoru. Avšak vliv vyzařování zadní stěny membrány je dokonale odstraněn uzavřením skříně, takže membrána vyzařuje jen na otevřenou stranu. Kmitočtový průběh je tak rovnoměrný a příznivější.

Dalším, dnes již hojně používaným typem ozvučnice je tzv. bass-reflex. Konstrukce je celkem jednoduchá — což je příčinou obliby; dobrá účinnost při normálních rozměrech umožňuje použít ji i v malých místnostech. Je samozřejmé, že předpokladem dobré účinnosti je dobrá konstrukce. Výpočet je uveden v [21].

V čem tedy spočívá princip bass-reflexu ? Jak vidíme, používáme uzavřené skříně, kterou však navíc opatřujeme ve spodní části otvorem, jehož vzdálenost od reproduktoru není kritická. Vlastní skříň tvoří tedy rezonátor, jehož vlastností je, že při rezonančním kmitočtu obrací fázi akustického tlaku. Zvuk vychází jak z přední strany membrány, tak i ze strany zadní, budící vlastní Helmholzův rezonátor, spodním otvorem, a to ve stejné fázi. Vhodnou volbou rezonance vzduchového sloupce v uzavřené skříni (již ovlivňuje velikost otvoru a skříně) lze dosáhnout velmi příznivého kmitočtového průběhu celé soustavy.

Konstrukce skříně bývá velmi rozmanitá. Nejčastěji mívá trojúhelníkový půdorys, aby se mohla postavit do rohu místnosti, nebo půdorys obdélníkový apod. Protože žádná součást skříně se nesmí chvět, musí se použít na stavbu pevného materiálu. Vhodná je laťovka. popř. lisované desky z dřevoviny (bukas). Vhodné je též vyztužit větší plochy úhlopříčnými latěmi a k zamezení odrazů vyložit vnitřek skříně materiálem pohlcujícím zvuk, jako je hrubá plsť nebo desky skelné vaty. Odrazy by mohly nastat hlavně u vysokých tónů a projevily by se nepříznivým způsobem, jako je třeba zvlnění kmitočtové charakteristiky. Jiným izolačním materiálem je pěnová pryž, rohože z bavlny, hobra, vlnitá lepenka apod. Součásti musí být spojeny bez vůle, aby nedrnčely. Spoje je nejlépe upravit truhlářským zazubením a zaklížením.



ø [mm]	200	300	380
A	178	280	356
B	60	80	100
C	76	102	120
D	190	200	200
E	600	760	840
F	430	580	640
G	280	330	355
UŽIT. OBJEM cm³	60000	120000	150000

Obr. 39. Rozměry tří typů bass-reflexových skříní (bez nátrubku).

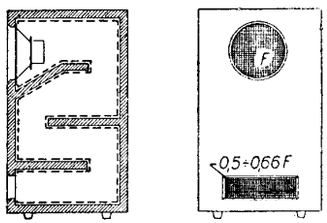
Všimneme-li si znova bass-reflexové skříně na obr. 38 C, vidíme, že výstupní otvor je lemován nátrubkem. Dá se totiž nalézt podmínka pro minimální rozměry skříně i nátrubku při daném průřezu otvoru. A skutečně bass-reflexová skříň s nátrubkem při stejných vlastnostech má objem zhruba o dvě třetiny menší než skříň bez nátrubku. Proto se tohoto typu nejvíce užívá. Délka nátrubku bývá obyčejně asi 12 až 26 cm, průřezová plocha se rovná polovině plochy otvoru zabraného reproduktorem. Tak např. pro reproduktor ∅ 20 cm vychází objem skříně s nátrubkem 20 000 cm³, kdežto u typu jen se spodním otvorem je objem asi 60 000 cm³, tedy třikrát více (90 Hz).

Na obr. 39 je schematický pohled na bass-reflexovou skříň běžného typu bez nátrubku s rozměry pro tři velikosti reproduktoru. Uvedené rozměry jsou vnější; objem skříně je tedy menší o tloušťku stěn a izolace. Rozměry jsou vypočteny pro rezonanční kmitočty reproduktorů 90, 45 a 30 Hz.

Obdobný je typ ozvučnice — tzv. skříň s labyrintem — tj. ozvučnice se zvukovodem konstantního průřezu (obr. 40). Obrácení fáze vlny od zadní stěny membrány se zde dosahuje umělým prodloužením vzdálenosti, jíž

musí zvuková vlna projít, než dosáhne vyústění. Výstupní otvor labyrintu se volí obyčejně $^1/_2$ až $^2/_3$ plochy otvoru reproduktoru. Na tvaru otvoru nezáleží, je jen třeba zachovat přibližně konstantní plochu profilu labyrintu. Aby se zmenšilo kolísání impedance zvukovodu, uvažované na straně jeho výstupu, které by způsobilo zvlnění výsledné kmitočtové charakteristiky, musí se obložit stěny a příčky akusticky tlumicím materiálem, obdobně jako u předcházejícího typu. Důležité je však, aby délka labyrintu byla dostačující, tj. rovná polovině vlnové délky kmitočtu, který ještě chceme v oblasti hloubek přenášet.

SKŘÍŇ S LABYRINTEM



Obr. 40. Ozvučnice typu „skříň s labyrintem".

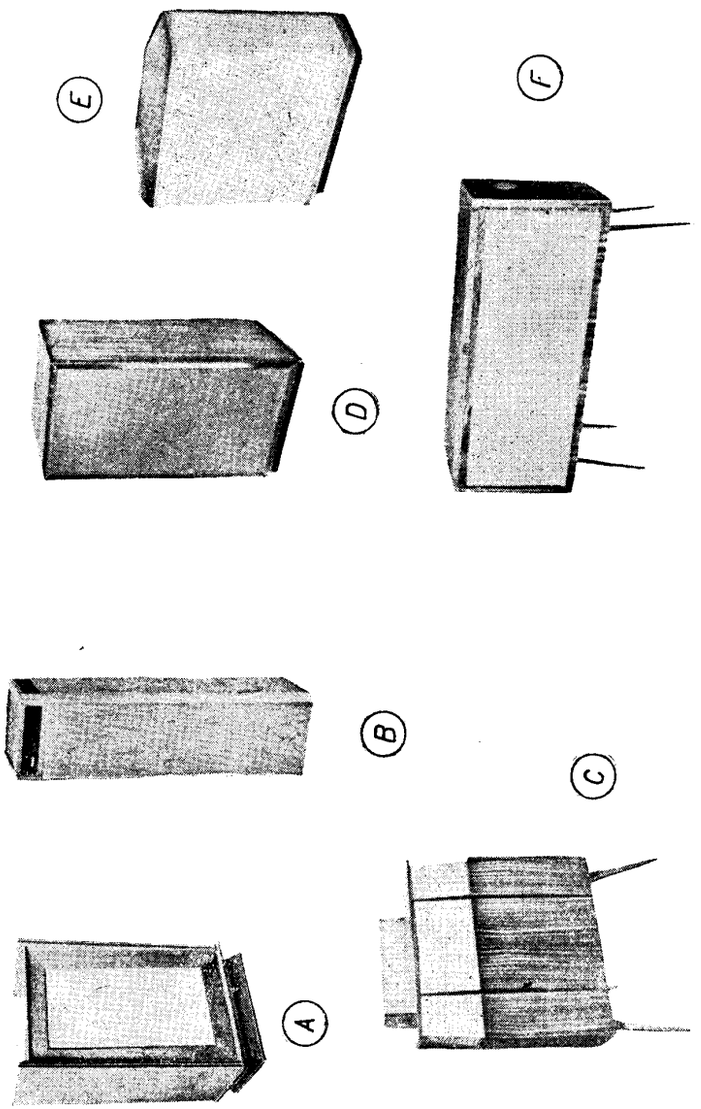
Podstatného zvětšení účinnosti reproduktoru lze dosáhnout impedančním přizpůsobením systému reproduktoru s velkou akustickou impedancí na impedanci vzduchu dlouhým exponenciálním zvukovodem — (obr. 38 D). Délka exponenciálního zvukovodu a jeho průřezy na konci a na začátku vycházejí obyčejně příliš velké. Zmenší-li se délka a rozměry, je kmitočtový průběh poněkud zvlněn. To nemusí příliš vadit, neboť lze položit první důl do rezonančního vrcholu reproduktoru. První vrchol pak rozšíří charakteristiku (tak jako u bass-reflexu) směrem k nízkým kmitočtům a celkový kmitočtový průběh má pak jen malá zvlnění.

S exponenciálním zvukovodem (trychtýřem) lze dosáhnout celkové účinnosti reproduktoru 10 až 30 %. Proto se tohoto typu používá hojně pro veřejný rozhlas, kina a všude tam, kde je třeba šetřit cennou energií koncových elektronek. Poměrně málo se ho používá v přijímačích, protože zvukovod je dost velký — výjimku však tvoří některé speciální zahraniční konstrukce přenosných přijímačů, kde se osvědčuje právě pro svou velkou účinnost.

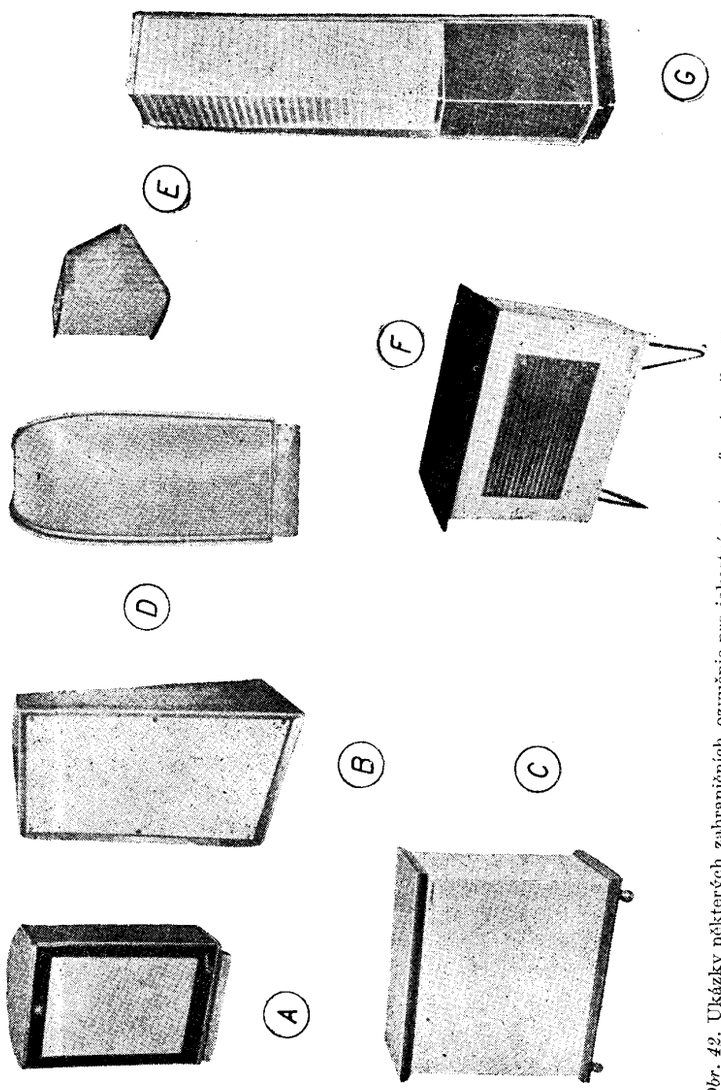
Uvedli jsme běžné druhy ozvučnic. Nejvíce pozornosti jsme věnovali ozvučnici typu bass-reflex, protože tento typ splňuje většinu požadavků kladených na dobrou ozvučnici, a to i při minimálních rozměrech. Jako vzor pro amatérský návrh stolního provedení může sloužit bass-reflexová skříň přijímače Hallicrafters, nebo skříňka rozhlasu po drátě skutečně minimálních rozměrů (43 × 30 × 20 cm).

Nelze však v rámci daného tématu řešit otázky ozvučnic v širším měřítku. Zájemce o toto téma odkazujeme na nedávné druhé vydání knihy inž. dr. A. Boleslava: Reproduktory a ozvučnice (SNTL 1959).

K doplnění této kapitoly uveďme několik různých provedení bass-reflexových skříní (obr. 41 a 42).



Obr. 41. Ukázky některých zahraničních ozvučnic pro jakostní a stereofonní zesilovače. A Hi-Tone: He 10; B Leak Colonne Figlit; C Lowther: TP 1; D Lowther: Acusta; E Philips: AD 5035 A; F Marconi: 3026.



Obr. 42. Ukázky některých zahraničních ozvučnic pro jakostní a stereofonní zesilovače. A film et Radio: Du 120; B Thorens: Be3; C Gailard: Europe; D Charlin; E Philips: AD 5036 B; F Thorens: Super-Console; G Thomson: H 16.

12. Měření zesilovačů

V této stati probereme stručně měření, která se provádí u každého zesilovače, a jejichž výsledek charakterizuje příslušný výrobek.

a) Měření zesílení

Zesílení nízkofrekvenčního zesilovače se udává jako poměr výstupního napětí k napětí vstupnímu. Provádí se tak, že ke vstupu zesilovače připojíme signální generátor tónových kmitočtů a elektronkový voltmetr. K výstupu zesilovače připojíme druhý elektronkový voltmetr. Signál tónového generátoru volíme s napětím desetin voltu (zpravidla 0,1 V), aby nedošlo k přebuzení, a čteme naměřenou hodnotu na výstupu. Kmitočet signálu se volí obvykle 400 nebo 1000 Hz. Výsledné zesílení

$$A = \frac{U_2}{U_1}$$

kde U_1 je napětí vstupní a U_2 napětí výstupní. Mnohdy se udává zesílení v decibelech. Pak výraz pro zesílení má tvar

$$A = 20 \log \frac{U_2}{U_1} \qquad [\mathrm{dB}]$$

b) Měření kmitočtového zkreslení

Kmitočtové zkreslení udává kmitočtová charakteristika zesilovače. Postup jejího zjišťování je obdobný jako při měření zesílení. Tónovým generátorem budíme zesilovač signály s různým kmitočtem a na výstupu čteme a zapisujeme dosažené výchylky na semilogaritmický papír. Začínáme zpravidla od signálu 1000 Hz, při čemž velikost jeho napětí volíme tak, aby na výstupním zatěžovacím odporu (zařazeném místo kmitací cívky reproduktoru s hodnotou rovnou impedanci kmitací cívky) byl výstupní výkon 100 mW (tzn., že velikost vstupního napětí odpovídá dvojnásobné citlivosti měřeného zesilovače). Tato velikost vstupního napětí se udržuje během celého měření konstantní. Naměřená výstupní napětí kreslíme na svislou osu a příslušné kmitočty na osu vodorovnou. Spojením jednotlivých bodů dostaneme křivku — kmitočtovou charakteristiku zesilovače — z které je jasně patrno, při kterých kmitočtech má zesilovač pokles zesílení proti hodnotě naměřené při kmitočtu 1000 Hz. Je-li zesilovač opatřen tónovými korekcemi, pak měříme několikrát (např. první měření: hloubky a výšky na maximu, druhé měření: hloubky a výšky na minimu, třetí měření: běžce lineárních regulátorů ve střední poloze apod.).

c) Měření fázového zkreslení

Někdy se u zesilovače měří fázové zkreslení, ačkoli při malých hodnotách se při běžném poslechu rušivě neuplatňuje. Jinak je tomu u stereofonní reprodukce. Fázové zkreslení způsobuje fázový posun vznikající na vazebních členech zesilovače. Zjišťujeme je opět tónovým generátorem. Ke vstupu zesilovače připojíme tónový generátor a zároveň též vertikální vstup osciloskopu. Výstup zesilovače vedeme na horizontální vstup osciloskopu, při čemž je časová základna vypnuta. Na stínítku osciloskopu vznikne při fázovém zkreslení elipsa složením fázově posunutých sinusovek vstupního a výstupního napětí. V ideálním případě by to byla přímka. Z rozměrů elipsy se stanoví velikost fázového posunu.

Opakujeme-li toto měření na několika kmitočtech, můžeme po grafickém záznamu výsledků zjistit fázovou charakteristiku zesilovače. Je samozřejmé, že při tomto měření musí být výchylky na destičkách osciloskopu srovnány na stejnou úroveň, nemá-li dojít k chybám. Přesnější způsob měření poskytuje dále například metoda tří voltmetrů apod. [63]. Jinou běžnou metodou je zkoušení zesilovačů signálem s obdélníkovým průběhem, podle jehož deformace lze posoudit kmitočtové a fázové zkreslení a jeho příčiny [37, 38, 39, 40].

d) Měření citlivosti zesilovače a výkonu

Citlivostí zesilovače se rozumí napětí, které je nutno přivést na vstup zesilovače, aby na výstupním zatěžovacím odporu vznikl výkon 50 mW. Výstupní výkon se neměří wattmetrem, nýbrž převádí se (podle Ohmova zákona) na měření napětí na známém zatěžovacím odporu. Zatěžovací odpor má hodnotu rovnou impedanci kmitací cívky. Výkon se tedy vypočítá z naměřeného napětí U_2 a známé hodnoty zatěžovacího odporu R_z podle vztahu

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

Z požadovaného výkonu 50 mW se tedy určí hodnota napětí, která musí být na zatěžovacím odporu, a k němu se přečte na elektronkovém voltmetru velikost zesilovaného vstupního napětí, které již samo udává citlivost zesilovače.

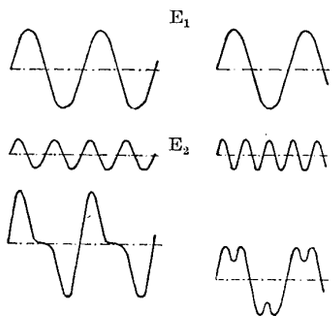
e) Měření činitele tvarového zkreslení

Toto zkreslení se projevuje — jak bylo již poznamenáno v úvodu — vznikem nových kmitočtů v zesilovači vlivem nelineárnosti elektronkových charakteristik a transformátorů, vzniku mřížkových proudů apod. Při

velikosti činitele nad 10 % se projevuje již velmi rušivě. Činitel tvarového zkreslení je dán vztahem

$$k = \sqrt{\frac{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2}} \cdot 100 \qquad [\%]$$

kde U_1 je první harmonická signálu, U_2, U_3, U_4 jsou vyšší harmonické signálu. K přesnému měření činitele zkreslení je třeba různých speciálních přístrojů, které jsou však mezi amatéry málo rozšířeny. V běžné praxi se vystačí s různými přibližnými metodami, při nichž se pracuje obvykle s osciloskopem. Nejjednodušší metodou je optická kontrola zesíleného signálu tónového generátoru na obrazovce osciloskopu, který je opatřen přepínačem pro snadné porovnání signálu na vstupu a výstupu zesilovače. Zkreslení 3 až 5 % lze postřehnout okem a nejčastěji se projeví deformací dolních a horních vrcholů sinusovky (nevhodné předpětí či pracovní anodový odpor, nebo vznikem napětí složitého tvaru — obr. 43. Přesnější metody jsou popsány v [48].



Obr. 43. Zkreslení signálu druhou a třetí harmonickou. (Výsledný průběh signálů E_1 a E_2 je kreslen pro případ, že oba mají stejnou fázi. Jestliže se však jejich fáze liší, je výsledný tvar odchylný — je však opět dán součtem amplitud obou signálů.)

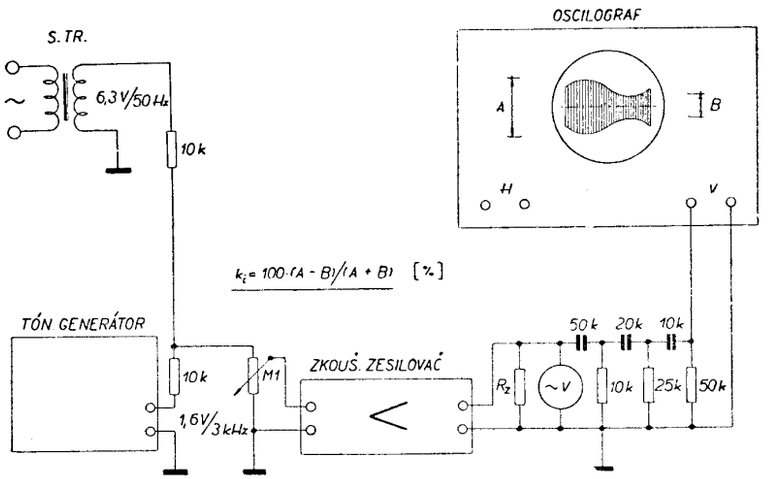
f) Měření intermodulačního zkreslení

Intermodulační zkreslení má značný vliv na jakost reprodukce. Na jeho zjišťování byly vyvinuty speciální přístroje a metody. Informativní měření lze provést dvěma tónovými generátory a osciloskopem. Zkoušený zesilovač se budí dvěma sinusovými napětími, z nichž jedno má kmitočet asi 50 Hz a druhé 3 kHz. Poměr napětí obou signálů se volí 4 : 1 ($U_{50\,\mathrm{Hz}} : U_{3\,\mathrm{kHz}} = 4 : 1$), při čemž se oba signály smísí v odporovém děliči a přivádějí přes regulační potenciometr na vstup zesilovače. K výstupu zkoušeného zesilovače se připojí místo reproduktoru zatěžovací odpor a elektronkový voltmetr, kterým se kontroluje výkon. Dále je k výstupu zesilovače připojen jednoduchý čtyřpól *RC*, který odřízne nízké kmitočty pod 350 Hz, takže na výstupu filtru zůstane jen signál s kmitočtem 3 kHz, amplitudově modulovaný kmitočtem 50 Hz. Toto napětí přivádíme na vertikální vstup osciloskopu, jehož časová základna je nastavena na kmitočet 50 Hz. Při zkoušení se vytvoří na stínítku osciloskopu obraz amplitudově modulované

nf nosné vlny. Hloubka modulace, a tedy i činitel intermodulačního zkreslení je dán podle vztahu

$$k_i = [(A - B) \,.\, (A + B)] \,.\, 100 \qquad [\%]$$

kde A je maximální amplituda a B minimální amplituda nosného kmitočtu 3 kHz — viz obr. 44. Tento způsob však není přesný, jestliže signál obsahuje harmonické kmitočty. Proto norma ČSN stanoví tento postup:



Obr. 44. Zapojení k měření intermodulačního zkreslení.

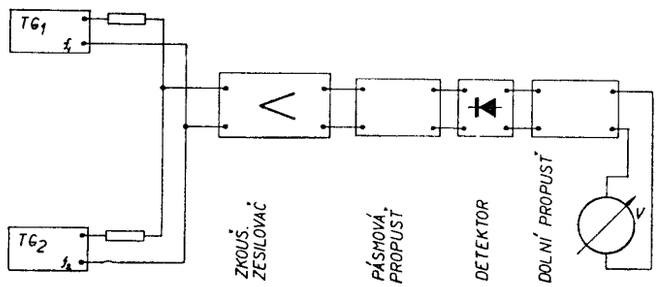
Na vstup zesilovače se přivedou přes vhodné oddělovací odpory dvě napětí rozdělených tónových kmitočtů v poměru napětí $U_{f_1} : U_{f_2} = 4 : 1$. Zesilovač se vybudí tak, aby vrcholová hodnota vstupního napětí, složeného z napětí obou kmitočtů, rovnala se vrcholové hodnotě sinusového napětí potřebného k vybuzení na žádaný výkon. Vlnovým analyzátorem se změří amplitudy kombinačních kmitočtů $f_2 + f_1$, $f_2 - f_1$, $f_2 + 2f_1$, $f_2 - 2f_1$, $f_2 + 3f_1$, $f_2 - 3f_1$, obsažených ve výstupním napětí zesilovače. Činitel intermodulačního zkreslení se vypočte ze vztahu

$$k_i = \sqrt{\frac{U^2_{f_2+f_1} + U^2_{f_2-f_1} + U^2_{f_2+2f_1} + U^2_{f_2-2f_1} + U^2_{f_2+3f_1} + U^2_{f_2-3f_1}}{U_{f_1} + U_{f_2}}}$$

(což je poměr efektivní hodnoty napětí kombinačních kmitočtů $f_2 \pm f_1$, $f_2 \pm 2f_1$, $f_2 \pm 3f_1$, měřených na výstupu zesilovače, buzeného směsí napětí dvou udaných kmitočtů se stanoveným poměrem amplitud k součtu efektivních hodnot napětí uvedených dvou kmitočtů).

Tato definice činitele intermodulačního zkreslení je navržena tak, aby vyčíslená hodnota pokud možno souhlasila s údajem měřičů intermodulačního zkreslení, založených na demodulačním principu. Skupinové schéma přístroje je na obr. 45.

Další měření, jako je např. měření stabilnosti zesilovače, měření rušivého napětí apod., nalezneme rovněž v [58].



Obr. 45. Skupinové schéma zapojení k měření intermodulačního zkreslení podle normy ČSN.

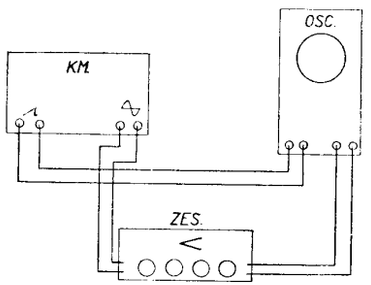
13. Tónový generátor a kmitočtový nízkofrekvenční modulátor

Již dříve jsme řekli, jak získáváme a měříme výsledný kmitočtový průběh zkoušeného zařízení. Všechny uvedené metody však jsou poněkud zdlouhavé. K rychlému zjištění jakosti zesilovače nebo jiného nízkofrekvenčního zařízení slouží přístroj, který společně s oscilografem ukazuje na stínítku obrazovky přímo kmitočtový průběh.

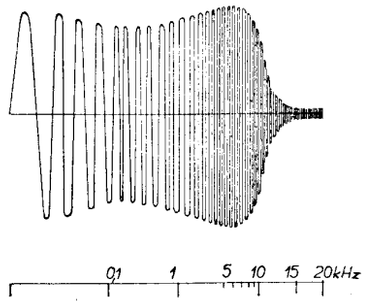
(V oblasti nízkých kmitočtů jsou však výsledky jen přibližné. To proto, že u snímačů kmitočtové charakteristiky — jako je popisovaný přístroj — je důležitá odezva přechodového jevu [37]. Je-li totiž rychlost změny kmitočtu pro daný zkoušený čtyřpól příliš velká, nastane na neusměrněné obálce kmitočtového průběhu zkreslení pro nízké kmitočty. Naproti tomu však záleží na druhu použitého oscilografu, neboť není-li s to přenášet stejnosměrné signály, způsobuje zkreslení obálky i příliš pomalý opakovací kmitočet. Proto je nejlépe přezkoušet dolní část tónového spektra bod po bodu, což popisovaný přístroj též umožňuje.)

Přístroj, který umožňuje toto měření, je kmitočtový modulátor (wobbler), pracující v oblasti tónových kmitočtů. Kmitočtový modulátor vyrábí

nízkofrekvenční napětí, jehož kmitočet se periodicky mění v mezích zkoumané oblasti, tj. v oblasti tónového spektra (20 Hz až 20 kHz). Amplituda výstupního napětí musí být ovšem konstantní, má-li být výsledek měření uspokojivý a věrohodný. Prakticky to tedy znamená, že používáme oscilátoru modulovaného kmitočtově, přičemž se kmitočtový zdvih rovná zkoumanému tónovému spektru.



Obr. 46. Skupinové schéma zapojení přístrojů ke zjišťování kmitočtové charakteristiky zesilovače.



Obr. 47. Výsledná kmitočtová charakteristika měřeného zesilovače.

Výstupní napětí z kmitočtového modulátoru se přivádí na vstup zkoušeného zesilovače, po projití přístrojem se odebírá obvykle ze sekundárního vinutí výstupního transformátoru a přivádí na vertikální zesilovač osciloskopu. Přitom je třeba odebírat z kmitočtového modulátoru další střídavé napětí (správněji řečeno stejnosměrné, jehož velikost kolísá, tj. nepřechází přes nulu), sloužící k vodorovnému vychylování osciloskopu. Toto proměnné napětí musí pochopitelně měnit svou velikost synchronně se změnou tónového kmitočtu, aby tak vznikl na stínítku osciloskopu stojící obrázek. Na skupinovém schématu (obr. 46) vidíme principiální zapojení všech přístrojů. Další obrázek ukazuje výsledný kmitočtový průběh tak, jak jej podává obrazovka, a to v rozmezí 20 až 20 000 Hz. Velmi dobře je patrný prudký pokles zesílení od 8 kHz (obr. 47).

Z toho vyplývá, že nepoužíváme časové základny osciloskopu. Potřebné vychylovací napětí získáváme doutnavkovým oscilátorem, který tvoří další vestavěné příslušenství kmitočtového modulátoru. Proč toto řešení? Časová základna běžných osciloskopů pracuje totiž obvykle od kmitočtu 30 až 50 Hz, což je pro naše účely mnoho. Abychom tedy mohli přesně pozorovat i ty nejnižší kmitočty, je třeba používat pomocného generátoru vychylovacího napětí se značně nízkým kmitočtem 3 až 5 Hz.

Všimněme si nyní blíže celkového zapojení přístroje na obr. 48 (v příloze). Je osazen čtyřmi elektronkami, z nichž každá má jinou funkci. První elektronka (6BA7) tvoří oscilátor pevného kmitočtu a směšovač, druhá napěťový zesilovač (6C4), třetí katodový sledovač, z něhož odebíráme tónové spektrum (6L43). Poslední elektronka (12AT7) je dvojitá trioda. Její jedna polovina pracuje jako proměnný oscilátor, kdežto druhá polovina je zapojena jako reaktance tvořící součást kmitavého obvodu.

Kmitočet tónového spektra se získává takto: Pevný oscilátor pracuje na poměrně vysokém kmitočtu (6 MHz), na kterém pracuje též i proměnný oscilátor. Oba jsou spolu vázány slabou kapacitní vazbou. Kmitočet obou je tedy přiváděn do směšovací části elektronky 6BA7, kde vzniká součtový a rozdílový kmitočet. Součtový vysokofrekvenční kmitočet nemá význam a zbavujeme se ho kondenzátorem C_2, kdežto rozdílový kmitočet zpracováváme dále. Velikost rozdílového kmitočtu je dále dána tím, jak velice se budou lišit kmitočty obou oscilátorů. Má-li tedy kmitočtový modulátor poskytovat nf napětí v rozsahu 30 Hz až 20 kHz, musí se i v tomto rozsahu měnit kmitočet proměnného oscilátoru. Zvolíme-li si tedy základní kmitočet v hodnotě několika megahertzů, je potřebná hloubka modulace (vzhledem k základnímu kmitočtu) celkem minimální a lze jí dosáhnout jednoduše změnami hodnot kmitavého obvodu proměnného oscilátoru.

Podle tohoto principu pracuje kmitočtový modulátor. Amplituda výstupního napětí je 0,5 V a je téměř stejně velká na všech kmitočtech v oblasti nízkofrekvenčního spektra. Kmitočet výstupního signálu se mění od 15 Hz do 20 kHz plynule a periodicky, a to asi třikrát za vteřinu.

Vraťme se však ještě k schématu. Pro dobrou činnost kmitočtového modulátoru je nutné, aby kmitočet pevného oscilátoru byl stabilní. Proto je řízen krystalem. Ze známých zapojení bylo by též možné použít Clappova oscilátoru, který se vyznačuje dobrou stabilností. Proměnný oscilátor pracuje v Hartleyově zapojení a jeho kmitočet lze nastavit jádrem cívky L_3 a doladovacím kondenzátorem C_{12} na stejnou hodnotu, jakou má pevný oscilátor; tím se dosáhne nulových záznějí, takže na výstupu není nízkofrekvenční napětí. Vlastní kmitočet proměnného oscilátoru se dále mění pomocí reaktanční elektronky připojené paralelně ke kmitavému obvodu, přičemž působí jako proměnná indukčnost. Její hodnota se mění přiváděním proměnného napětí na řídicí mřížku.

Střídavé vysokofrekvenční napětí z proměnného oscilátoru se převádí kapacitní vazbou do pevného oscilátoru, jehož elektronka má zároveň funkci směšovače. Vazba však smí být jen velmi slabá, má-li se zabránit strhávání kmitočtu proměnného oscilátoru kmitočtem pevného oscilátoru. Při příliš silné vazbě se při málo rozdílných kmitočtech obou oscilátorů strhává jeden kmitočet druhým, takže na výstupu katodového sledovače dostáváme nulovou záznějí. To je pochopitelné, protože oba oscilátory pracují v tomto nežádaném případě na stejném kmitočtu, takže rozdíl

je nulový. Náchylnost ke strhávání vzniká při rozdílu 100 Hz a méně. Proto je kapacitní vazba tvořena jen malým kouskem drátu jdoucím z třetí mřížky směšovací elektronky směrem ke kmitavému obvodu proměnného oscilátoru. Kondenzátor C_{18}, zakreslený ve schématu, má symbolický význam a představuje tedy tuto velmi slabou vazbu.

Po smíšení se vzniklé nízkofrekvenční napětí zesiluje elektronkou 6C4 a přivádí na katodový sledovač, který pracuje jako impedanční transformátor, což je pro naše účely jen vítané.

Víme již, že jako časové základny používáme doutnavkového generátoru pilovitých kmitů, avšak napětí získané z tohoto generátoru potřebujeme nejen pro vodorovné vychylování, ale řídíme jím i proměnný oscilátor. Změny kmitočtu proměnného oscilátoru dosahujeme tím, že přivádíme na mřížku reaktanční elektronky proměnné předpětí, čímž se mění její strmost. Vzhledem k tomu, že elektronka pracuje jako proměnná indukčnost, mění se i rezonance kmitavého obvodu, jehož je součástí, a tím výsledný kmitočet celého oscilátoru. Pilovité napětí přivádíme na mřížku reaktanční elektronky přes vysokofrekvenční oddělovací tlumivku L_3 a odebíráme je z běžce potenciometru R_{15}, jímž zároveň nastavujeme kmitočtový zdvih. To znamená, že změnou polohy běžce měníme amplitudu přiváděného pilovitého napětí a tím i rozsah tónového spektra na výstupu přístroje.

Kmitočtového modulátoru můžeme též používat jako tónového generátoru pracujícího na libovolném kmitočtu v oblasti nf kmitočtů. Pomocí třípolohového přepínače můžeme po přepnutí (do polohy označené na schématu číslicí 2) zavést na mřížku reaktanční elektronky pevné předpětí, jehož hodnotu volíme pomocí další dvojice potenciometrů, a to R_{17} a R_{18}. Potenciometr R_{17} se nastavuje jednou provždy tak, že při úplně vytočeném potenciometru R_{18} musíme na výstupu obdržet žádaný mezní kmitočet, tj. v našem případě 20 kHz. Otáčením běžce R_{18} pak měníme kmitočet směrem dolů. Každé poloze běžce odpovídá jiný kmitočet. Z toho vyplývá, že běžec lze posléze ocejchovat přímo v kilohertzech.

Při cejchování postupujeme tak, že nejprve zapneme přístroj a přepneme přepínač do polohy 3. Vyčkáme několik minut, až se součásti přístroje ohřejí (čímž se zajišťujeme proti posunu kmitočtu modulátoru způsobenému teplotní závislostí součástí kmitavého obvodu) a doladovacím kondenzátorem C_{12} naladíme proměnný oscilátor na stejný kmitočet, jako má pevný oscilátor řízený krystalem. Shoda obou kmitočtů se projeví nulovými záznějemi na stínítku oscilografu. Pak přepneme do polohy 2 a zatímco je běžec potenciometru R_{18} úplně vytočen, nastavíme potenciometr R_{17} tak, že na výstupu kmitočtového modulátoru dostaneme nízkofrekvenční signál s kmitočtem 20 kHz. O tom, jaký kmitočet na výstupu modulátoru dostáváme, či zda jsme dosáhli požadované hranice 20 kHz, přesvědčíme se buď akusticky (přibližně), nebo srovnávací metodou. Srovnáváme pomocí cejchovaného tónového generátoru, jehož signál daného kmitočtu přivádíme rovněž do oscilografu. Signál z kmitočtového modulátoru a nízkofrekvenčního generátoru střídavě přepínáme a porovnáváme, až dosáhneme úplné shody.

Nastavením potenciometru R_{17} (do polohy odpovídající kmitočtu 20 kHz) přivádíme na mřížku reaktanční elektronky stejnosměrné předpětí, jehož výšku změříme elektronkovým voltmetrem a zaznamenáme. Při cejchování potenciometru R_{18} opakujeme tento postup několikrát, přičemž pochopitelně poloha potenciometru R_{17} zůstává beze změny a běžec R_{18} nastavujeme do různých poloh. Každému kmitočtu odpovídá jiná poloha a tím i jiné stejnosměrné předpětí, které opět zaznamenáváme.

Nyní přepneme přepínač do polohy 1 a ke svorkám M připneme oscilograf, jehož citlivost [V/mm] známe. Dále nařídíme běžec potenciometru R_{15} tak, že velikost amplitudy pilovitého napětí [V] je stejná, jako byla prve zjištěná a zaznamenaná velikost stejnosměrného předpětí při kmitočtu 20 kHz. Teprve po tomto zásahu lze kmitočtového modulátoru používat, přičemž je zajištěno, že vyrábí nízkofrekvenční spektrum kmitočtů od 20 Hz do 20 kHz.

Vodorovnou stupnici oscilografu lze cejchovat pro jednotlivé kmitočty podle zaznamenaných údajů. To proto, že poměr mezi předpětím příslušejícím určitému kmitočtu k předpětí od kmitočtu 20 kHz se rovná poměru odpovídajících vzdáleností obou kmitočtů od nulového bodu na vodorovné stupnici. Jak vypadá rozdělení kmitočtů zjištěné tímto způsobem (jednou pro vždy), vidíme na uvedeném oscilogramu, kde je názorně nakresleno pod sejmutým průběhem zkoušeného zesilovače.

II. STEREOFONIE

14. Několik slov úvodem

Nejlepší elektroakustické jednokanálové reprodukci chybí jako podstatný činitel prostorový vjem, třebaže i tak lze u věrné a technicky dokonalé nahrávky dosáhnout v největší míře estetického uspokojení. Jakékoli prostorové rozlišení (co do rozmístění nástrojů apod.) a orientace nejsou možné, i kdyby se používalo několika reproduktorů a třeba i „pseudostereofonních" efektů.

Pro posluchače je tedy vždy zřejmý sekundární zdroj akustických signálů (tj. reproduktorová soustava). Proto je jasné, že náročnému posluchači nemůže jednokanálová reprodukce postačit, neboť chybí prostorový vjem. Proto vývoj v elektroakustické reprodukci šel tím směrem, aby zajistil přenos zvukových signálů i s místem jejich vzniku. Tak byl dán základ stereofonii — prostorovému záznamu, přenosu a reprodukci akustických signálů.

Jak tedy vypadá stereofonní reprodukce? Při jednokanálové reprodukci vycházejí akustické signály z jednoho zdroje, kdežto při stereofonní reprodukci vycházejí akustické signály ze dvou navzájem vzdálených zdrojů. Je nutno ještě zdůraznit, že signály vycházející ze dvou (popř. několika) zdrojů nejsou totožné, tzn., že se od sebe poněkud liší. Stereofonie tedy využívá nejméně dvoukanálového přenosového systému (nejčastěji) a plní tím rozhodující podmínky pro vznik prostorového vjemu. Zvukové signály nepřicházejí k sluchu ve stejný okamžik a se stejnou intenzitou a právě těmito vlastnostmi stereofonního přenosu, jako je různost intenzity, barvy zvuku a času, je umožněno lokalizování místa zdroje akustického signálu — neboli orientované slyšení.

K prostorové reprodukci není třeba mnoho. Především dvoukanálové snímací zařízení (tj. jakostní gramofon se stereofonní přenoskou) a zatím jen gramofonová deska se stereofonním záznamem. A pak při poslechu lze si ověřit vlastnosti stereofonní reprodukce. Není slyšet již setřené a tratící se nástroje v hluku ostatních, ale naopak zvuk celého orchestru je přehledný ve své celé šířce i hloubce. Při dobré stereofonní reprodukci poprvé uslyšíme tóny přicházející z místa svého vzniku tak, jako v koncertním sále. Ve srovnání s touto pravou stereofonií jsou způsoby reprodukce označované jako systémy 3D, 2D, 4R jen „pseudostereofonním efektem".

Vzhledem k složitějšímu a náročnějšímu zařízení jsou výrobní náklady pochopitelně vyšší než u jednokanálové reprodukce. Z tohoto důvodu je stereofonní přenos pomocí rozhlasu zatím značným problémem. Daleko jednodušší je to u magnetofonu a gramofonu, o čemž však bude podrobněji pojednáno v dalších statích.

Závěrem je třeba dodat, že stereofonie je skutečným technickým pokrokem, který může skýtat posluchači dosud nepoznaným způsobem dojem koncertních síní, a to v našich, mnohdy skrovných čtyřech stěnách. Doufejme proto, že v nejbližší době bude s ní v masovém měřítku seznámena i celá naše veřejnost.

15. Vlastnosti stereofonní reprodukce

Stereofonie je zatím poslední stupeň, ke kterému došel vývoj v oboru záznamu a reprodukce. V reprodukční technice představuje tedy skutečné „slyšení na obě uši" tím, že využívá dvou nebo více oddělených kanálů pro přenos zvukových signálů. Pod pojmem kanál se rozumí celé samostatné záznamové nebo reprodukční zařízení počínající zdrojem signálu (mikrofonem, přenoskou) a končící reproduktorem.

Z toho vyplývá, že již dvoukanálová technika umožňuje posluchači vnímat prostorově, tedy z možnosti určení místa zdroje akustického signálu získat lepší orientaci a přehled o zvukovém dění v orchestru. Dále pak bylo zjištěno v souvislosti s výzkumem a vývojem stereofonie, že lidský sluch se vyznačuje vlastnostmi, které umožňují:

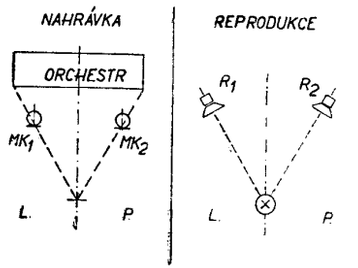
1. Zjistit rozdíl hlasitosti zvukových signálů u obou uší, přichází-li zvukový rozruch bočně od posluchače (tj. z levé nebo z pravé strany).
2. Zjistit přitom vznikající rozdíl v barvě zvuku.
3. Zjistit časový rozdíl vznikající tehdy, jestliže akustický signál (přicházející z levé či z pravé strany od posluchače) potřebuje o malý zlomek vteřiny déle, aby se dostal od jednoho ucha k druhému (fáze). Při zkouškách bylo též zjištěno, že uvedené vlastnosti jsou závislé i na kmitočtu. Ke všem uvedeným znakům se má pochopitelně přihlížet při konstrukci a stavbě stereofonních zařízení.

Neposlední vlastností sterofonní reprodukce je jakási „průzračnost" tónů hudebního pořadu. Abychom tento pojem blíže vysvětlili, uvedeme příklad: nahrajte si běžným magnetofonem rozmluvu většího počtu osob v jedné místnosti a reprodukujte ji. Zjistíte, že mluvené slovo je sotva srozumitelné, nebo vůbec ne. Je jen slyšet „páté přes deváté" — neladná směsice hlasů. Naproti tomu při stereofonní nahrávce je reprodukce daleko dokonalejší. Je možno bez námahy porozumět každému mluvícímu,

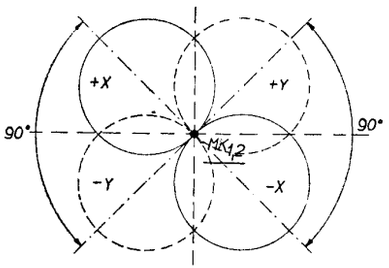
upoutáme-li na něj svou pozornost. A to je právě ta „průzračnost", vlastnost stereofonního podání, o níž se tak často hovoří.

16. Nahrávací postup

Klasický způsob (AB), kterým byly získávány první stereofonní nahrávky, je naznačen na obr. 49. Je zde použito dvou mikrofonů obvykle s ledvinovitou prostorovou charakteristikou, umístěných od sebe navzájem v určité vzdálenosti. Vzdálenost mikrofonů bývá obvykle 2,5 m podobně jako vzdálenost odpovídajících vyzařovacích jednotek. Touto technikou, které používají někteří význační výrobci gramofonových desek lze dosáhnout vynikajících výsledků.



Obr. 49. Klasický způsob stereofonní nahrávky AB s dvěma mikrofony. Vpravo je způsob reprodukce.



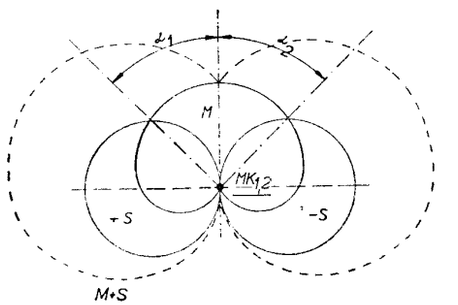
Obr. 50. Novější způsob nahrávky XY s dvěma mikrofony s osmičkovou charakteristikou, umístěnými na jednom stojanu.

V předešlém oddíle jsme uvedli vlastnosti lidského sluchu, který při stereofonní reprodukci odhaluje rozdíly v amplitudě, barvě a fázi slyšeného signálu, a tak dává vznik prostorovému slyšení. Praxe však ukázala, že při nahrávkách není (zvláště v některých případech) nutné dodržet všechny podmínky pro vznik těchto tří rozdílných znaků. A skutečně některé nahrávky dokazují, že lze do jisté míry dosáhnout prostorového vjemu, omezíme-li se jen na rozdíly v amplitudě (tzv. intenzitní sterofonie). V tomto případě se používá dvou mikrofonů umístěných na jednom stojanu, a to přímo v ose hudebního tělesa. Na stojanu se umisťují mikrofony v různých sestavách.

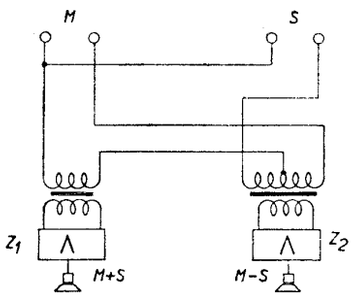
Používá se např. dvou mikrofonů umístěných těsně nad sebou, které mají obvykle osmičkovou anebo i ledvinovitou prostorovou charakteristiku. Oba mikrofony jsou natočeny tak, že jejich osy navzájem svírají úhel 90°

— viz obr. 50. Informace X a Y se snímají každá zvlášť, nebo po elektrickém součtu či rozdílu. Při snímání součtu je splněn požadavek slučitelnosti a výsledný signál lze reprodukovat i jednokanálově. Jednotlivé složky sejmuté nezávisle na sobě (X, Y) dávají již vznik stereofonnímu signálu. Tato sestava se obvykle označuje zkratkou XY.

Jiná sestava záleží v použití dvou mikrofonů, umístěných opět na jednom stojanu před orchestrem. Jeden má charakteristiku osmičkovou, druhý ledvinovitou. První mikrofon má tedy největší citlivost pro akustické signály přicházející z boku, druhý pak ze středu orchestru a částečně i ze stran — viz obr. 51. Tento způsob bývá označován zkratkou MS (middleside sound's way). Pro jednokanálovou reprodukci se použije signálu základního mikrofonu s ledvinovitou charakteristikou. Chceme-li dostat dvoukanálovou reprodukci, musíme oba signály sloučit způsobem vyznačeným na obr. 52. Přichází-li tedy zvuk z prostoru daného úhlem α_1, dostává levý kanál součet M + S, pravý M — S, při reprodukci slyšíme zvuk zleva. Přichází-li zvuk z prostoru úhlu α_2, je v levém kanálu součet M + (—S) = M — S, tj. rozdíl, a v pravém kanálu rozdíl M — (—S) = M + S, tj. součet, a při reprodukci slyšíme zvuk zprava. Po sloučení dostáváme směrovou charakteristiku, která je na obr. 52 vyznačena čárkovaně.



Obr. 51. Jiný způsob nahrávky (MS) opět s dvěma mikrofony na jednom stojanu. Oba však mají rozdílnou charakteristiku. Jeden má osmičkovou (S), druhý ledvinovitou (M).

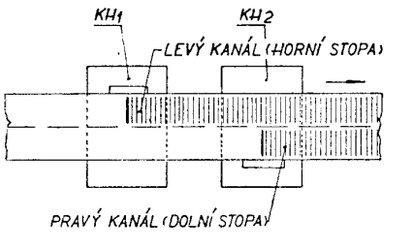


Obr. 52. Způsob přenosu signálů sejmutých oběma mikrofony při nahrávacím způsobu MS a jejich rozklad na signál levého a pravého kanálu.

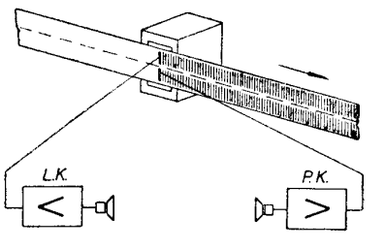
Nutno mít na zřeteli, že právě popsaný způsob přenosu (intenzitní stereofonie) je jen určitou náhražkou pravého stereofonního přenosu s dvěma oddělenými mikrofony. (Způsob AB.)

17. Záznamové cesty

Hudební a jiné pořady, snímané několikakanálově, zaznamenávají se buď na magnetofonový pásek, nebo na gramofonovou desku. V prvém případě se zaznamenává signál jednoho kanálu na horní polovinu pásku, na dolní polovinu pak signál druhého kanálu. Při této úpravě (starší,



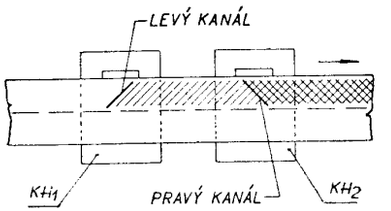
Obr. 53. Starší způsob stereofonního záznamu na magnetofonový pásek dvěma půlstopými hlavami.



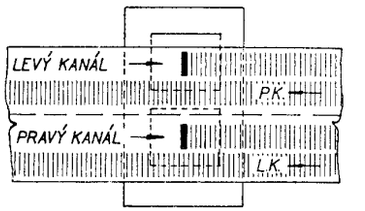
Obr. 54. Novější způsob záznamu dvoudílnou nahrávací hlavou.

dnes již nepoužívaný způsob) se používalo dvou na sobě nezávislých nahrávacích hlav, které byly umístěny co nejblíže za sebou — tak, jak ukazuje obr. 53. Mazací hlava byla jen jedna a byla společná pro obě poloviny záznamu. V novější a modernější úpravě se používá jedné kombinované soupravy, kde obě nahrávací hlavy jsou umístěny nad sebou, a každá slouží pro jednostopý záznam levého nebo pravého kanálu (obr. 54). V obou uvedených případech se využívá skoro celé šířky pásku pro záznam. Ve snaze využít pásku na dvakrát — pro dvoustopý záznam, byly vyvinuty různé způsoby. Jeden způsob je znázorněn na obr. 55. Zde jsou oba kanály zaznamenávány jeden přes druhý, a to tak, že záznamové štěrbiny obou hlav stojí na sebe kolmo a jsou odkloněny od směru daného pohybem pásku o 45°. Tento způsob záznamu má však řadu závažných nevýhod (hlavně vzájemné ovlivňování záznamů při nahrávání), pro které se ho již nepoužívá. Další způsob dvoukanálového záznamu záleží v rozdělení šířky pásku na čtyři stopy (obr. 56). Pak se používá pro jeden směr pohybu pásku první a třetí stopy, pro druhý směr druhé a čtvrté stopy. Vzhledem k malé šířce stopy musí být použito kvalitního záznamového materiálu, aby byl vyhovující výsledný poměr signálu k šumu. Tento způsob záznamu je již normalizován. Žádný z obou uvedených způsobů nesplňuje však

požadavek slučitelnosti*), a nelze tedy takto nahraný záznam reprodukovat na běžném jednokanálovém magnetofonu. Slučitelnosti se dosáhne bohužel jen při prvně jmenovaném způsobu při přehrávce na jednostopém magnetofonu, kde ovšem kolmost štěrbiny (k směru pohybu pásku) obou nahrávačů musí co nejvíce souhlasit. U způsobu s rozdělením pásku na čtyři stopy podle obr. 56 by se mohlo dosáhnout slučitelnosti tehdy, kdyby se



Obr. 55. Stereofonní záznam do jedné stopy magnetofonového pásku s hlavami odkloněnými o 45° od směru pohybu pásku.

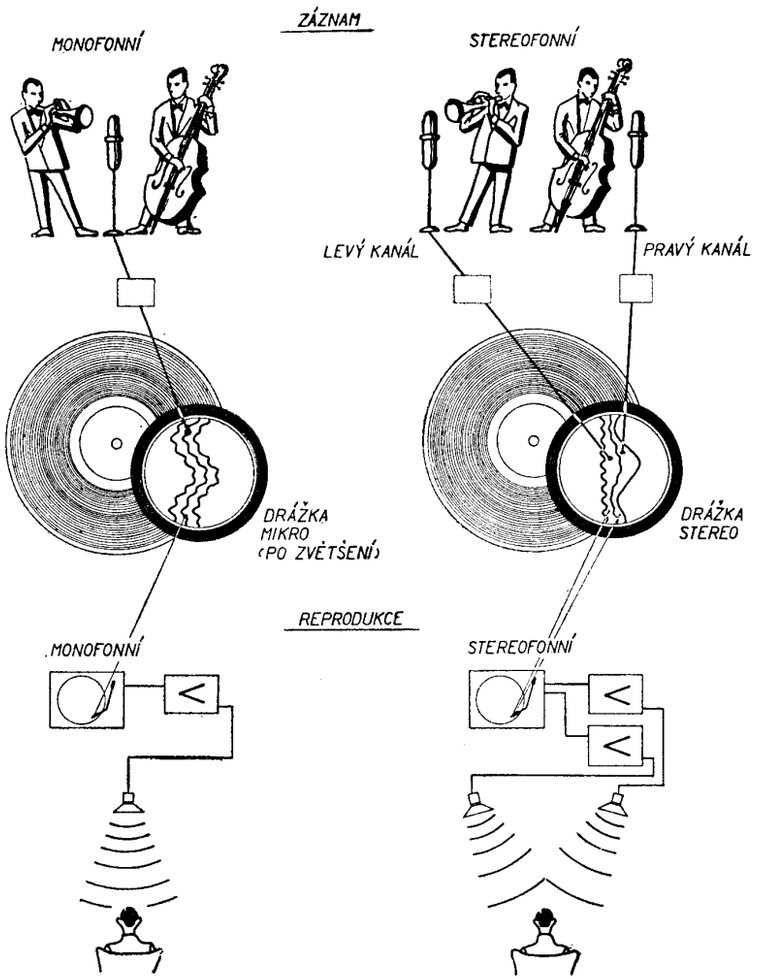


Obr. 56. Čtyřstopý stereofonní záznam na magnetofonový pásek, přičemž se pásku využívá pro dvojí záznam (vpřed i vzad).

pro záznam levého a pravého kanálu používalo první a druhé stopy pro jeden směr, pro druhý směr pak stopy třetí a čtvrté. To však není možné se zřetelem na konstrukční provedení hlav.

Tolik tedy ve stručnosti o magnetofonu. Populárnější a hospodárnější je vždy gramofonová deska. Musíme však zdůraznit, že bylo těžkou úlohou přizpůsobit tuto desku pro stereofonní reprodukci a neztratit přitom její výhodné vlastnosti. Tak např. provoz s rozdělenou drážkou zanikl, neboť bylo třeba dvou snímačů — přenoskových systémů — nehledě na to, že doba nahrávky se zkrátila na polovinu. Dalším důvodem byl fázový nesouhlas signálů, vzniklý nepřesným vedením přenosek. Muselo se tedy uvažovat jen takové zařízení, které by zaznamenávalo informace obou kanálů do jedné drážky a které bylo konečně technickými pracovníky vyvinuto. K tomuto dvousložkovému zápisu se používalo různých technik zápisu. Prvenství si však získal zápis zvaný „technika 45°“ (Westrex), který byl r. 1958 normalizován. Při tomto druhu nahrávací techniky jsou

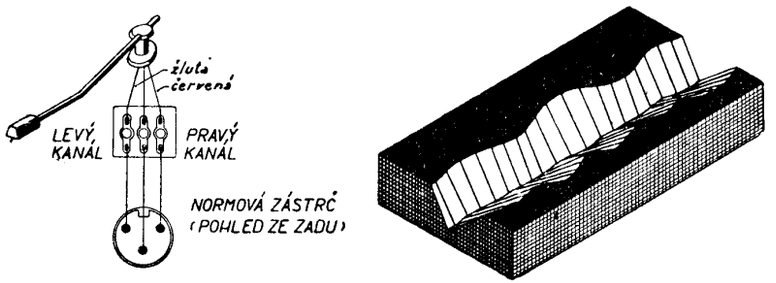
*) Při požadavku slučitelnosti jde v podstatě o to, aby sterofonní záznam na pásku nebo gramofonové desce mohl být reprodukován jednokanálově běžným způsobem, při čemž nemá nastat podstatné omezení jakosti jednoho nebo druhého způsobu. Tento požadavek se většinou řeší tak, že se při záznamu nebo vysílání nepoužívá pravého a levého kanálu samostatně, nýbrž z obou se vytvoří složky součtová a rozdílová. Součtová složka je určena pro jednokanálovou reprodukci. Obě složky — součtová a rozdílová — umožňují pak při dvoukanálové reprodukci opět získat signály levého a pravého kanálu.



Obr. 57. Princip stereofonního záznamu na gramofonovou desku a její reprodukce v protikladu k záznamu a reprodukci monofonní.

informace příslušející oběma kanálům zaznamenávány do jedné drážky, a to v úhlu 45° k ploše desky — tj. do stran drážky.

Pro snazší pochopení řekněme, že při dvoukanálové nahrávce nějakého hudebního nástroje je akustický signál přijatý levým mikrofonem nahrán do levé strany drážky, akustický signál z pravého mikrofonu do pravé strany drážky (obr. 57). Takto vzniklou drážku lze přirovnat k cestě vi-



Obr. 58. Na obrázku vlevo je zástrč s rozlišením obou kanálů, na pravém zvětšenina stereofonní drážky.

noucí se úvozem pahorkatou krajinou a trvale měnící svůj směr, šířku a výšku, což potvrzují i uvedené názorné zvětšeniny takové drážky. Při reprodukci sleduje záznam drážky hrot speciální přenosky (obr. 58), který pracuje do dvou snímacích systémů upravených tak, že nemohou na sebe navzájem působit. Tím by totiž docházelo k nežádaným přeslechům, které by značně narušily jakost stereofonní reprodukce, což je účelnou konstrukcí omezeno na minimum.

Stereofonní drážka je mnohem jemnější než drážka obyčejných desek. Proto má safírový hrot menší poloměr zakřivení, z čehož vyplývá i nutnost zmenšení váhy celé přenosky, aby nedocházelo k předčasnému opotřebení desek. Menší poloměr hrotu stereofonní přenosky vyplynul z nutnosti udržet tzv. „pinch-efekt" minimální, neboť způsobuje zkreslení snímaného stereofonního pořadu. Bližší v [74]. Hrot přenosky musí být upraven tak, aby mohl být veden v drážce 0,04 mm široké. Dále pak připomeňme, že hrot řezné jehly musí při záznamu tónu s kmitočtem 10 000 Hz dodržet přesnost $^{1}/_{20\,000}$ mm. Ostatně čísla vůbec dávají jasno o rozdílech mezi jednokanálovou a stereofonní reprodukcí. Při jednokanálové reprodukci je minimální šířka drážky $^{55}/_{1000}$ mm, poloměr zakřivení hrotu $^{25}/_{1000}$ mm a svislá síla působící na hrot přenosky asi 8 g. Při stereofonní reprodukci je rozměr drážky $^{40}/_{1000}$ mm, poloměr hrotu $^{15}/_{1000}$ mm a konečně síla působící na hrot 4 g.

Velmi často se vyskytuje otázka, jaké desky lze na jakém přístroji přehrávat. Odpověď je jednoduchá. Na stereofonním gramofonu lze přehrávat nejen stereofonní desky, nýbrž i desky dlouhohrající (45 a 33 ot/min). Naproti tomu na standardních gramofonech (78 ot/min) nemůžeme přehrávat stereofonní desky, nemá-li dojít k jejich úplnému zničení. Na gramofonech pro dlouhohrající desky (45 a 33 ot/min) lze přehrávat stereofonní desky jednokanálově jen za toho předpokladu, že se použije buď speciální jednokanálové přenosky se snímacím hrotem uloženým s dostatečně velkou poddajností ve svislém směru, anebo stereofonní přenosky s paralelně zapojenými systémy.

Gramofonová deska je nejlevnějším nositelem stereofonního záznamu. Proto se těší všude (kde ji lze běžně dostat) velké oblibě. Vzhledem k tomu, že v zahraničí jsou stereofonní desky průměrně jen o 30 % dražší proti dlouhohrajícím, lze očekávat, že ani u nás se nebude jejich cena příliš lišit od dnešních cen výrobků gramofonového průmyslu, a že tedy stereofonní zařízení i s gramofonovými deskami nebude žádným přepychem.

Posledním způsobem záznamu, o kterém se též musíme zmínit, je filmový pás. Tak zvaná „plastická" reprodukce, které se používá jako doprovodu širokoúhlých filmů, není nic jiného, než několikakanálová reprodukce. Nejrozšířenější je systém zvaný Cinemascope, což je v podstatě film provázený tříkanálovou reprodukcí. Vlastní zvukový pořad tří kanálů je obvykle zaznamenán magneticky do tří průběžných pruhů jdoucích rovnoběžně po okraji filmu, přičemž efektový signál (čtvrtý) je na pomocné stopě. Zvukový program je snímán třemi soupravami hlav (čtvrtá hlava snímá signál efektové stopy) a zesilován předzesilovači, jejichž pořadí musí být dodrženo, aby nebyla porušena synchronizace zvuku s promítaným dějem.

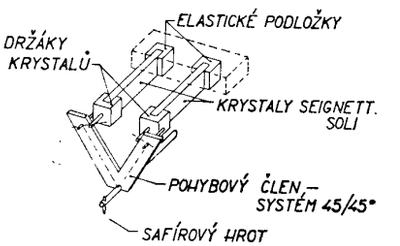
Rozšíření širokoúhlých filmů s „plastickým" ozvučením si vyžádalo vývoj a výrobu speciálního reprodukčního zařízení, které znamená v mnoha směrech zavedení úplně nové techniky u promítacích strojů v ozvučení sálu i ve vlastní technologii zápisu zvukového doprovodu. U nás se používá čtyřkanálové stereofonní reprodukční soupravy pro širokoúhlý film typu TESLA AKT 401. Tato souprava se skládá ze tří jednotek, z nichž první jednotku tvoří rám s předzesilovači, druhou rám s koncovými zesilovači a poslední 3 reproduktorové kombinace spolu s efektovými reproduktory (umístěnými v sále kina, kdežto kombinace jsou za projekčním plátnem). Čtyři předzesilovače jsou upraveny pro běžný magnetofonový záznam, ačkoli jednotka obsahuje i zesilovače pro dosud používaný optický záznam signálu.

Rozsah působnosti tří kanálů je jistě jasný. Dva jsou pro boční části promítacího plátna (tzn. že zásobují zvukovými signály levou a pravou stranu), třetí je určen pro střední část. Novinkou je čtvrtý efektový kanál, který podle promítaného děje dodává energii pro reproduktory umístěné

porůznu v sále a je ovládán spouštěcí jednotkou. Zvukové efekty, které jsou vyzařovány reproduktory třeba i za zády diváka, velmi přispívají k dosažení bezprostředního dojmu. Uvedená soustava je konstruována tak, že spouštěcí obvod pracuje buď podle západoevropské normy, kde povelový signál 12 kHz zapíná efektové zesilovače, nebo při reprodukci sovětských cinemaskopických filmů je povelový signál zaznamenán na film tehdy, nejsou-li efektové zesilovače v činnosti. Řízení hlasitosti je buď samostatné, nebo společné, Pro popsané zařízení je vhodný promítací přístroj Meopton III A s magnetofonovým budičem pro čtyřkanálový provoz.

18. Přenoska

Gramofonové přenosky, určené ke snímání záznamu ze stereofonních desek, musí být konstruovány tak, aby byly s to při přehrávce přeměnit výsledný pohyb hrotu v elektrické signály, odpovídající signálům obou kanálů. Je tedy třeba pohyb hrotu rozložit ve dvě složky tak, aby každá odpovídala složce původně nahrané. Tento rozklad lze uskutečnit elektrickou nebo mechanickou cestou, při čemž nejtěžším problémem je dosažení minimálních přeslechů (vzájemného ovlivňování kanálů). Jako přípustná hodnota přeslechů ve středu přenášeného kmitočtového pásma se udává 20 až 25 dB.

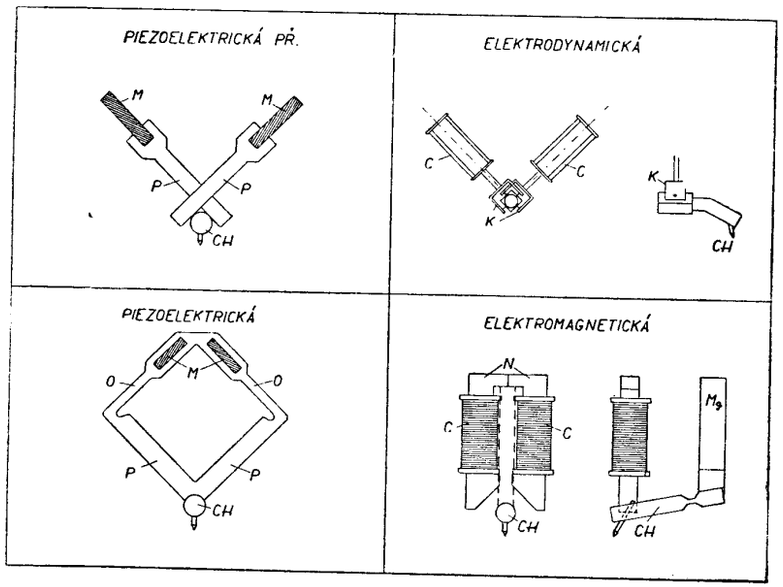


Obr. 59. Starší způsob provedení stereofonní přenosky.

Přenoska může pracovat podle známých principů. Používá se přenosek elektrodynamických, elektromagnetických, magnetodynamických, ale nejčastěji piezoelektrických. Systém přenosky je ovšem poněkud složitější než u jednokanálové, protože je vlastně dvojitý (obr. 59). Při konstrukci přenosky je nutno zajistit, aby oba systémy pracovaly za stejných podmínek, měly stejnou kmitočtovou charakteristiku a citlivost.

Přenosky používané k reprodukci stereofonního záznamu mají, jak bylo již uvedeno, jen jeden snímací hrot. Jeho pohyby se přenášejí na dva samostatné systémy, ve kterých vzniká střídavé elektrické napětí; každý systém odpovídá jednomu kanálu. Přenoska musí sledovat drážku jak do stran, tak i ve svislém směru a musí dobře oddělovat pohybové složky obou kanálů. Na obr. 60 jsou schematické nákresy přenoskových systémů, na obr. 61 jsou snímky některých zahraničních stereofonních přenosek.

Vzhledem k tomu, že přenoska snímá i svislou složku, což je dáno samotným principem stereofonního záznamu a reprodukce, je třeba při řešení pohonného mechanismu věnovat dostatečnou pozornost, aby se odstranilo chvění talíře a motoru. Požadavek slučitelnosti s jednokanálovým záznamem je splněn, neboť sterofonní přenoskou lze přehrávat i běžné dlouhohrající desky s jedním záznamem.

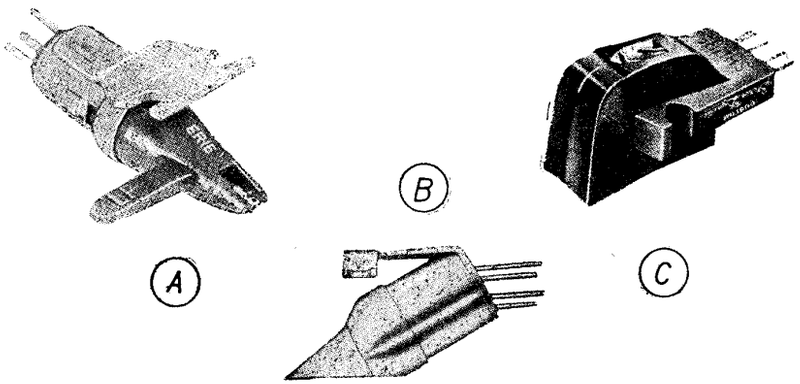


Obr. 60. Schematické nákresy různých druhů stereofonních přenosek (M měniče, P převodové prvky, O ohybová ramena, Mg magnet, C cívky měničů, N pólové nástavce, Ch chvějka, K kardanův kloub).

19. Vyvážení kanálů

Nejjednodušší způsob, který umožňuje reprodukovat stereofonní pořad z magnetofonového pásku nebo z gramofonové desky, lze uskutečnit použitím dvou shodných zesilovačů včetně reproduktorů a jejich vzájemného propojení. Přitom je samozřejmé, že zesilovače pro reprodukci stereofonního pořadu musí vyhovovat nárokům kladeným na jakost a věrnost. Poněvadž každý zesilovač představuje pak jeden kanál, musí mít i oba

zesilovače stejné zesílení a stejné kmitočtové a fázové charakteristiky. Kdyby tomu tak nebylo, pak by výsledná reprodukce zdaleka neodpovídala nahrávce. V praxi se však setkáváme i při použití stejných zesilovačů s tím, že zesílení obou kanálů není vždy stejné. Z tohoto důvodu a protože je nutné řízení hlasitosti jedním regulátorem, vřazuje se před oba zesilovače samostatná jednotka k vyvážení obou kanálů. Blokové schéma zapojení je

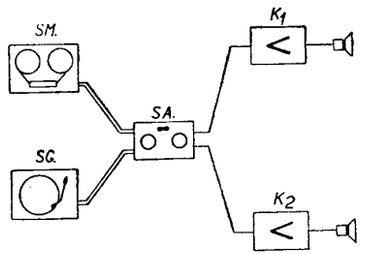


Obr. 61. Ukázky provedení stereofonních přenosek zahraničního původu. A piezokeramická přenoska Erie s kmitočtovým průběhem 20 až 16 000 Hz. B magnetická přenoska Dynaco s kmitočtovým průběhem jdoucím do 15 000 Hz. C magnetická přenoska Custom-Dynetic, M7D; kmitočtový rozsah 20 až 15 000 Hz.

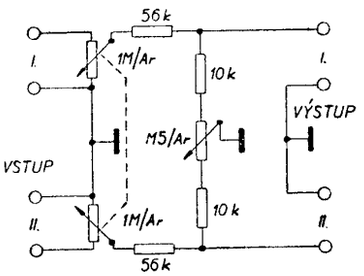
na obr. 62. Tato jednotka se skládá z dvou potenciometrů a několika odporů (obr. 63). První potenciometr je dvojitý (dva spřažené v tandemu) a slouží k řízení hlasitosti „jedním knoflíkem". Druhým potenciometrem pak lze vyrovnávat rozdíly v zesílení obou kanálů, které nemají být větší než 2 dB. Je pochopitelné, že regulátory hlasitosti obou zesilovačů jsou při provozu nastaveny na maximum a hlasitost se tedy řídí jen jedním tandemovým potenciometrem. Aby bylo dosaženo shody v zesílení obou kanálů při jakékoli poloze tandemového regulátoru, mají oba potenciometry, které jej tvoří, lineární průběh. To proto, že lze těžko výrobně zajistit shodný průběh dvou potenciometrů logaritmických.

Někdy bývá u dokonalejších zařízení tandemový regulátor, jehož potenciometry jsou opatřeny odbočkami. K nim se připojují paralelně pevné odpory s kondenzátory, čímž se dosáhne přibližně logaritmického průběhu s požadovaným souběhem (viz stať fyziologický regulátor). Někdy se setkáme v jednotce s vyvažovacím členem, který je rovněž tvořen tandemovým regu-

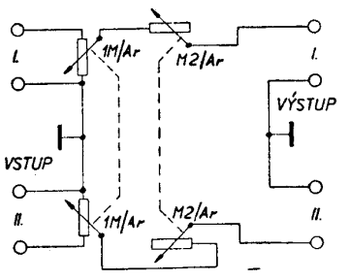
látorem (obr. 64). Na rozdíl od regulátoru, jímž řídíme zesílení, jsou zde potenciometry zapojeny proti sobě. To znamená, že při otáčení běžců se hodnota jednoho potenciometru zvětšuje, kdežto druhá se zmenšuje a opačně. První případ je však běžnější, neboť je výrobně lacinější, protože nevyžaduje dvojitý regulátor.



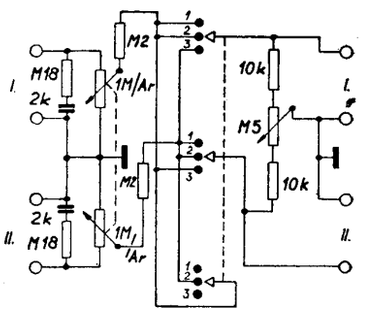
Obr. 62. Skupinové zapojení znázorňující nejjednodušší způsob uskutečnění stereofonní reprodukce pomocí dvou shodných zesilovačů a řídicí a vyvažovací jednotky (SA) s přepínačem pro provoz stereofonního magnetofonu nebo gramofonu.



Obr. 63. Zapojení jednoduché stereofonní vyvažovací a řídicí jednotky.



Obr. 64. Jiné zapojení jednotky s tandemovými potenciometry.

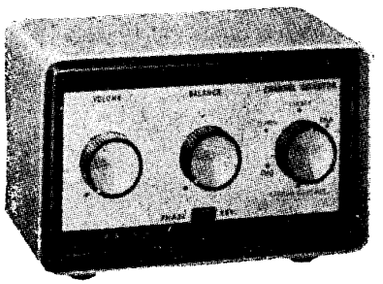


Obr. 65. Zapojení sterofonní jednotky umožňující přepínání z monofonní reprodukce na stereofonní a opačně. Navíc je ještě možné v poloze 3 přepínače zaměnit oba stereofonní kanály mezi sebou.

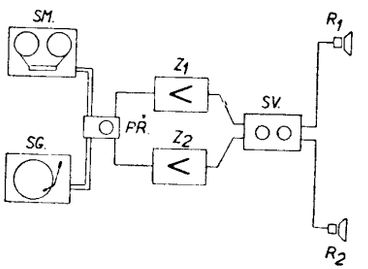
S oběma typy vyvažovacích členů se setkáme nejen v těchto přídavných jednotkách (které se těší v zahraničí velké oblibě pro snadno dosažitelnou

adaptaci reprodukčního sterofonního zařízení ze dvou stejných zesilovačů), ale i v komerčních stereofonních zesilovačích.

Uvedli jsme zatím jen dva základní typy těchto jednotek. Existuje jich však větší počet a liší se od sebe jen více méně složitým přepínáním na monofonní reprodukci z reprodukce stereofonní a opačně, dále možností prohození stereofonních kanálů mezi sebou, možností přehrávat jenom jeden kanál



Obr. 66. Zahraniční provedení stereofonní jednotky podle schématu na obr. 65.

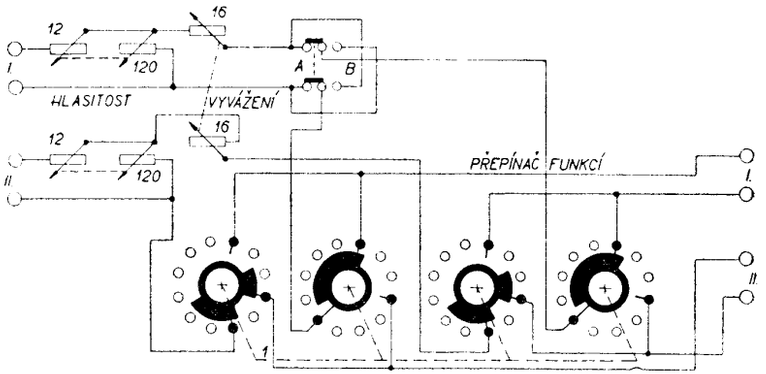


Obr. 67. Skupinové schéma stereofonní jednotky zařazené mezi výstupy obou kanálů a jejich reproduktory.

— levý nebo pravý apod. Jeden takový typ je nakreslen na obr. 65, skutečné provedení je pak na obr. 66. Kromě regulátorů je opatřen ještě třípolohovým přepínačem. Zapojení je kresleno v poloze odpovídající monofonní reprodukci. V poloze I volí posluchač stereofonní reprodukci, v poloze III rovněž, avšak kanály jsou vzájemně zaměněny. K vstupním koncovkám adaptoru jsou paralelně připojeny členy vhodně upravující kmitočtový průběh.

Jiné adaptory bývají zase spojeny dokonce s dvouelektronkovými nebo několikaelektronkovými předzesilovači, opatřenými navíc nezávislou regulací hloubek a výšek pro oba kanály, ovládanou též tandemovými regulátory.

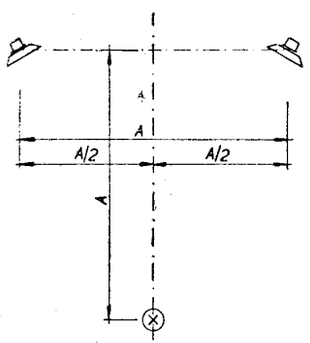
Někdy se však setkáme s jednotkou, která se zařazuje až za zesilovače před reproduktory, což je naznačeno na blokovém schématu na obr. 67. Tato jednotka je v principu stejná jako jednotky, které jsme již uvedli. Protože se tato jednotka připojuje k výstupu zesilovačů, jejichž výstupní impedance je podstatně menší, jsou i hodnoty regulátoru jiné než v popsaných případech. Pro úplnost ukážeme i schéma takové jednotky s šestipolohovým čtyřpólovým přepínačem (obr. 68). Je kreslen v poloze „stereo" a jeho jednotlivé polohy značí: 1 stereo, 2 kanál A, 3 A-mono, 4 stereo se vzájemně zaměněnými kanály, 5 kanál B, 6 B-mono.



Obr. 68. Zapojení jednotky určené pro zařazení do okruhu reproduktorů.

20. Některé zásady pro uskutečnění prostorového vjemu při stereofonní reprodukci

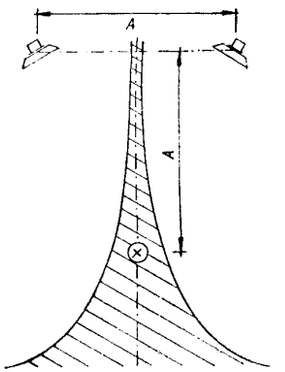
Při stereofonním předvádění hudebních pořadů v hudebních sálech apod. bývá z řad posluchačů často kladena otázka, zda lze realizovat stereofonní reprodukci i v obývacích místnostech. Je samozřejmé, že tato otázka byla jednou z prvních, na kterou museli umět odpovědět technici a vývojaři již při samých začátcích tohoto nového způsobu reprodukce. Teprve její zvládnutí dalo v zahraničí podnět i k dalším pracím a k seznámení veřejnosti s výhodami a přednostmi stereofonie. Dnes lze již odpovědně říci, že lze uskutečnit dobrou stereofonní reprodukci v každé domácnosti. Pochopitelně je třeba dodržovat určité zásady, které vyplynuly ze zkušeností a které dříve u monofonní reprodukce neměly význam.



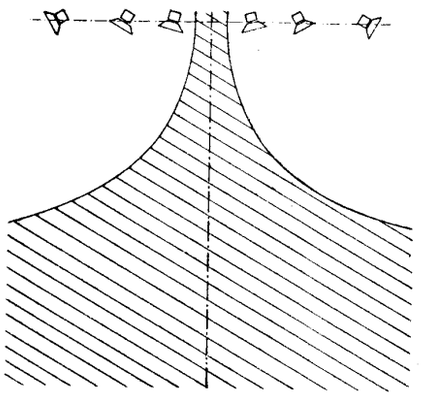
Obr. 69. Vyjádření zásady pro uskutečnění prostorového vjemu při reprodukci: vzájemná vzdálenost reproduktorů od sebe se má rovnat vzdálenosti posluchače od jejich spojnice.

Řekneme si nyní něco o některých nejdůležitějších zásadách a uvedeme dále pokyny pro dosažení dobré stereofonní reprodukce.

Tak především je velmi důležitá správná vzdálenost posluchače od reproduktorů a rozmístění reproduktorů. Vzájemnou vzdálenost reproduktorů (obyčejně dvou) nazýváme šířkou základny stereofonního přednesu neboli bází. Šířka základny se má rovnat přibližně vzdálenosti posluchače od spojnice obou reproduktorů — tedy tak, jak je naznačeno na obr. 69, má-li se dosáhnout spolehlivého stereofonního vjemu. Přitom je důležité, aby posluchač seděl v ose kolmé na spojnici reproduktorů, tj. aby i jeho



Obr. 70. Půdorysné vyznačení pásma prostorového poslechu při stereofonní reprodukci a jeho optima (X).



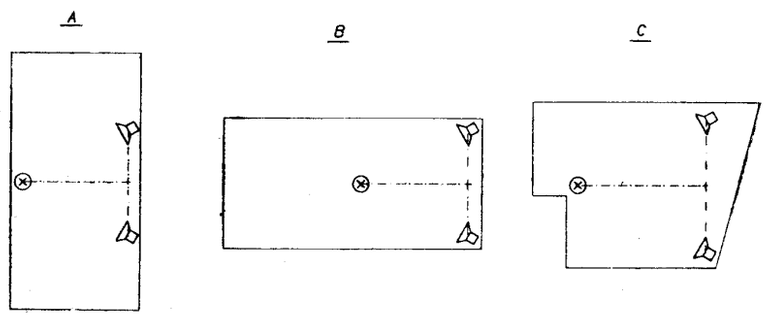
Obr. 71. Rozšířené pásmo prostorového poslechu, které získáme použitím několika reproduktorů.

vzdálenost od obou reproduktorů byla stejná. Podél této osy je totiž nejlepší pásmo (plocha) poslechu (obr. 70). Optimum poslechu je v bodě označeném křížkem. Pouze dva reproduktory poskytují pásmo dobrého poslechu poměrně úzké. Jeho rozšíření lze získat, jak uvádějí někteří výrobci, použitím několika reproduktorů, tak jak je naznačeno na obr. 71. V amatérské praxi se však dává přednost jen dvěma zářičům přes uvedenou nevýhodu (úzké pásmo poslechu), protože je to řešení méně nákladné a exaktnější. Vždy však platí podmínka, že má být dosaženo takového dojmu, jakoby posluchač seděl v koncertním sále. Z toho vyplývá, že je třeba využít co nejvíce prostoru místnosti, kterou máme k dispozici. Proto je nutné umístit reproduktory co nejdále od sebe; jejich vzdálenost však nemá převyšovat 2,5 m.

Z toho tedy vyplývá, že příliš nezáleží na velikosti místnosti. I v poměrně malých místnostech lze dosáhnout dobrého prostorového vjemu, jen když jsou splněny uvedené zásady. Je pochopitelné, že tam, kde vzdálenost re-

produktorů je malá (závisí na vnitřním zařízení apod.), je třeba umístit posluchače dostatečně blízko.

Naproti tomu mají velké místnosti tu výhodu, že se akustickými poměry přibližují nahrávacímu sálu, a tím dříve a lépe vzniká dojem koncertního sálu. Má zde též určitou úlohu hlasitost reprodukce, neboť čím více odpovídá hlasitosti původního signálu, tím je lepší výsledný dojem. Tomuto požadavku ovšem nelze vždy vyhovět, neboť kdybychom doma např. chtěli reprodukovat nahrávku mnohočlenného orchestru v stejné intenzitě, dostali bychom se určitě do konfliktu s nejbližšími sousedy. Zkušenosti však ukazují, že při subjektivně stejné hlasitosti stereofonního pořadu jako monofonního je rušení navenek poměrně malé. Jinými slovy: stereofonní reprodukci lze nařídit hlasitěji než monofonní při stejném pronikání ven. K tomuto bodu se však ještě vrátíme v oddíle o fyziologických podmínkách poslechu.

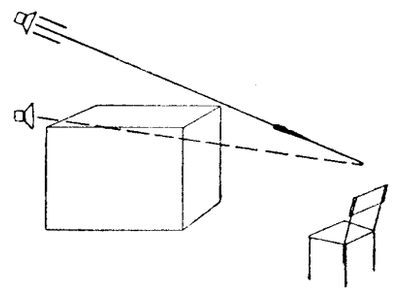


Obr. 72. Umístění reproduktorů a posluchačů v pokojích s různými půdorysy.

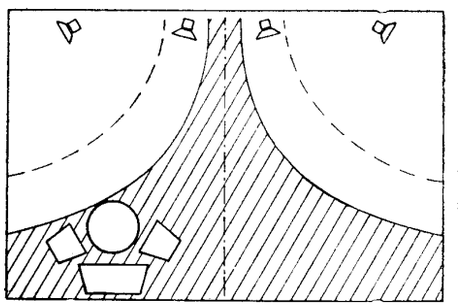
Je důležité zdůraznit, že i při tichém poslechu zůstává zachována možnost rozlišování (nástroje zleva a zprava), dojem prostorovosti je však menší.

Další otázka, která se mnohokrát vyskytne, je ta, zda má být půdorys místnosti čtvercový, obdélníkový, nebo zda může být i nepravidelný. Na ni dávají jasnou odpověď uvedená schémata rozmístění reproduktorů v místnostech s různými půdorysy (obr. 72). Umístění reproduktorů podle obrázku A je však dosti nevýhodné vzhledem k možnosti vzniku stojatých vln mezi blízkými rovnoběžnými stěnami. Případ na obr. C právě řeší místnost s nepravidelným půdorysem. Zde zdůrazňujeme, že je třeba umístit jeden reproduktor nikoli do vzdáleného rohu, ale dopředu tak, aby byly splněny zásady uvedené již na začátku tohoto oddílu.

Poslední zásadou, které musíme být pamětlivi, je rozmístění nábytku. Nábytek může totiž někdy představovat překážku přímého šíření středních a vysokých kmitočtů, jejichž důležitost pro vznik prostorového vjemu není třeba zdůrazňovat. Nikdy tedy nesmí žádný kus nábytku bránit tomu, aby akustické signály nemohly dojít k uchu posluchače přímo a nejkratší cestou, nemá-li dojít k porušení celého stereofonního vjemu. Jinak se musí buď nábytek přemístit, neb umístit oba reproduktory výše a do jedné spojnice (obr. 73). V praxi se však mnohdy stane, že skutečně není možné umístit posluchače do osy pokoje, tím spíše, je-li již v místnosti zařízen útulný kout s křesly a stolkem, jehož přemístění naráží často na neodstranitelné potíže. V tomto případě lze použít více reproduktorů, čímž se rozšíří pásmo stereofonního slyšení tak, až zasahuje náš poslechový kout (obr. 74). Malé nesouměrnosti pokoje vyrovnáme jemným natáčením reproduktorů z původního směru. Podobného vyrovnání dosáhneme též vyvážením zisku zesilovačů. Přitom je důležité vyzkoušet směr vyzařování a výkon jednotlivých reproduktorů tak, až dostaneme vhodný kompromis mezi šířkou základny a pásmem slyšení. Při tom platí, že čím více působí vnější reproduktory, tím užší je pásmo slyšení, ale tím větší šířka základny (tj. vzdálenost posluchače od spojnice zářičů). Nutno však pamatovat, že uvedená úprava je jen náhražka správného umístění vyzařovacích jednotek.

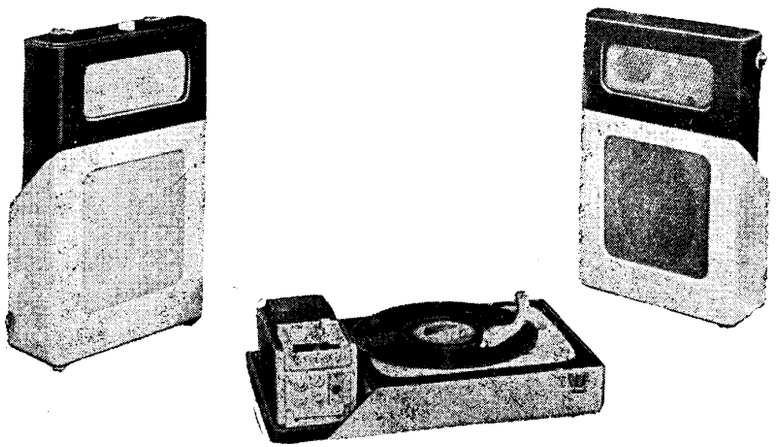


Obr. 73. Brání-li bytové zařízení v přímé a nejkratší cestě reprodukovanému pořadu k uchu posluchače, musí se reproduktor umístit do vhodnější polohy.

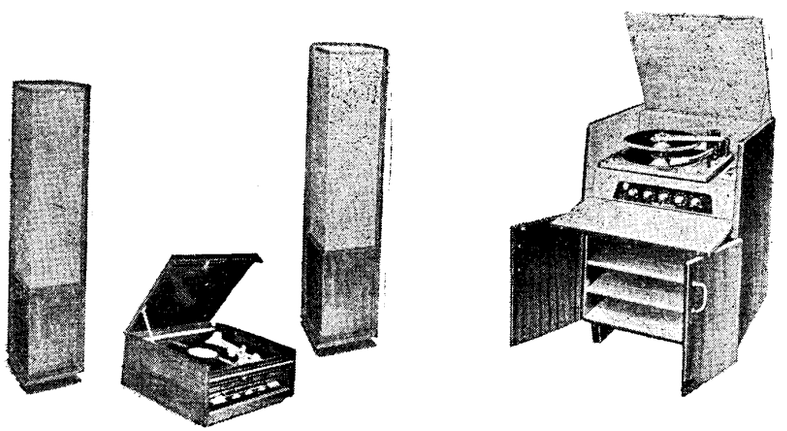


Obr. 74. Rozšíření pásma prostorového poslechu použitím více reproduktorů.

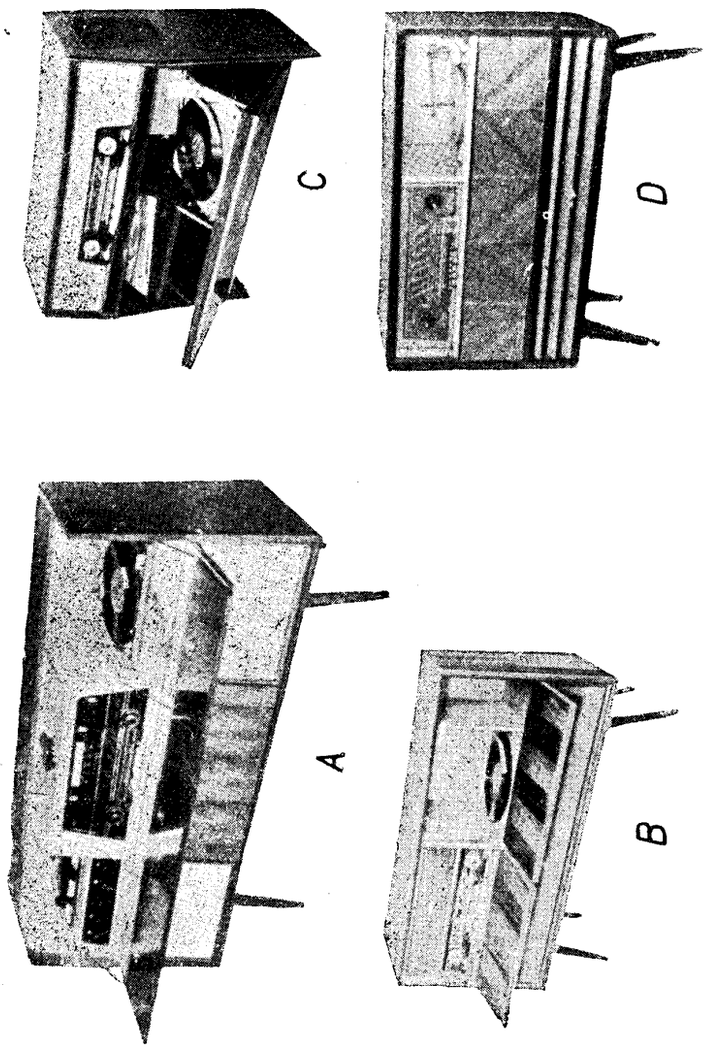
Při montáži reproduktorů je velmi prospěšné zabudovat je tak, aby byly neviditelné. Psychologický dojem prostorového vjemu se totiž stupňuje, nemá-li posluchač možnost vidět reproduktory. Je však důležité, aby



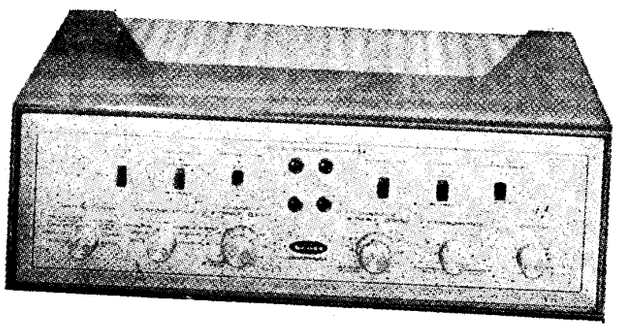
Obr. 75. Ukázka zahraničního přenosného gramofonu pro stereofonní reprodukci. Všimněme si, že boční reproduktorové skříně tvoří snadno složitelnou jednotku, což přispívá k usnadnění přepravy.

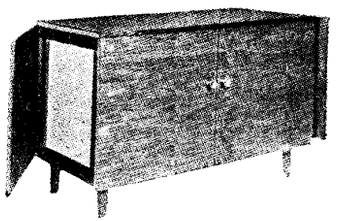


Obr. 76. Jiná ukázka stereofonních gramofonů. Vlevo výrobek fy Ducretet-Thomson s dvěma rohovými skříněmi, vpravo gramofon Philips AG 9160.



Obr. 77. Hudební skříně se stereofonní nízkofrekvenční částí: A — Philips F8X 92A, hudební skříň s přijímačem a stereofonním magnetofonem a měničem. B — Philips F7X 90A, hudební skříň s přijímačem a stereofonním gramofonem. C — Philips F6X 90A, hudební skříň s přijímačem a stereofonním gramofonem. D — L. M. T. Ballerina AM/FM, hudební skříň s přijímačem a stereofonním gramofonem.

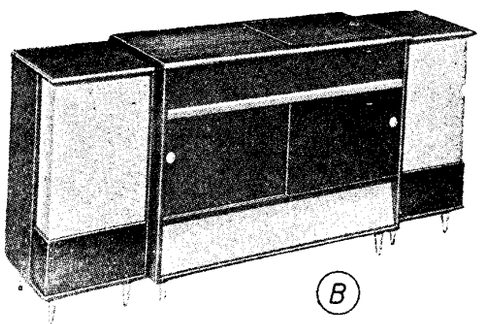




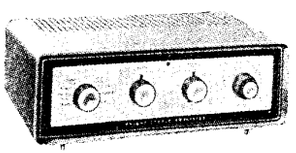
A

↑

Obr. 78. Stereofonní předzesilovač s možností vytvoření třetího doplňujícího kanálu; výrobek H. H. Scott 130.



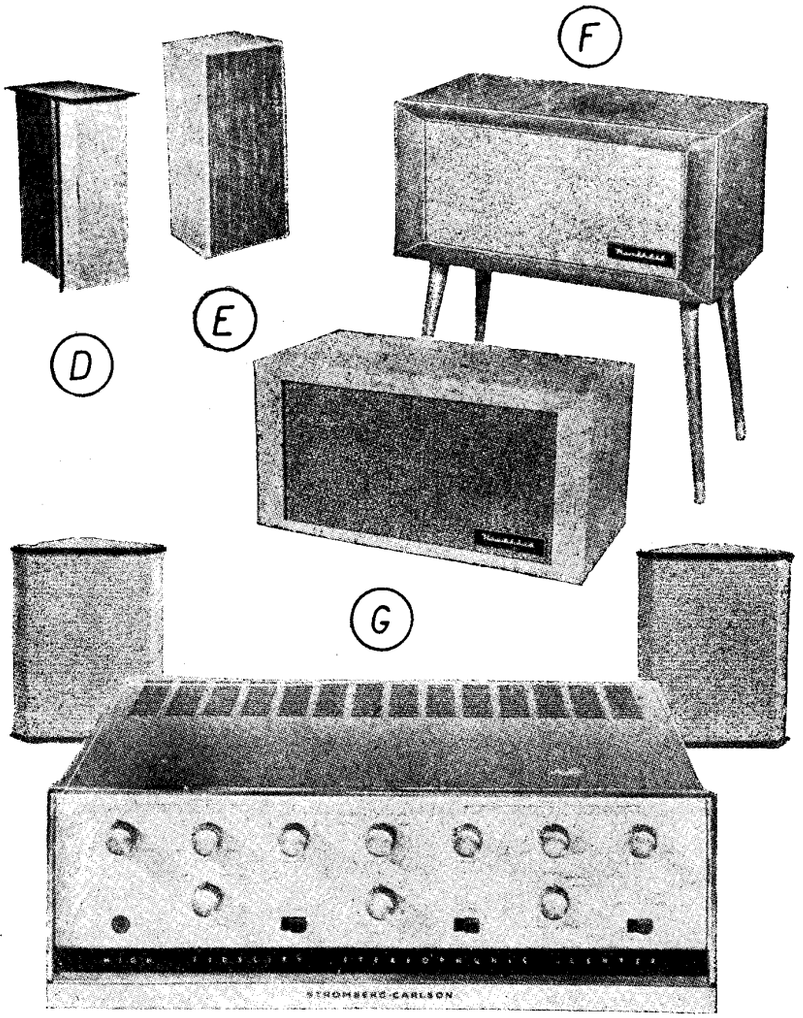
B



C

←

Obr. 79. A dvoudílná reproduktorová skříň Bozak. Dvířka na bocích se otvírají do úhlu 45°, čímž tvoří odrazový reflektor pro zvuk vycházející z bočních reproduktorových soustav. Lze je zajistit v poloze nejlépe vyhovující pro dosažení prostorového vjemu. B hudební skříň Heathkit, obsahující dvě boční reproduktorové soustavy fm/am, konvertor, stereofonní předzesilovač, zesilovač a gramofon. C 2 × 10 W zesilovač fy Allied Radio Knight-kit s kmitočtovým rozsahem 20 až 20 000 Hz ±1,5 dB.



Obr. 80. D skříňová ozvučnice Stereovox 2 s třemi reproduktory. E skříňová ozvučnice Catalina (Argos Comp.) s rozsahem 40 až 17 000 Hz ±3 dB. F stolní reproduktorová skříň (s odnímatelnými nožkami) Heathkit SS2 s dvěma reproduktory s kmitočtovým rozsahem 50 až 12 000 Hz. G stereofonní zesilovač 20 W Stromberg-Carlson ASR433 s kmitočtovou charakteristikou od 40 do 18 000 Hz včetně dvou skříňových ozvučnic s labyrintovými zvukovody RS 461.

materiál, kterého použijeme na zakrytí reproduktorů (záclonovina, přehozy, ozdobné kovové mříže) netvořil překážku šíření zvukových vln.

Máme-li nyní stereofonní zařízení sestaveno, musíme je před uvedením do pravidelného provozu vyzkoušet podle těchto bodů:

a) přezkoušení fáze (polarita všech reproduktorů musí být stejná),

b) přezkoušení stereofonních účinků z optimálního bodu (obr. 70),

c) přezkoušení shodnosti barvy zvuku a hlasitosti obou kanálů s eventuálním vyvážením.

Pro tyto zkoušky se v zahraničí vyrábějí zvláštní zkušební desky, jimiž lze přezkoušet jakékoli sterofonní zařízení podle uvedených bodů. Vyrovnání se provádí nejlépe pomocí umělé hlavy (maketa lidské hlavy — přibližně elipsoid v odpovídající velikosti, kde v místech ušních boltců jsou umístěny mikrofony), předzesilovačů a dvoupaprskového oscilografu. Lze však dosáhnout i uspokojivého přednesu stereofonního zařízení po vyrovnání akustickou cestou jen sluchem posluchače. Jednotlivé signály zkušební desky jsou totiž dostatečně dlouhé, takže se mohou za jejich průběhu celkem pohodlně dělat různé úpravy.

Jako doplněk této kapitoly uveďme několik typů stereofonních zařízení na obr. 75 až 80.

21. Zesilovače

Zesilovače pro stereofonní reprodukci musí vyhovovat nárokům kladeným na zesilovače pro věrnou a jakostní reprodukci. O tom, jaké to jsou nároky, získali jsme přehled již v první části této knížky. V praxi se tedy používá pro stereofonní reprodukci dvou elektricky shodných zesilovačů, jejichž ovládání je společné, a to jak regulace hlasitosti, tak i nezávislé regulace hloubek a výšek, mechanicky spřaženými nebo tandemovými potenciometry. Jak vypadá takový potenciometr, ukazuje obr. 81. Při společné regulaci zisku a barvy zvuku musí být dosaženo co největší shody. Nesouhlas, který je ještě zanedbatelný, udává se hodnotou 2 dB; větší rozdíly již nejsou přípustné, neboť by ovlivnily jakost stereofonní reprodukce.

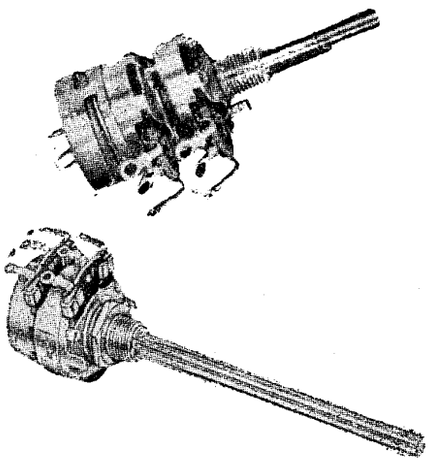
Ze zapojení různých druhů zesilovačů se prakticky pro stereofonii užívá všech již dříve uvedených druhů zapojení. Dává se ovšem přednost jednodušším zapojením — vzhledem k odbytu — neboť každý stereofonní zesilovač představuje dva úplné jakostní zesilovače, a tedy i vyšší náklady.

Je samozřejmé, že konstrukčně se vyrábějí zesilovače v poněkud odlišné formě, než jaká byla dosud běžná u zesilovačů monofonních. Je to pochopitelné, neboť splnění požadavku současné regulace se projeví i na rozložení součástí. Ve snaze snížit výrobní náklady konstruují někteří výrobci části zesilovačů technikou tištěných (plošných) spojů. Jindy se zase setkáme s kufříkovým uspořádáním, kde víka obsahují reproduktory obou kanálů, které se při provozu rozestaví podle známých zásad. Mnohdy tyto

kufříky obsahují též magnetofon nebo gramofon, oba pro stereofonický provoz. Zařízení v kufříkovém provedení nesplňují obvykle požadavky jakostní reprodukce. Samostatné zesilovače se pak vyznačují rozměry blížícími se rozměrům přístrojů panelového provedení. Někdy se reproduktory těchto zesilovačů umisťují do skříní z ušlechtilého dřeva a slouží mimo vlastní účel i jako vhodné doplňky bytového zařízení.

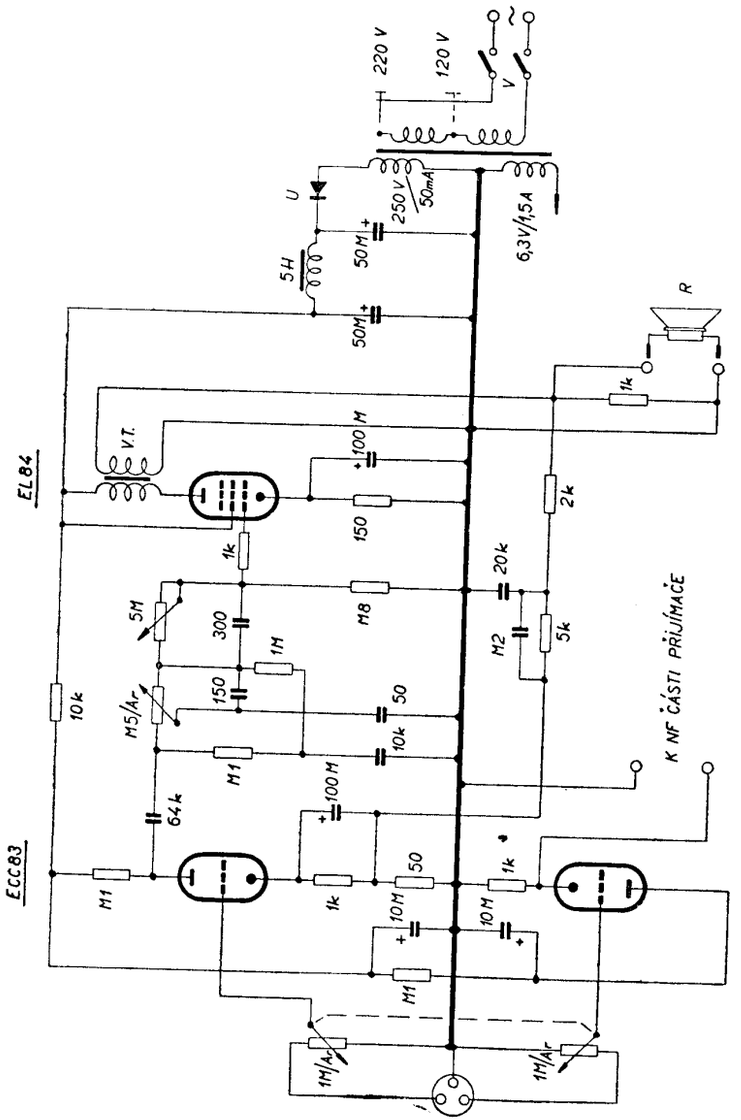
a) Stereofonní adaptor

Ukažme si nyní několik zapojení stereofonních zesilovačů. První z nich (obr. 82) znázorňuje stereofonní adaptor, který lze připojit ke každému přijímači s nezávislou regulací hloubek a výšek, a tak ho využít jako stereofonního zesilovače. Signál ze stereofonního gramofonu nebo magnetofonu přivádíme na třípólovou koncovku a odtud na dvojitý tandemový potenciometr, jímž řídíme úroveň hlasitosti. Z běžců tohoto potenciometru odebíráme signál levého a pravého kanálu pro dvojitou elektronku typu ECC83. Jedna její trioda pracuje jako nízkofrekvenční odporový zesilovač a druhá jako katodový sledovač. Katodový sledovač má výstup s malou impedancí, což je pro náš účel jen vítané, a dále jeho zesílení se pohybuje kolem jedné, takže ani nemůže dojít k přebuzení nízkofrekvenční části rozhlasového přijímače.



Obr. 81. Ukázka provedení tandemových lineárních potenciometrů ovládaných společným hřídelem.

Signál levého kanálu po zesílení v triodové části pokračuje přes nezávislou regulaci hloubek a výšek, až dojde na mřížku strmé koncové pentody EL84, která pracuje jako výkonový zesilovač. Odtud pak přes výstupní transformátor přichází do reproduktoru, kde se mění v akustický signál. Za zmínku stojí ještě zpětná vazba, která je zavedena ze sekundárního vinutí výstupního transformátoru na katodu triody. Je sice kmitočtově závislá, ale hodnoty vloženého článku RC upravují její působnost tak, že



Obr. 82. Zapojení adaptoru pro stereofonní reprodukci.

výsledná kmitočtová charakteristika zesilovače pro levý kanál je vyhovující.

Signál pravého kanálu se dostává přes katodový sledovač na vstupní svorky nízkofrekvenční části přijímače, kde je dále již obvyklou cestou zesílen a reproduktorem vestavěným do přijímače přeměněn v akustický signál. Z toho vyplývá, že sledovač tvoří vlastně jakýsi mezičlánek, jímž je umožněno řízení hlasitosti obou kanálů jedním knoflíkem. Je však nutno podotknout, že mnohdy bude třeba — u velmi výkonné zesilovací části použitého přijímače — upravit hlasitost obou reproduktorů na stejnou úroveň, a to regulátorem hlasitosti přijímače. Jeho polohu však nastavíme jednou provždy (a označíme ji), abychom při příštím používání adaptoru ji nemuseli znovu vyhledávat. Dále pak při různosti záznamů nebo prostředí slouží tento potenciometr jako vyvažovací člen.

Pokud nízkofrekvenční část přijímače nemá nezávislou regulaci hloubek a výšek, bude poloha regulátorů barvy zvuku v adaptoru asi v polovině své dráhy — tedy vždy tak, abychom získali souhlasné podání tónového spektra. U přijímače s regulací bude nastavení choulostivější, avšak i zde lze dosáhnout souhlasu, neboť kmitočtová charakteristika adaptoru je seřízena tak, že odpovídá kmitočtovým průběhům nízkofrekvenčních částí běžných přijímačů.

S popsaným adaptorem lze tedy získat stereofonní reprodukci, i když se zřetelem na malý náklad zdaleka netvoří ideální stereofonní zařízení (neboť jakost adaptoru není vzhledem k slabé záporné vazbě vynikající). Reproduktor volíme tak, aby jeho typ odpovídal co nejvíce reproduktoru vestavěnému v přijímači. To znamená, že se snažíme zjistit jeho vlastnosti, jako je užitečný průměr membrány, rezonanční kmitočtet, kmitočtová křivka apod., abychom pak volbou reproduktoru s vlastnostmi co možná nejshodnějšími zajistili možnost stejné reprodukce. K otázce rozmístění budiž řečeno, že pochopitelně platí totéž, co jsme uvedli v příslušné stati o umístění reproduktorů a reprodukčních soustav.

b) Jednoduchý stereofonní zesilovač

Na obr. 83 (v příloze je zapojení jednoduchého stereofonního zesilovače. Toto zapojení a jemu podobná zapojení se těší v zahraničí velké oblibě, a to jednak pro poměrnou jednoduchost, jednak pro malé pořizovací náklady. Zpravidla bývá osazen dvěma elektronkami typu ECC83 a dvěma strmými koncovými pentodami EL84. Uveďme několik údajů, charakterizujících tento zesilovač. Výkon každého kanálu je 3,5 W, zkreslení 2 % (měřeno při kmitočtu 1000 Hz), citlivost 200 mV. Kmitočtový průběh je rovný v rozsahu od 30 Hz do 20 kHz ± 3 dB, účinná regulace hloubek a výšek má na spodní hranici $+18$—10 dB (30 Hz), na horní hranici pak $+16$—8 dB (20 kHz). Regulace je navzájem nezávislá a řídí se dvěma tandemovými

potenciometry pro oba kanály současně. Souměrnost celého zesilovače (zjišťovaná při různých polohách běžců regulace barvy a hlasitosti) je lepší než 4 dB.

Z pohledu na schéma je jasné, že jde o dvoukanálový jednoduchý zesilovač. Každý z obou kanálů má na vstupu regulátor hlasitosti (opět spřažený tandemový typ, ovládaný jedním knoflíkem), dále pak následuje nízkofrekvenční předzesilovač s nezávislou korekcí hlubokých a vysokých tónů a končí výkonovým koncovým zesilovačem. Aby byla zajištěna univerzálnost přístroje pro provoz jednokanálových desek, je zesilovač opatřen přepínačem, jímž zapojujeme vstupy obou kanálů paralelně. Dále má zesilovač tlačítkový přepínač, jímž se může (např. při vestavění zesilovače do skříně) odpojit od stereofonního gramofonu a připojit k jinému zdroji nízkofrekvenčních signálů — jako je např. dvoustopový stereofonní magnetofon.

Všimněme si ještě vstupního tandemového regulátoru hlasitosti. Skládá se z dvou potenciometrů lineárního průběhu, což je příznačné pro stereofonní zařízení. To proto, že je výrobně téměř nemožné zhotovit s malým nákladem potenciometry logaritmického průběhu se shodou ±1 dB. Aby byl zajištěn vhodný průběh řízení hlasitosti, odpovídající fyziologické závislosti sluchu, je opatřen několika odbočkami, k nimž jsou připojeny členy *RC* příslušných hodnot. Tímto zásahem přechází soustava odporů v logaritmický dělič, vyznačující se navíc kmitočtovou křivkou odpovídající křivkám citlivosti sluchu (viz stat fyziologický regulátor).

Dále je každý kanál vybaven napěťovou zpětnou vazbou kmitočtově nezávislou, která vyrovnává kmitočtovou charakteristiku celého zesilovače, čímž zaručuje splnění základních požadavků na věrnost reprodukce. Předpokladem je však dokonalý výstupní transformátor vzhledem k stabilnosti zesilovače.

c) Stereofonní zařízení s „ultralineárním" koncovým zesilovačem

Již z prvého pohledu na schéma zesilovače (obr. 84 v příloze) je patrné, že jde o obdobné zapojení jako v předešlém případě, avšak lišící se v některých podrobnostech.

Zesilovač je též opatřen tlačítkovým přepínačem, jímž se přepíná ze stereofonní reprodukce na jednokanálovou a opačně. V poloze I pracuje zesilovač jako dvoukanálový úplně oddělený zesilovač bez nebezpečí vzniku nežádaných přeslechů. V poloze II pracuje zesilovač jako jednokanálový — kanály však nejsou spojeny paralelně, nýbrž v tzv. nepravém dvojčinném zapojení. To je určitá výhoda. Jsou-li totiž oba kanály spojeny při jednokanálovém provozu paralelně, musí síťový zdroj při amplitudových špičkách pro každou koncovou elektronku dávat týž příkon. Naopak, pracují-li oba kanály v nepravém dvojčinném zapojení, jsou koncové elektronky jako při pravém dvojčinném zapojení střídavě využívány a veškerý příkon je vyrovnanější. Samozřejmě, že při oddělených výstupních transformátorech nelze mluvit o pravém dvojčinném zapojení. Také je nutné při přepnutí do polohy II přepólovat vývody jednoho sekundárního vinutí výstupního transformátoru, aby reproduktory obou kanálů byly ve fázi (viz schéma).

Jak se dosáhne této činnosti zesilovače při jednokanálovém provozu? Odpověď nalezneme ve schématu. V poloze II tlačítkového přepínače připojuje se mřížka první nízkofrekvenční triody pravého kanálu k odbočce odporového děliče, jdoucího z anody prvé nízkofrekvenční triody levého kanálu. Zde je fáze nízkofrekvenčního signálu otočena o 180° proti signálu na vstupu. Slouží tedy první elektronka levého kanálu kromě vlastní zesilovací funkce i jako fázový obraceč. Pro správnou funkci je však třeba nastavit potenciometrem děliče velikost amplitudy na stejnou úroveň jako je na vstupu (mřížka triody levého kanálu). Nastavení provádíme pomocí tónového generátoru signálem s kmitočtem 1 kHz, který přivádíme na vstup zesilovače. Při tom měříme napětí na mřížkách obou triod elektronkovým voltmetrem. Při nesouhlasu vyrovnáme úroveň napětí na dolní elektronce běžcem potenciometru 0,1 MΩ (P_1).

Koncové stupně tvoří výkonové elektronky typu EL84. Používáme jich v tzv. „ultralineárním" zapojení, které záleží v tom, že stínicí mřížky jsou připojeny k odbočce výstupních transformátorů. Tím využíváme zpětné vazby, která mimo jiné zmenšuje vnitřní odpor elektronky a tím zpětný vliv rezonance reproduktorů. Naproti tomu byla vypuštěna obvyklá napěťová zpětná vazba, jdoucí ze sekundárního vinutí výstupního transformátoru na katodu prvního nízkofrekvenčního stupně.

V uvedeném zapojení se však setkáváme ještě s jednou zpětnou vazbou, a to s napěťovou, tvořenou členem R_1, R_2, a C_1, která způsobuje malý úbytek vysokých tónů.

Nakonec zbývá ještě se zmínit o vyvažovacím potenciometru P_2. Je to symetrizační člen, jehož běžec uzemňuje mřížky obou koncových elektronek. Nastavením běžce ovlivňujeme výstupní výkony obou elektronek, což má význam tehdy, je-li zesílení jednoho kanálu menší než zesílení druhého kanálu.

d) Stereofonní zesilovač pro hudební skříň

Dalším příkladem stereofonního zesilovače je zapojení vyvinuté firmou Philips; má název 1008 - Stereo. Ze schématu na obr. 85 (v příloze) je patrno, že jde o poměrně složité zapojení dvoukanálového zesilovače, osazeného třemi dvojitými triodami typu ECC83 a čtyřmi koncovými pentodami typu EL86. V zapojení koncových stupňů se nepoužívá výstupních transformá-

torů, z čehož vyplývá nutnost volit reproduktory s kmitací cívkou s velkou impedancí.

Signál se odebírá buď z magnetofonu, gramofonu, nebo z detektoru přijímače a přivádí se v prvém případě na přepínatelné koncovky, v druhém pak přímo na přepínač. Je samozřejmé, že reprodukce signálu zachyceného přijímačem je v tomto případě jen monofonní, kdežto signál z magnetofonu a gramofonu získáváme jak v monofonní, tak stereofonní formě.

K přepínání slouží tlačítkové přepínače, což je běžný způsob téměř u všech zahraničních přístrojů. Vstupní zdířky jsou spojeny s členem P_1 a P_2 pro vyvážení rozdílů v zesílení obou kanálů nebo poslechových podmínek. Vstupní signál se řídí na žádanou úroveň tandemovým regulátorem hlasitosti P_3 a P_4. Každý z těchto petenciometrů má dvě odbočky a příslušný počet vyrovnávacích kondenzátorů a odporů. Dosahuje se jimi fyziologického průběhu hlasitosti tak, jak to odpovídá potřebám citlivosti lidského sluchu pro různé hlasitosti a různé kmitočty.

Mezi prvním a druhým nízkofrekvenčním zesilovačem každého kanálu jsou pak korektory *RC*, jimiž se řídí kmitočtový průběh celého zesilovače. Proměnné členy, jimiž se nezávisle řídí hloubky a výšky, tvoří tandemové potenciometry P_5 a P_6 (výšky) a P_7 a P_8 (hloubky). V zapojení se dále setkáme s tzv. zvukovým rejstříkem. Je opět tlačítkový a má tři polohy; „řeč", „koncert" a „jazz". Všimněme si však, že je začleněn jen do jednoho kanálu. Uplatní se tedy toliko při monofonní reprodukci signálu z přijímače, gramofonu nebo magnetofonu. K „zvukovému rejstříku", používanému některými výrobci, nutno zaujmout velmi kritické stanovisko. Je třeba konstatovat, že pro kvalitní reprodukci je takový člen zcela nežádoucí a zbytečný.

Za druhým nízkofrekvenčním zesilovačem pak následuje poslední trioda, která v každém kanálu pracuje jako obraceč a tím zajišťuje, že se sejmutý a zesílený signál dostává na mřížky koncových elektronek ve správné fázi. Z výstupu každého kanálu je zavedena do mřížky „horní" elektronky EL86 (viz schéma E_4 a E_6) a do katody ECC83 (E_2 a E_3) kombinovaná kladná a záporná zpětná vazba, která je kmitočtově nezávislá. Je vedena přes odpory R_1 (0,1 MΩ), R_2 (0,82 MΩ), a R_3 (1 kΩ).

V hudební skříni jsou zabudovány čtyři reproduktory, z nichž dva jsou pro hluboké tóny a dva pro zbývající část zvukového spektra, tj. pro oblast středních a vysokých tónů. Protože jsou zapojeny v sérii (vzhledem k impendančnímu přizpůsobení koncovým elektronkám), obstarává oddělování vysokých a středních kmitočtů, připadajících na příslušný reproduktor, elektrická výhybka, v celkem jednoduché formě. Dělicí kmitočet je volen 300 Hz. Pro tento kmitočet jsou pak také navrženy hodnoty indukčnosti tlumivky a kapacity kondenzátoru, kterézto členy tvoří dohromady uvedenou výhybku. K hudební skříni lze připojit další dva boční přídavné reproduktory, čímž se značně zvětší prostorový účinek stereofonní reprodukce (zvětšením základny — báze). Aby po tomto zásahu zůstaly impedanční poměry nezměněné, odpojí se po připojení bočních reproduktorů samočinně vyrovnávací odpory a místo nich se zapojí kmitací cívky bočních reproduktorů s velkou impedancí.

e) Nízkofrekvenční část hudební skříně

Někteří výrobci vycházejí z ne zcela správného předpokladu, že při přenosu nízkofrekvenčních kmitočtů dolní části zvukového spektra (do 300 Hz) nepřispívají tyto hloubky tolik k dosažení prostorového vjemu jako kmitočty vyšší. Proto se snaží vyzářit basy jen jednou, ačkoli to není teoreticky správné. Tento způsob umožňuje vyzáření středních a vysokých kmitočtů zvukového spektra pomocí poměrně menších a levnějších reproduktorů. Takto řešené zařízení s jedn´m hlubokotónovým vyzařovacím systémem je poněkud levnější než zařízení řešené klasickým způsobem.

Dalším zajímavým jevem, s kterým se u stereofonní reprodukce setkáme, je, že máme vždy dojem větší intenzity zvukového stereofonního pořadu než při monofonní reprodukci, ačkoli je její výkon rovný součtu výkonů obou koncových stupňů stereofonního zesilovače.

Posledním příkladem stereofonního zesilovače je zapojení nízkofrekvenční části hudební skříně typu Ballerina - Konzert - Stereo 59 (obr. 86 v příloze). V tomto zapojení [75] je použito jen jednoho reproduktoru pro jednokanálové vyzařování hlubokých tónu, kdežto pro zbývající část zvukového spektra se používá několika reproduktorů dvoukanálově. U každého z obou kanálů je koncový stupeň osazen pentodovým systémem sdružené elektronky typu ECL82, který pracuje v třídě A, a to každý do jednoho z obou výstupních transformátorů V_2 a V_3. Transformátory pracují až od mezního kmitočtu 300 Hz (mez stereofonního rozlišování), a proto předávají výkon jen nad tuto hranici. Pro kmitočty pod 300 Hz pracují pak obě koncové pentody v dvojčinném zapojení do transformátoru V_1. Pro tento transformátor je zase určena horní hranice (300 Hz) paralelně připojenými kondenzátory C_1 a C_2.

Fáze potřebná pro dvojčinný provoz se obrací v horním (levém) kanálu přídavným zesilovacím stupněm (triodová část elektronky EABC80), který má zisk pouze 1. Tím se dosáhne většího výkonu obou koncových stupňů, nutného pro nadzdvižení basů při poměrně malém nákladu.

Tento dvojčinný zesilovač s dvoukanálovým napojením od vstupu až k výstupu vyžaduje ovšem zvlášť „čisté" a co do souměrnosti obou kanálů promyšlené zapojení. K vyrovnání eventuálních rozdílů (v napětí zesílených signálů obou kanálů na výstupu apod.) slouží člen tvořený nastavitelným potenciometrem P_{sym}.

Poněkud složitější, ale přesto vtipné zapojení zpětných vazeb vyplývá

z nutnosti přivést zpětnovazební napětí pro celý kmitočtový rozsah na sekundární vinutí všech tří výstupních transformátorů.

Mimoto vidíme v zapojení tandemové potenciometry pro nezávislé řízení hloubek, výšek a hlasitosti. Souběh těchto regulátorů souhlasí v obou kanálech hodnotou menší než 3 dB. Aby se zabránilo přetěžování síťové části při magnetofonovém nebo gramofonovém provozu hudební skříně, vypíná se vzhledem k velké spotřebě koncových elektronek pracujících v třídě A (2×47 mA) anodové napětí pro elektronky přijímačové části. (Vzhledem k přehlednosti není část přijímače na schématu zakreslena). Anody se vypínají samočinně po stlačení tlačítka „stereo". Při monofonním provozu (rozhlas . . .), není-li tlačítko „stereo" stisknuto, pracují obě koncové elektronky v třídě AB, a to vlivem zvětšení hodnoty katodového odporu (kontakty 2, 3 jsou rozpojeny). Tento způsob činnosti koncových stupňů vyžaduje i dvojčinný provoz (při monofonní reprodukci) pro střední a vysoké kmitočty. K tomu účelu otvírá stykač III kontakty 8, 9 a zapojí tak sekundární vinutí obou výstupních transformátorů V_1 a V_3 do řady. Mimoto jsou při reprodukci rozhlasového pořadu a monofonních desek spojeny vstupy obou kanálů paralelně.

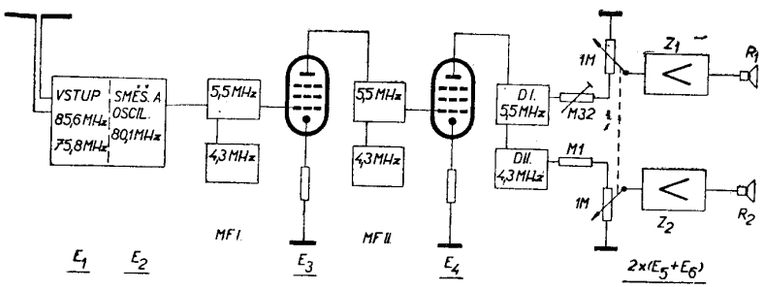
Pokud jde o uspořádání reproduktorů této hudební skříně, je pro přenos basů určen jeden oválný reproduktor, upevněný ve střední části skříně dole v oddělené ozvučnici typu bass-reflex. Dále jsou ve vlastní hudební skříni zabudovány dvě dvojice reproduktorů pro střední a vysoké kmitočty, každá dvojice na opačné straně, tj. na bocích skříně, čímž je zajištěno stereofonní podání reprodukovaných pořadů. Základna — báze, která takto vzniká, je sice jen 1 m široká, přesto se však při malé vzdálenosti posluchače od hudební skříně dosáhne uspokojivé stereofonní reprodukce. Při vyšších nárocích na stereofonní podání — především ve větších pokojích — je nutné použít přídavných reproduktorů. Pro jejich připojení má hudební skříň na každém boku speciální zásuvky, které po zasunutí zástrček (s přívodním kabelem k vnějšímu bočnímu reproduktoru) samočinně odpojí příslušné zabudované reproduktory v bocích skříně.

22. Stereofonní rozhlas

Čtenáře bude jistě zajímat, zda je též možné přijímat na běžný rozhlasový přijímač stereofonní pořady. Není to tak jednoduché. Zásadně budiž uvedeno, že veškeré rozhlasové stereofonní přenosy jsou zatím ve stadiu pokusů. Při nejjednodušším způsobu přenosu je třeba dvou vysílačů, každý pro jeden kanál. Při tom se používá různých způsobů modulace a vlnových délek, které se zdají být nejvýhodnější tomu či onomu výrobci. Pro objasnění uvedeme v krátkém přehledu několik způsobů:

1. am + am dva vysílače na středních vlnách,
2. am + fm jeden vysílač na středních, druhý na velmi krátkých vlnách,
3. am + fm jeden vysílač na středních vlnách, druhý kanál jako zvukový doprovod televizního vysílače (v době, kdy se nekoná obrazové vysílání),
4. fm + fm oba vysílače na velmi krátkých vlnách,
5. am + nf jeden vysílač na středních vlnách, druhý kanál jako rozhlas po drátě,
6. nf + nf oba kanály jako rozhlas po drátě (Itálie).

Většina uvedených způsobů však vyžaduje dva na sobě nezávislé přijímače, při čemž každý přijímá jen jeden kanál. To je ovšem řešení poněkud těžkopádné, a proto byly vyvinuty způsoby daleko „techničtější". V jednom



Obr. 87. Skupinové schéma dvoukanálového přijímače pro reprodukci stereofonního vysílání.

z těchto případů rozhlasového přenosu se používá dvojí modulace jediného vysílače, což je řešení velmi výhodné z hlediska investičních nákladů na vysílač. Přenos se uskutečňuje tak, že součtový signál získaný ze snímacího zařízení (M + S) bývá přenášen normální kmitočtovou modulací, rozdílový kmitočet (M — S) rovněž kmitočtovou modulací, ale na pomocném kmitočtu (asi 50 kHz), který se současně vysílá se součtovým kmitočtem a tvoří druhou modulaci. V přijímači se demodulací získá nejprve součtový signál a pomocný kmitočet a jeho demodulací pak rozdílový signál. Sloučením součtového a rozdílového signálu dostaneme již zvukový doprovod pro levý a pravý kanál.

Jiný takový způsob používá sice na vysílací straně dvou vysílačů pro oba kanály, na straně přijímací opět jen jednoho přijímače, pracujícího však v poněkud zjednodušené formě proti předchozímu případu (obr. 87). Vstup přijímače je laděn v pásmu velmi krátkých vln a je značně širokopásmový (fm + fm), podobně jako vstup televizního přijímače. Široko-

pásmovou propustností vstupu přijímače je zaručeno, že zachytí v takřka stejné intenzitě nosné vlny obou signálů. Ve směšovači se zachycené a zesílené signály smísí se signálem místního oscilátoru, čímž vzniknou nové signály se součtovým a rozdílovým kmitočtem. Z nich vybíráme jen signály s kmitočtem rozdílovým (mezifrekvenční), které dále zesilujeme v mezifrekvenčním zesilovači. Zajímavé je, že každý mezifrekvenční stupeň s jednou strmou pentodou má dva mezifrekvenční transformátory řazené v sérii, z nichž každý je laděn pro jeden mezifrekvenční kmitočet. Je tedy využito každého mf stupně na dvakrát — neboť každý zesiluje současně dva mf kmitočty, jejichž modulace pochopitelně stále — i po smíšení — odpovídá zvukovému pořadu toho kterého kanálu. Z výstupu posledního mf zesilovače se vedou signály přes oddělovací obvody již na dva samostatné diskriminátory, kde se signály demodulují. Získané nf signály se vedou přes vyvažovací členy již na dva nezávislé zesilovače společně ovládané, které představují oba zvukové kanály. Blokové schéma dává dosti názorný přehled o činnosti tohoto přijímače a o cestě obou signálů.

Závěrem této stati budiž řečeno, že o tom, jakého způsobu se použije k přenosu stereofonního rozhlasu, nepadlo ještě poslední slovo a že to bezpochyby rozřeší a ukáže blízká budoucnost.

III. STAVBA ZESILOVAČŮ

23. Korekční předzesilovač

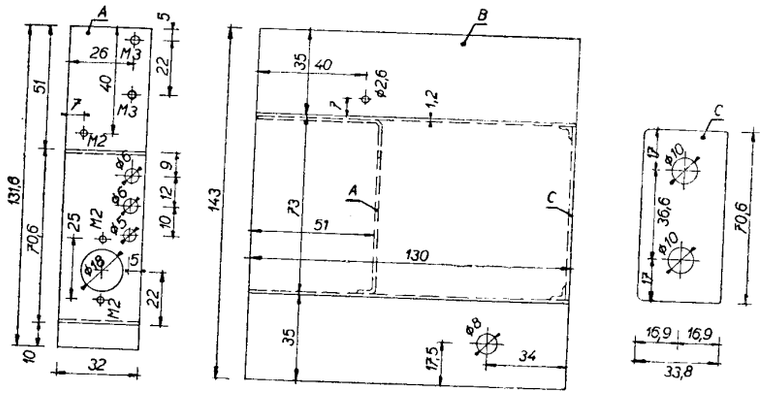
Z křivek citlivosti sluchu a z potřeby přizpůsobit reprodukci charakteristice záznamu plyne nezbytnost tlumit nebo zdůrazňovat podle potřeby vysoké i hluboké tóny. O zařízení, které je s to nezávisle plnit tyto podmínky, říkáme, že má nezávislou regulaci hloubek a výšek. Tento způsob regulace — ať se již děje korektorem pracujícím na jakémkoli principu — jeví se dnes jako jedině správný způsob řízení barvy přednesu. Tzv. „tónová clona", jež způsobovala jen úbytek vysokých tónů, je tedy již jen přežitkem, vývojově překonaným stupněm.

Každý zesilovač (který má mnohý radioamatér) nemá však nezávislou regulaci hlubokých a vysokých tónů. Abychom jej touto regulací opatřili, aniž je třeba rozsáhlé přestavby, stačí použít malého předzesilovače, v kterém jsou již korekční obvody zabudovány. Další úpravy zesilovače k zlepšení kmitočtové charakteristiky, o jejichž nutnosti si rozhodne sám majitel zařízení, nejsou již konstrukčně obtížné a mnohdy úplně odpadnou.

Takový jednoduchý předzesilovač se skládá z jedné dvojité elektronky, dvou potenciometrů a dalších drobných součástí, jejichž výčet uvedeme na konci této stati. Předzesilovač je postaven na malé kostře, jejíž rozměry jsou na obr. 88. Poněvadž je tento korekční předzesilovač poměrně malý (35 × 73 × 130 mm), nebude nesnadné zamontovat jej k jakémukoli zesilovači. Potřebná napětí pro provoz se obvykle odebírají ze zdroje vlastního zesilovače. Schéma zapojení je na obr. 89.

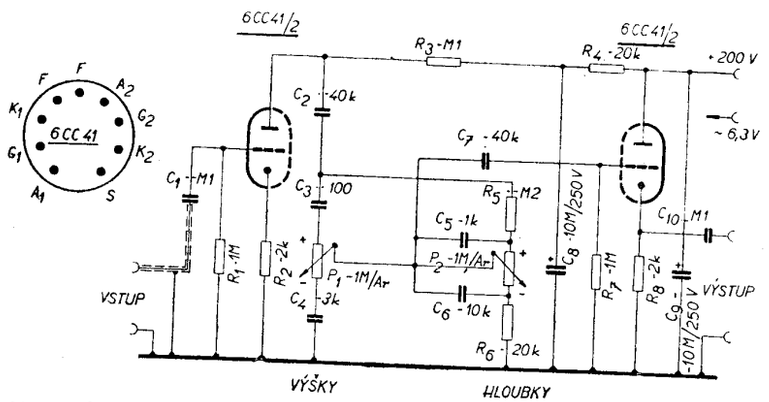
Kostra korektoru je z duralového plechu tloušťky 1,2 mm, ohnutého do tvaru písmena U. Při jedné straně je kostra uzavřena plechovou destičkou s korekčními potenciometry P_1 a P_2. Tato destička je ke kostře pevně připojena pomocí úhelníčků a hliníkových nýtků. Podobnou destičkou — přepážkou — je pak rozdělen vnitřní prostor korektoru ve dvě části. V otevřené horní části je elektronka typu 6CC41 a elektrolytické kondenzátory, ve spodní části pak ostatní součásti. Na obr. 90 je otevřený a zapojený předzesilovač. Na obr. 91 je zřetelně znázorněno rozložení součástek i s jejich označením.

„Duši" korektoru tvoří dvojitá elektronka typu 6CC41. Je to dvojitá trioda v jedné baňce. První trioda pracuje jako odporový zesilovač (napě-



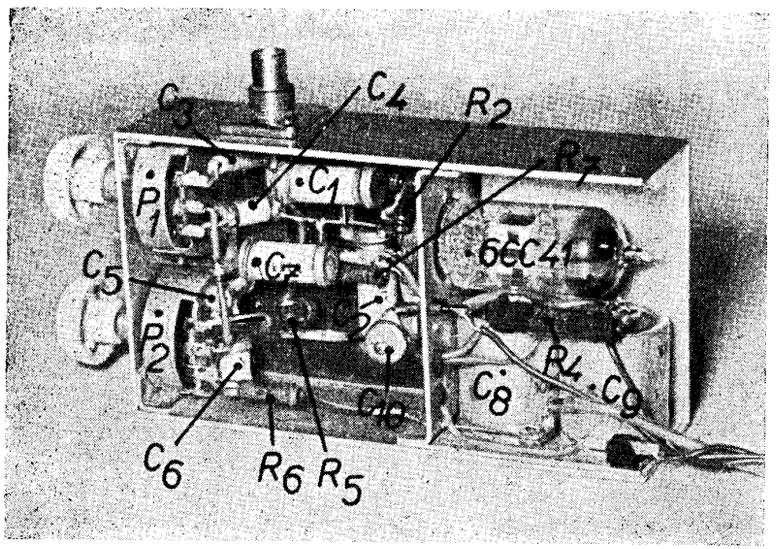
Obr. 88. Kostra korekčního předzesilovače. Skládá se ze tří částí: A, B, C. Přepážka C je pevně spojena s kostrou B nýtky a pomocí úhelníčků, kdežto přepážka A je vyjímatelná (vzhledem k montáži) a připevňuje se ke kostře B jedním šroubkem M2.

tový), který zesiluje přiváděný signál asi 20krát. Z anody první triody jej přivádíme vazebním kondenzátorem C_2 na dvojitý korekční člen tvořený pasivními prvky. První z nich je pro vysoké tóny a skládá se z kondenzátorů C_3, C_4 a potenciometru P_1. Paralelně je k němu připojen druhý korektor pro hluboké tóny, který je tvořen kondenzátory C_5, C_6, odpory



Obr. 89. Úplné zapojení korekčního předzesilovače s dvojitou triodou 6CC41 pro samostatnou regulaci hlubokých a vysokých tónů.

R_5, R_6 a potenciometrem P_2. Polohy běžců obou potenciometrů jsou označeny znaménky plus a minus. V poloze plus jsou výšky zdůrazněny filtrem C_3, R_5, P_2 a R_6, hloubky filtrem R_5, C_6 a R_6. V poloze minus potlačujeme výšky filtrem R_5, C_4 a R_6, hloubky účinkem filtru C_5, R_6. Z toho vyplývá,



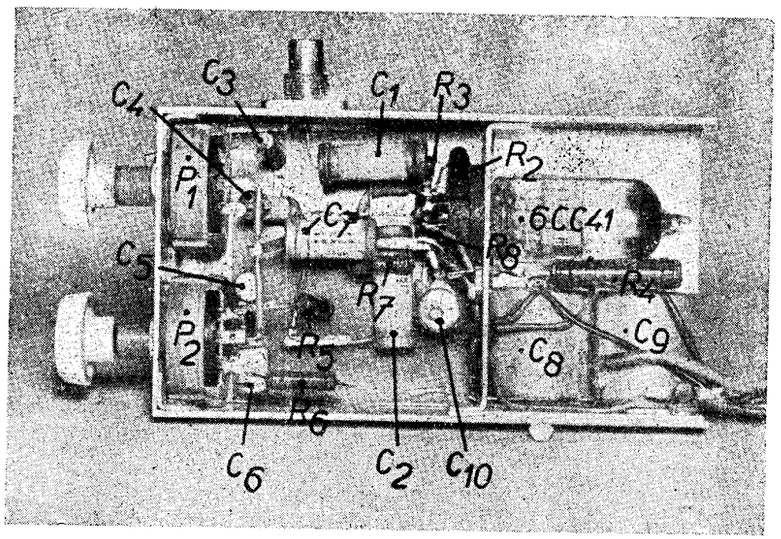
Obr. 90. Pohled na zapojený přístroj. Vpředu jsou ovládací potenciometry, na horní straně koncovka, k níž je připojen stíněný kabel zprostředkující přenos nízkofrekvenčního signálu z přenosky gramofonu nebo z mikrofonu.

že korekční účinek obou korektorů je dán velikostí hodnot všech součástek. Přesto však při regulaci potenciometry (společné členy) je vzájemný vliv celkem nepatrný.

Následující druhá trioda je zapojena jako zesilovač s uzemněnou anodou — je to tzv. katodový sledovač. Zesílení tohoto stupně se pohybuje kolem jedné, výstup má malou impedanci. To je zvlášť výhodné tehdy, je-li následující stupeň poměrně dosti vzdálen (a vycházejí dlouhé spoje — se všemi nepříznivými následky), nebo používá-li se korektoru, opatřeného navíc regulátorem hlasitosti, k dálkovému ovládání hudební skříně. Pak se totiž délka spojů prakticky neuplatní.

Vlivem útlumu obou korekčních členů a použitím sledovače je celkové

zesílení předzesilovače minimální. Je to pochopitelné proto, že pasivními prvky se dosahuje zdůraznění krajních částí kmitočtového spektra (tj. hloubek a výšek) snížením úrovně střední části zvukového spektra. Z toho vyplývá, že se nikterak nemusíme obávat, že by se zesilovač spolu s korekčním předzesilovačem nežádaně rozkmital.

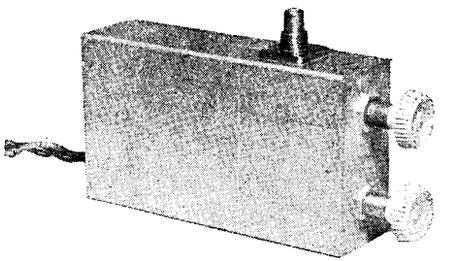


Obr. 91. Pohled, ukazující rozložení drobných součástí v přístroji.

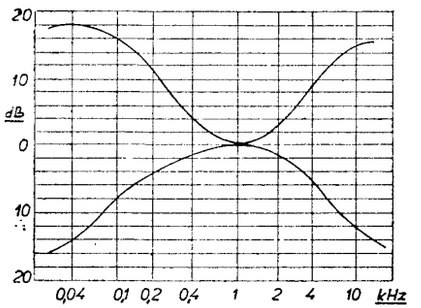
Porovnáme-li s naším zapojením schéma na obr. 7, vidíme, že je tam předzesilovač na výstupu obohacen ještě o jeden připínatelný člen. Zpravidla se totiž užívalo jen jednoho reproduktoru s průměrem membrány 16 až 20 cm. Je známo, že citlivosti dnešních reproduktorových systémů ubývá v oblasti do 300 Hz a nad 3000 Hz, což zhruba můžeme říci i o našem sluchu. Tomu se odpomáhá právě zařazením uvedeného členu. Tam, kde použijeme několika reproduktorů, můžeme tento člen vypustit, neboť pomocí dělené reprodukce vyrovnáváme úbytky citlivosti jediného reprodukčního systému.

O spájení není třeba říkat mnoho slov a jistě nám nebude působit obtíže, třebaže prostor, který máme k dispozici, je velmi malý. Rozložení součástí je zřetelně vyznačeno na obr. 91. Výjimkou je odpor R_1, který je pod kondenzátorem C_1, takže není na snímku vidět. Pájení spojů a součástí je ulehčeno tím, že přepážka A je vyjímatelná, a nikoli pevně přinýtovaná jako přepážka C. Můžeme tedy po přišroubování objímky pohodlně připájet většinu drobných součástí k jednotlivým perům patice, k vývodům elektrolytických kondenzátorů a k opěrným bodům, přišroubovaným k přepážce A.

Po ukončené montáži zbývá již jen přezkoušení. Korektor tedy připojíme čtyřpramenným kablíkem k zesilovači a zapneme. Pak se dotkneme šroubovákem postupně mřížek, což se musí projevit (při nastaveném regulátoru hlasitosti naplno) vrčením v reproduktoru. Není-li tomu tak, přesvědčíme se o výškách napětí na anodách jednotlivých triod. Napětí na anodě první triody (vstupní) má být asi 120 V, na katodovém odporu namčříme úbytek asi 1 V. Napětí na anodě druhé triody musí být pochopitelně shodné s napětím zdroje a je asi 200 V. Na katodovém odporu naměříme asi 1,5 V. Kdybychom tato napětí nenaměřili, je chyba v propojení, kterou jistě objevíme při pečlivé kontrole spojů. (Napětí bylo měřeno měřicím přístrojem Avomet.) Tímto předzesilovačem lze tedy zlepšit jakoukoli nf část rozhlasového přijímače nebo gramofonového zesilovače. Hotový předzesilovač je na obr. 92 a na obr. 93 je jeho kmitočtový průběh.



Obr. 92. Hotový korekční předzesilovač před zabudováním do zesilovače.



Obr. 93. Kmitočtový průběh korekčního předzesilovače.

Použité součástky:

Kondenzátory

C_1 = 0,1 μF/250 V	C_6 = 10 000 pF/160 V
C_2 = 40 000 pF/160 V	C_7 = 40 000 pF/160 V
C_3 = 100 pF, keramický	C_8 = 10 μF/250 V
C_4 = 3000 pF/160 V	C_9 = 10 μF/250 V
C_5 = 1000 pF/160 V	C_{10} = 0,1 μF/250 V

Odpory	R_1 = 1 MΩ/0,25 W
	R_2 = 2 kΩ/0,25 W
	R_3 = 100 kΩ/1 W
	R_4 = 20 kΩ/1 W
	R_5 = 200 kΩ/0,25 W
	R_6 = 20 kΩ/0,25 W
	R_7 = 1 MΩ/0,25 W
	R_8 = 2 kΩ/0,25 W
Potenciometry	P_1 = 1 MΩ lineární
	P_1 = 1 MΩ lineární
Elektronka	6CC41 s objímkou

24. Zesilovač 4 W

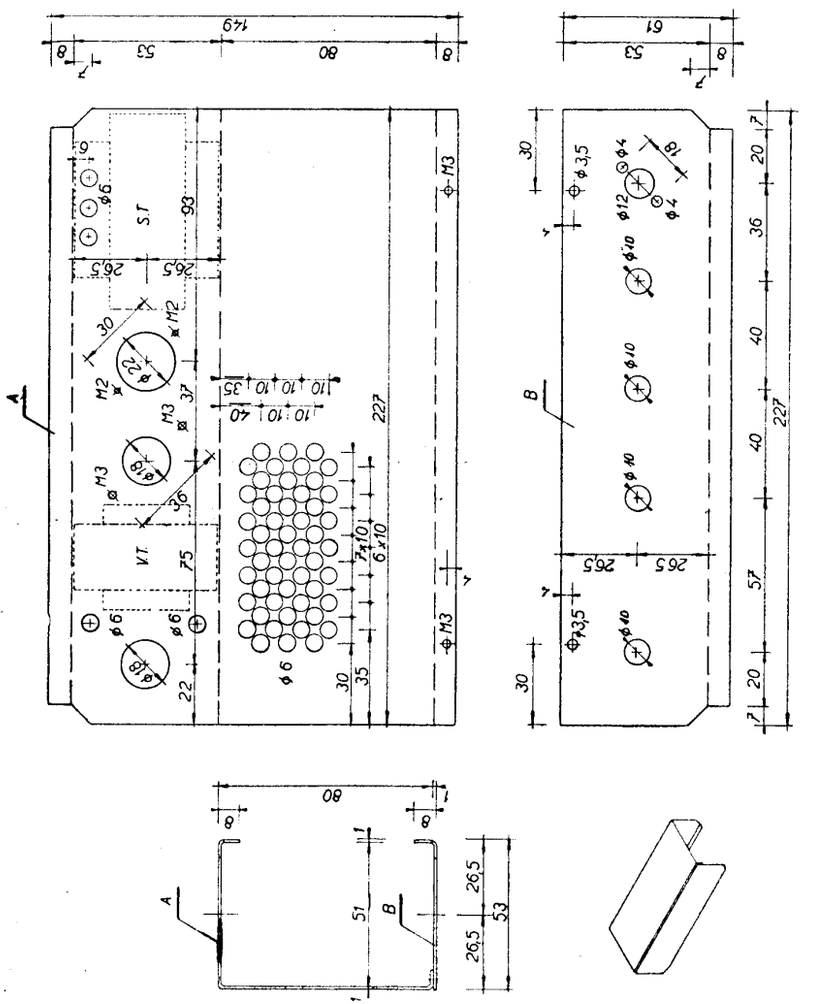
Další konstrukcí je malý a jednoduchý zesilovač. Je osazen toliko dvěma elektronkami. První z nich je dvojitá trioda typu 6CC41, druhou představuje výkonová koncová pentoda EL84. Usměrňovací elektronky není vůbec použito a nahrazuje ji selenový usměrňovač. Dále se zesilovač skládá ze síťového a výstupního transformátoru, tlumivky a tří potenciometrů. Ostatní drobné součásti, jako kondenzátory a odpory uvádíme v přehledu na konci této stati.

a) Kostra

Kostra zesilovače má neobvyklý tvar. Je nakreslena na obr. 94. Skládá se ze dvou částí — A a B —, jež obě jsou z duralového plechu tlustého 1 mm. Po vyříznutí a vyvrtání všech hlavních otvorů se obě části ohnou a spojí dvěma šrouby M3. Pak se našroubuje dvojitý elektrolytický kondenzátor, připevní objímky elektronek a výstupní a síťový transformátor. Transformátory jsou připevněny pomocí několika úhelníčků. Jejich rozměry ani potřebné otvory nejsou na výkresu kostry označeny, neboť předpokládáme, že zájemce o stavbu použije buď transformátorů hotových, nebo si je navine na plechy tvaru E I, popř. na neběžné výprodejní plechy M. Rovněž nejsou uvedeny otvory pro přichycení tlumivky, katodového kondenzátoru C_7, filtračního C_8 a selenového usměrňovače, neboť zde bude opět záležet na druhu použitých součástek.

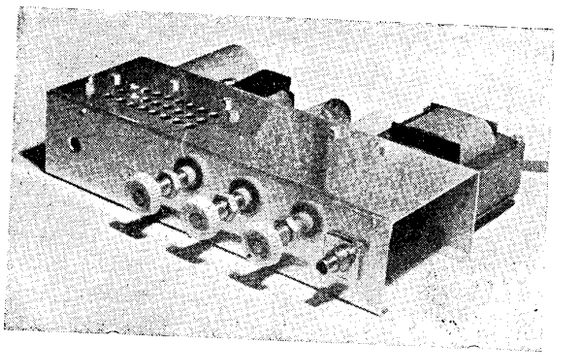
Při rozmisťování součástí — i při pozdějším pájení — pomohou čtenáři snímky přístroje, na nichž jsou všechny viditelné součásti zřetelně označeny.

Možná, že se někdo bude ptát, proč je kostra složena ze dvou částí. Je to proto, aby montáž i pájení součástí byly co nejsnáze proveditelné. Část A nese totiž většinu všech součástí, část B jenom prvky pro obsluhu



Obr. 94. Kostra zesilovače se všemi hlavními rozměry a otvory. Skládá se z částí A a B, které jsou spojeny dvěma šroubky M3.

a připojovací zástrčku (koncovku) pro stíněný kabel. Ostatně obr. 95, kde je pohled na zesilovač, to nejlépe osvětlí. Vidíme, že zde jak transformátory s filtračním kondenzátorem, tak elektronky zaujímají polohu „vleže" a jsou připevněny na části A, kdežto přední část — panel B — nese jen regulátory. Po odšroubování tohoto panelu je umožněn již pohodlný přístup i k těm nejzazším perům elektronkových objímek.



Obr. 95. Pohled na hotovou kostru zesilovače se všemi součástkami připravenými k pájení.

Při pohledu na hotový zesilovač jsou rozmístěny hlavní součásti takto: jdeme-li zleva doprava, je první součástí dvojitý elektrolytický kondenzátor (umístěný v nejméně teplé oblasti zesilovače), pak následuje výstupní transformátor, koncová elektronka a před ní dvojitá trioda. Poslední objemnou součástí je síťový transformátor, který je zcela vpravo. Pod výstupním transformátorem je umístěna síťová tlumivka a v přibližně téže vzdálenosti od kraje kostry — ovšem z druhé strany — je filtrační kondenzátor C_8. Je připevněn dvěma šroubky M3 za svou přírubu; rovněž tlumivka je připevněna dvěma šroubky M3.

Pod tlumivkou (směrem k čelnímu panelu B) je selenový usměrňovač. Musí být zvolen pro střídavé napětí asi 280 V a pro proud 60 mA. V našem případě jsme použili selenového usměrňovače, složeného z jednotlivých destiček. Pro uvedené napětí musí mít usměrňovač 28 destiček (efektivní napětí 14 až 18 V na jednu desku). Dále musí vyhovovat plocha destičky požadovanému odběru v miliampérech. Proud připadající na plochu desky nesmí být překročen, nemá-li dojít k nadměrnému ohřívání usměrňovače. V našem případě jsme měli po ruce kruhové destičky průměru 18 mm, které lze zatížit dlouhodobě maximálně proudem 30 mA. Protože požadovaný odběr zesilovače je asi 50 mA, bylo třeba použít dvou sloupků, které byly spojeny paralelně. Při skládání usměrňovače z jednotlivých desek se přesvědčíme o jakosti každé desky, např. ohmmetrem. Při vzájemné záměně vývodů měřidla musí ručka ohmmetru ukázat rozdílné výchylky — čím větší rozdíly naměříme, tím je deska lepší. Nemáme-li ohmmetr, lze zjistit jakost desek při provozu zesilovače střídavým voltmetrem. Napětí měříme (na rozsahu 30 V) mezi jednotlivými deskami a při počtu dvacetiosmi desek musí být asi 10 V. Jestliže naměříme např. jen 2 až 3 V, je deska vadná a je třeba ji vyměnit.

Nejspolehlivějším ukazatelem jakosti desek je oscilograf, jímž proměřujeme desky za provozu, opět kus po kuse. Střídavé napětí, které prochází usměrňovačem, má tvar sinusovky. Při správně pracující desce se na stínítku oscilografu objeví jen jedna polovina sinusovky, neboť její druhou polovinu deska nepropouští. Je-li deska špatná, uvidíme i druhou polovinu sinusovky, více či méně potlačenou.

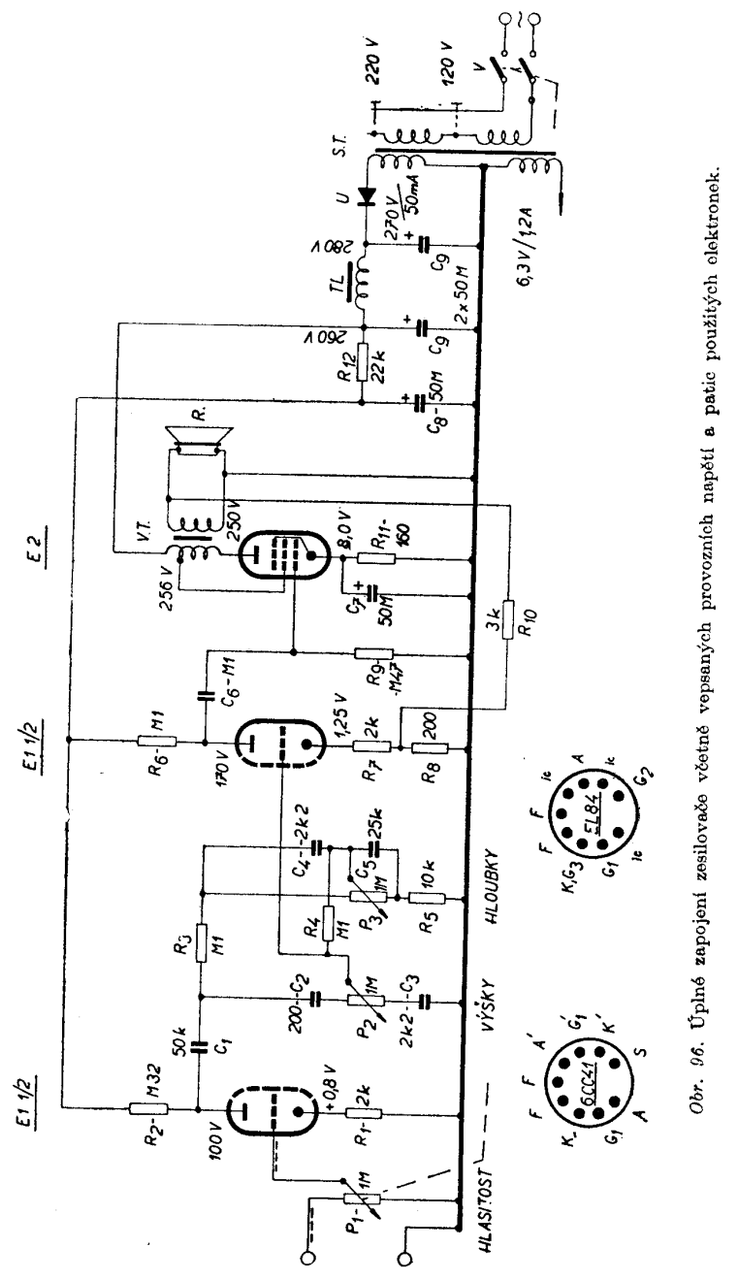
Oba sloupky, tvořící usměrňovač, jsou zašroubovány do držáku z umělé hmoty (novotexu), tlustého 10 mm, který je přichycen dvěma šrouby M3 k části A, která je pro dostatečné větrání a chlazení usměrňovače opatřena větracími otvory. Při provozu bylo zjištěno, že počet větracích otvorů na snímku nedostačuje, a proto byl později zvýšen tak, aby větrání bylo uspokojivé, tj. 7 řad otvorů průměru 6 mm se vzdáleností 10 mm. Rovněž počet selenových desek by zvýšen na 2×28 kusů paralelně spojených, čímž bylo zmenšeno nežádané zahřívání zesilovače na minimum.

V předchozích odstavcích jsme uvedli, že elektronky jsou umístěny ve vodorovné poloze. Protože zesilovač se bude občas přenášet a bude se s ním pohybovat, vzniká nebezpečí, že se elektronky z objímek uvolní, vypadnou a poškodí.

U první elektronky je tomu zabráněno tím, že je použito stíněné dvoudílné objímky, jejíž horní část spolehlivě přidržuje elektronku. Koncovou elektronku, která je vyšší a u které nebezpečí uvolnění je proto větší, zajistíme podobným způsobem. Z pertinaxu nebo novotexu vyřízneme mezikruží s menším průměrem, než je průměr elektronky. Do mezikruží vyvrtáme na úhlopříčce po jednom otvoru na každé straně a v nich uchytíme z každé strany spirálovou pružinu. Mezikruží nasadíme na elektronku a zajistíme je pomocí pružin, jejichž konce jsou upevněny v pájecích očkách pod šroubky objímky. Tímto jednoduchým zařízením je zaručeno, že elektronka se nemůže uvolnit.

b) Pájení

Po dohotovení kostry zesilovače můžeme přikročit k zapojování a pájení. Pro tuto další činnost nám poslouží celkové schéma zesilovače, které je znázorněno na obr. 96 i s paticemi použitých elektronek. Spoje provedeme



Obr. 96. Úplné zapojení zesilovače včetně vepsaných provozních napětí a patic použitých elektronek.

měděným, popř. pocínovaným drátem, který povlékáme izolační trubičkou (špagetou), a to igelitovou nebo textilní.

Jednotlivým spojům musíme věnovat pozornost hlavně proto, že nedokonalý spoj bývá zdrojem poruch. Rovněž může v některých případech při eventuální nevodivosti způsobit i vážné ohrožení na něj vázaných obvodů (např. nevodivý spoj na anodu koncové elektronky apod.). Z toho vyplývá, že nesmí vzniknout tzv. studený spoj, tj. takový spoj, který při letmém pohledu budí dojem vodivého spojení, ve skutečnosti jím však není. Takový spoj vzniká tehdy, jestliže jsme pájené předměty páječkou dostatečně neohřáli, nebo jestliže jsme se nepostarali o jejich řádné očištění.

Spoje čistíme jednak mechanicky, jednak chemicky. Mechanické čištění záleží v odstranění nečistot pilníkem, skelným papírem, ostrým nožem, škrabátkem apod. Chemicky pak čistíme roztokem kalafuny v lihu, který nanášíme štětečkem na spájené místo, popř. používáme kalafuny samotné, kterou přenášíme páječkou na pájené místo. Chraňme se však používat při pájení všelijakých past neznámého původu a složení, které sice čistí povrch velmi radikálně, avšak obsahují většinou kyselinu solnou, jež po čase svou kyselou reakcí spoj rozruší.

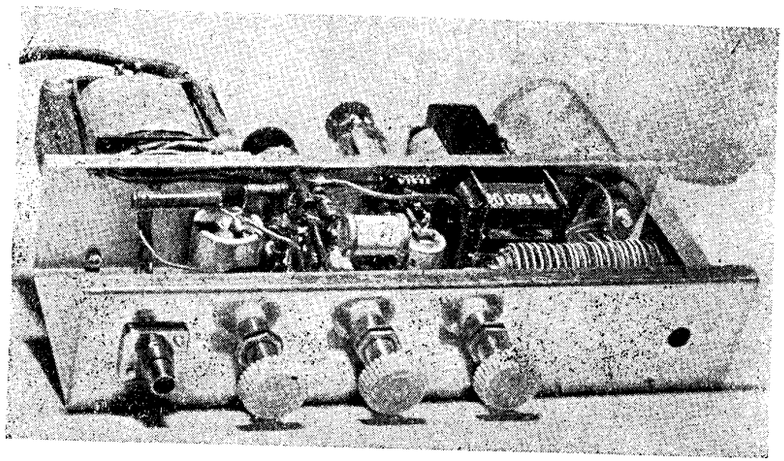
Na spoje používáme pocínovaného drátu, protože na něj dobře chytá pájka. Z téhož důvodu cínujeme i mosazná pájecí očka dříve, než k nim připojíme drobné součásti. Ale pozor! Očka pocínujeme jen na té straně, ke které bude připojen spoj nebo vývod kondenzátoru apod. Kdyby totiž byly pocínovány obě strany očka, protékal by nanášený cín vlastní vahou na spodní stranu očka, kde by tvořil nevzhledné krápníčky (při větším množství nanesené pájky) nebo by skapával dolů a znečišťoval okolní součástky. Při takovém nesprávném způsobu pájení se mohou odstříknuté kapičky cínu zachytit na kostře nebo někde mezi součástkami, takže uniknou pozornosti; hrozí kdykoli uvolněním a mohou se otřesy nebo pohybem (při otáčení kostry po montáži apod.) dostat na taková místa (jakými jsou třeba objímky miniaturních elektronek), kde způsobí zkrat se všemi dalšími nepříjemnými následky. Proto zásadně používáme pájky spíše méně než více, ale ne zase tak málo, aby se připojený spoj ulomil. V dobře provedeném spoji má být pájka dobře rozteklá, nikoli strupovitá, a má vytvářet souměrnou vrstvu.

Někdy se však vyskytne takový spoj, že na jeho řádné propájení je třeba více cínu. Pak je nutné řádně prohřát celý spoj — hlavně při připojování další součástky do téhož bodu — aby nestejnoměrnou teplotou nevznikalo pnutí v pájce, které by mohlo způsobit „studený" spoj. Rovněž se vyvarujeme foukání a dotýkání spájeného místa nasliněným prstem při spěšné práci, neboť tím způsobujeme nestejnoměrným ochlazováním pájky pnutí a vzniká nedokonalý spoj.

K pájení spojů se hodí nejlépe elektrická páječka pistolového tvaru, která je velmi praktická a úsporná, a již se u nás továrně vyrábí. Při práci

s ní však pamatujme, že hrot má směřovat dolů, aby pájka lépe zatékala do spoje. Páječku držíme tak dlouho, až se pájka rozteče po spájeném místě a vytvoří lesklou kapku, která po vychladnutí ztemní.

Zmíníme se ještě o způsobu správného připojování jednotlivých součástí k pájecím vývodům miniaturních novalových objímek. Tyto vývody tvoří pocínovaná pera vhodného tvaru, která jsou volně pohyblivá, tj. mají



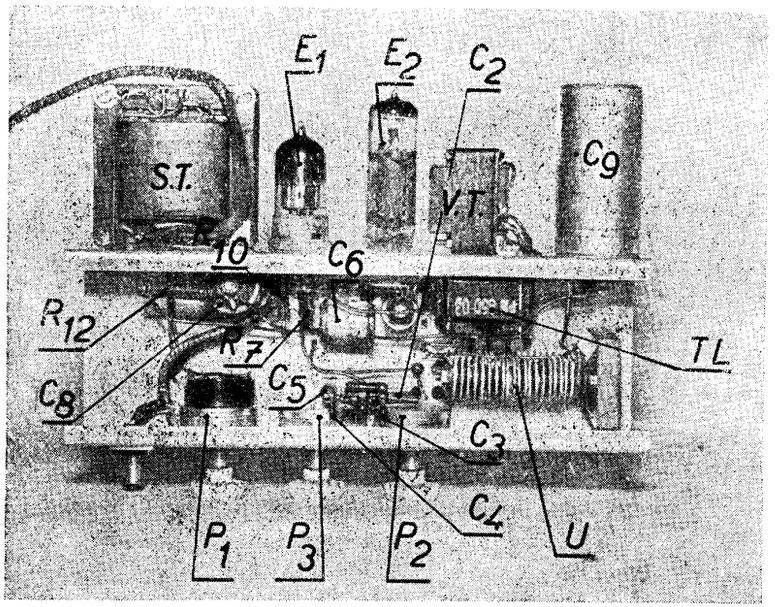
Obr. 97. Pohled na hotový a zapojený zesilovač.

určitou vůli. To proto, aby se při zasouvání elektronky do objímky dosáhlo spolehlivého a pevného spojení všech kolíků s jednotlivými vývodovými pery. Je nutné, aby každé pero ve své komůrce mělo možnost se přizpůsobit eventuálním tolerancím v rozteči a rozchodu kolíků elektronky. V praxi jsou tyto tolerance nepatrné, mnohem častěji se vyskytuje ohnutí jednoho nebo více kolíků, což musí být zahrnuto do přípustné vůle per.

Při připojování musíme tedy dbát na to, abychom nevhodným způsobem nezrušili pohyblivost kontaktů. To se může stát jednak zanesením per přebytkem cínu, jednak nevhodným ohýbáním per do pravého úhlu, a to hned u jejich vyústění z objímky.

Při pájení součástek k objímce vyjmeme vždy elektronku. Kdybychom tak neučinili, pak by nadměrným ohřátím kolíku dotykem s právě pájeným perem mohlo dojít ke vzniku mikroskopických trhlinek podél zátavu kolíku. Jimi pak pozvolna vniká do elektronky vzduch, což se po čase prozradí klesajícím výkonem. Vnikání vzduchu se též projeví zbělením nánosu

kovové vrstvy (getru) uvnitř baňky elektronky. Při zvláště dlouhém ohřevu může vzniknout vlivem nestejného pnutí ve skle i prasklina většího rozměru, což znamená okamžitý konec elektronky. K podobnému prasknutí talířku s kolíky může dojít též nešetrným zacházením při nasouvání elektronky do objímky. Obvykle k tomu dochází při násilném vtlačení elektronky do objímky, jejíž jedno pero bylo výstředně usazeno a deformováno.



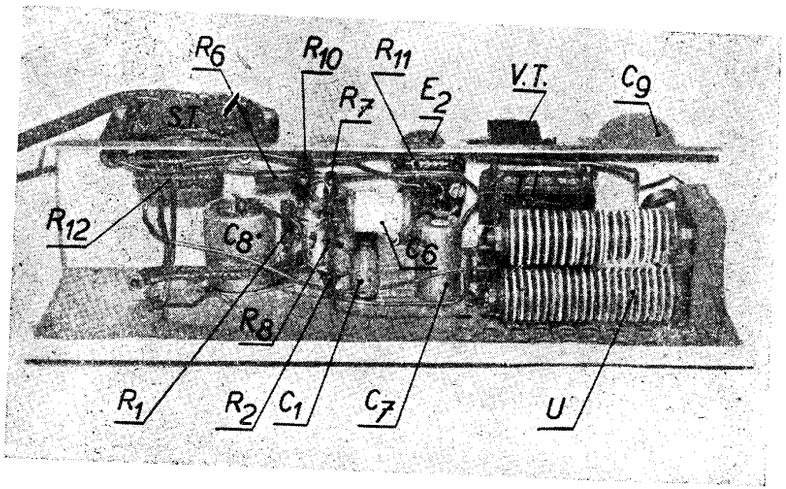
Obr. 98. Pohled na rozmístění jednotlivých součástí pod kostrou zesilovače.

c) Zapojení zesilovače

Tolik tedy o spojích a správném pájení. Vraťme se však nyní k našemu schématu (obr. 96) a proberme si funkci tohoto typu zesilovače. První trioda tvoří vstupní předzesilovač. Je tvořena jednou polovinou sdružené dvojité triody typu 6CC41. Z její anody odebíráme zesílený signál a vedeme jej přes dvojici pasivních korekčních členů na mřížku druhé triody. Po zesílení signálu na příslušnou velikost odebíráme z její anody budicí napětí pro koncový zesilovač, jež tvoří strmá pentoda typu EL84 v „ultra-

lineárním“ zapojení. Ze sekundárního vinutí výstupního transformátoru je dále vedena napěťová záporná zpětná vazba do katody druhé triody, která zmenšuje vnitřní odpor koncové elektronky a tím i zkreslení.

Z popisu je jasně patrná příbuznost zapojení s dříve popsaným korekčním zesilovačem. A skutečně triodová část zesilovače se od něho liší jen tím, že druhá elektronka nepracuje jako katodový sledovač (se ziskem 1),

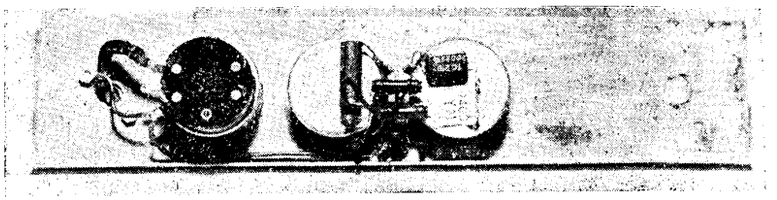


Obr. 99. Pohled na jednotlivé součásti při odejmutí přední stěny kostry zesilovače

nýbrž jako samostatný zesilovač. To je nutné proto, že vzhledem k značnému celkovému útlumu v korekčních obvodech nezávislé regulace hloubek a výšek je třeba dosáhnout dalšího zesílení v druhém triodovém stupni, má-li být koncová elektronka dostatečně vybuzena.

Na obr. 97 vidíme hotový a zapojený zesilovač, tentokrát z druhé strany. Na obr. 98 je pohled zespodu, při čemž veškeré viditelné součástky jsou označeny svými indexy.

Na obrázcích si všimneme ještě jedné důležité pomůcky, o které zatím ještě nebyla zmínka. Jsou to pryžové průchodky, které umísťujeme všude tam, kde procházejí vodiče otvory v kostře. V našem případě je to u síťového a výstupního transformátoru. Pryžové průchodky, které se vyrábějí v několika velikostech, chrání izolační trubičku spojů proti prodření ostrou hranou kostry. Zamezují tak vznik náhodných zkratů se všemi nepříznivými následky. Velmi dobře patrné jsou tyto ochranné průchodky



Obr. 100. Přední stěna kostry s ovládacími prvky hlasitosti a barvy zvuku a s připojovací stíněnou koncovkou.

na obr. 99, na kterém je pohled do zesilovače při odšroubovaném předním panelu. Ovládací prvky jsou na obr. 100. Snímky ukazují dosti názorně rozmístění drobných součástí a spojů.

Seznam součástek:

Elektronky	E_1 = 6CC41 s objímkou
	E_2 = EL84 s objímkou
Kondenzátory	C_1 = 50 000 pF/250 V
	C_2 = 200 pF
	C_3 = 2200 pF
	C_4 = 2200 pF
	C_5 = 25 000 pF
	C_6 = 0,1 μF/250 V
	C_7 = 50 μF/15 V
	C_8 = 50 μF/275 V
	C_9 = 2 × 50 μF/350 V
Odpory	R_1 = 2000 Ω/0,25 W
	R_2 = 320 kΩ/0,25 W
	R_3 = 100 kΩ/0,25 W
	R_4 = 100 kΩ/0,25 W
	R_5 = 10 kΩ/0,25 W
	R_6 = 100 kΩ/0,25 W
	R_7 = 2 kΩ/0,25 W
	R_8 = 200 Ω/0,25 W
	R_9 = 470 kΩ/0,25 W
	R_{10} = 3 kΩ/0,25 W
	R_{11} = 140 Ω/1,0 W
	R_{12} = 22 kΩ/1,0 W
Potenciometry	P_1 = 1 MΩ/G
	P_2 = 1 MΩ/N
	P_3 = 1 MΩ/N

Transformátory

výstupní: (vhodný typ TESLA 3PN67303); v našem případě však byl navinut na jádro M55 (staršího typu) s plochou středního sloupku $S = 3{,}5\ cm^2$.

I. 3500 závitů ⌀ 0,18 CuL, odbočka na 1550. závitu
II. 97 závitů ⌀ 0,7 CuL

(Každá vrstva primárního vinutí s prokladem !)

síťový: (lze nahradit výrobkem TESLA PN66132 nebo jiným pro odběr proudu 60 mA, 270 V)
navinut na jádře M 72/74, $S = 6{,}1\ cm^2$, magnetická indukce 1,18 T; 3 z/V

V	V	A	⌀	N
120 220	120 100	0,185 0,1	0,35 0,25	756 630
	280 6,3	0,06 1,1	0,18 0,9	1940 44

Tlumivka 5 H, 50 mA, typ TESLA PN 65 003.

d) Uvedení do chodu

Když skončíme veškerou montáž a pájení, přistoupíme k vyzkoušení zesilovače. Připojíme přístroj šňůrou k síti, avšak než jej uvedeme do chodu spínačem V, odpojíme usměrňovač. To proto, abychom si nejprve ověřili činnost transformátoru naprázdno. Je též samozřejmé, že volič napětí (na svorkách transformátoru) bude souhlasit s napětím sítě, o čemž se přesvědčíme především. Pak teprve sepneme spínač. Při správné funkci uslyšíme zpravidla jemný, sotva slyšitelný bzukot. Je způsoben chvěním jednotlivých plechů transformátoru v rytmu síťového kmitočtu. Kdyby bzukot byl příliš hlasitý, znamenalo by to, že není nastaveno správné napětí (např. místo 220 V chybně 120 V), nebo že v okruhu transformátoru je někde zkrat. Příliš rušivý bzukot však také může vzniknout nedbale staženými plechy, které se mají před montáží zalakovat i s cívkou izolačním lakem. Je-li všechno v pořádku, necháme transformátor zapnutý po dobu asi jedné hodiny; transformátor se nesmí znatelně ohřát — musí být jen mírně vlažný.

Po této zkoušce připojíme usměrňovač a zkoušíme dále, stále ještě bez elektronek. Nyní změříme voltmetrem napětí na elektrolytickém kondenzátoru C_9. Bude bez odběru asi 340 V. Pak zesilovač vypneme, zasadíme koncovou elektronku, zapneme a pokračujeme dále ve zkoušení. Po sepnutí spínače — asi tak po půl minutě — je již dobře patrná nažhavená katoda elektronky. Z toho vyplývá, že i okruh žhavicího napětí 6,3 V je v pořádku. Další kontrolou žhavicího napětí bude pochopitelně přeměření střídavým voltmetrem na příslušném rozsahu.

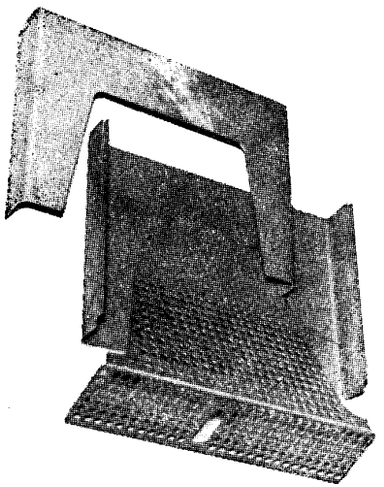
Nyní vyzkoušíme obvod koncové elektronky. Toto zkoušení je velmi jednoduché. Dotkneme-li se po nažhavení prstem (při špatné přístupnosti neizolovaným drátem) mřížky G_1 koncové elektronky, okamžitě se musí ozvat z reproduktoru slabé bručení. Dále zkontrolujeme voltmetrem provozní napětí. Tak na katodovém odporu naměříme úbytek na spádu asi 8 V. Na anodě asi 250 V a na stínicí mřížce asi 256 V, kdežto na prvním elektrolytickém kondenzátoru (myšleno směrem od usměrňovače) naměříme asi 280 V. Pokles napětí na tomto kondenzátoru proti hodnotě bez odběru (340 V) vzniká spádem na odporu usměrňovače a na odporu samotného sekundárního vinutí transformátoru. Rozdíl napětí mezi prvním elektrolytickým a druhým elektrolytickým kondenzátorem je opět dán úbytkem na odporu vinutí tlumivky.

Nyní zasuneme dvojitou triodu do objímky a počkáme, až se nažhaví její katoda. Když se tak stane (což je dříve než u koncové elektronky, neboť katoda koncové elektronky proti katodám triod je větší), uslyšíme při nastaveném regulátoru hlasitosti P_1 na plno z reproduktoru velmi jemný bzukot. Jestliže se celá soustava prudce rozpíská, je nutné přehodit mezi sebou vývody výstupního transformátoru na sekundární straně, čímž odstraníme nežádanou kladnou vazbu — příčinu pískání a vytí — a zavedeme zápornou zpětnou vazbu. O ní již víme, že sice zmenšuje zisk, ale zlepšuje kmitočtovou charakteristiku a zmenšuje zkreslení, čímž dosahujeme věrnější reprodukce.

Kdyby pískání nebo vytí nezmizelo, kmitá koncová elektronka, což odstraníme vřazením tlumicích odporů do přívodu k řídicí mřížce G_1 v hodnotě 1 až 5 kΩ a do přívodu k stínicí mřížce G_2 v hodnotě 1 až 2 kΩ. Tlumicí odpory připojíme těsně k vývodům z objímky koncové elektronky a použijeme raději odporů miniaturních (v našem případě však nebylo třeba jich použít, proto nejsou ani ve schématu zapojení vyznačeny). Kmitání výkonové koncové elektronky lze odstranit též blokováním anody proti zemi kondenzátorem 500 až 1000 pF. Tímto způsobem se však též nežádaně odřezávají vysoké tóny, což pro jakostní zesilovač je nevýhodné.

Při dalším zkoušení si počínáme obdobně jako u koncové elektronky. Opět se dotýkáme prstem nebo odizolovaným drátem mřížky druhé triody a pak prvé triody. V prvém případě při dotyku uslyšíme z reproduktoru zesilovače (je-li vše v pořádku) hukot a bručení hlasitěji, než tomu bylo u koncové elektronky. Při dotyku na mřížku první triody uslyšíme hukot a bručení v plné intenzitě. Otáčením regulátorů hlubokých a vysokých

tónů se bude dále měnit jeho barva. Ve stejné intenzitě uslyšíme bručen i při dotyku na „živé" vstupní zdířce (při vytočeném regulátoru hlasitosti na plno). Při otáčení hřídelem potenciometru P_1 doleva hlasitosti ubývá. Nyní zbývá již jen přezkoušet pracovní napětí obou triod. Na první anodě (vstupní) naměříme asi 100 V, kdežto na druhé anodě podstatně více — až 170 V. Na katodových odporech zjistíme velikosti mřížkových předpětí, které jsou u první mřížky asi 0,8 V a u druhé asi 1,25 V.

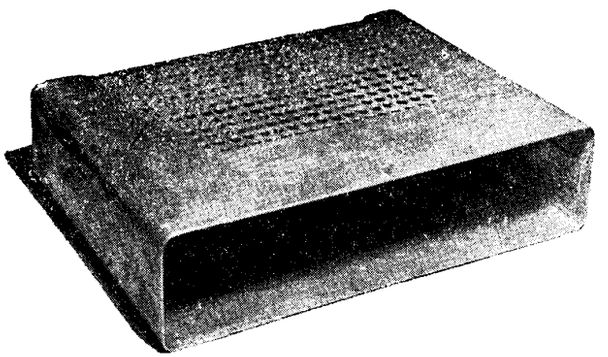


Obr. 102. Jednotlivé dílce skříně před konečnou sestavou.

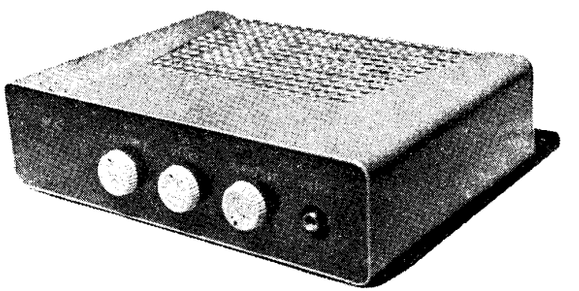
Souhlasí-li uvedená napětí s naměřenými a uspokojí-li nás dále i „prstová zkouška", je vše v pořádku. Můžeme připojit k zesilovači přenosku gramofonového přístroje a pak se musí hned napoprvé po připojení a uvedení do chodu ozvat z reproduktoru její signál. Hlasitost pro „pokojový" poslech je dostačující. Jakost reprodukce je velmi dobrá. Musíme zde však připomenout, že při zavádění zpětné vazby z výstupního transformátoru se i při nesprávném zapojení vývodů nemusí vždy zesilovač rozhoukat nebo rozpískat. Pak by si možná čtenář nevěděl rady, jak mají být vývody zapojeny. Zde zásadně platí, že katodový a zemnicí spoj musíme připojit do té polohy (z možných dvou), při které je reprodukce slabší. O tom, která to je, přesvědčíme se záměnou přívodů mezi sebou. Pak teprve přívody připájíme natrvalo.

e) Skříň pro zesilovač

Po ukončení vlastní stavby zesilovače zbývá už jen poslední práce: umístit hotový výrobek do jednoduché, ale přesto vzhledné skříně, která by vyhovovala všem požadavkům na ni kladeným. Může to být dřevěná skříň, ale výhodnější je kovová, přestože dřevěnou lze snadněji zhotovit. Pro kovovou skříň mluví mnohdy i obvyklá nutnost stínění, možnost vzhledného tvarování nejrůznějších ohybů a konečný vzhled, který je možno dát kovovým skříním různými povrchovými úpravami. V tomto směru byl obzvláště v poslední době učiněn značný pokrok vývojem stříkacích laků, tzv. „tepaných". Je to zvláštní druh vypalovacích (a v některých případech i přímo schnoucích) laků, jež vytvářejí mírně plastický povrch stříbřitě se lesknoucí, který je hladký a snadno omývatelný. Přitom mu zůstávají zachovány vlastnosti krystalických laků, že se totiž většinou



Obr. 103. Sestavená skříň před povrchovou úpravou. Spoje jsou provedeny nýtováním, což je snadnější způsob pro amatérskou výrobu než bodové sváření (o němž byla zmínka v textu).

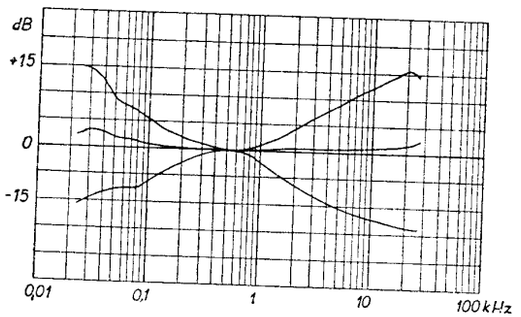


Obr. 104. Pohled na zesilovač ve skříni.

nepotřebuje před stříkáním povrch skříně tmelit a brousit, neboť tepaný lak zarovnává sám svou plastikou drobné nerovnosti povrchu. Dnes se tyto laky vyrábějí v různých barvách a odstínech.

Jak vypadá skříň, ukazuje obr. 101 (v příloze). Skříň se skládá ze dvou kusů. Je to jednak vlastní panelová skříň, jednak přední vyjímatelný panel, který se připevní na přední čelo zesilovače.

Rozměry hotové skříně jsou 232 × 170 × 59 mm. Skládá se ze tří částí (horní část A, spodní část B a větrací děrovaný plech, který tvoří i zadní stěnu — neboli část C). Ostatně skladba těchto částí a jejich rozměry s příslušnými otvory jsou dosti zřejmé z výkresu. Části jsou spojeny bodovým svarem přeplátováním (děrovaný plech s horní částí A), nebo pomocí přiložných vyztužujících pásků (horní a dolní část skříně sestaveny na doraz a jejich kraje přibodovány do podélných pásků E). Tímto bodovým svařováním jsou připevněny do spodní části skříně (B) čtyři kruhové podložky průměru 12 mm. Po přivaření se provrtají a opatří závitem M4. K těmto podložkám se po konečné povrchové úpravě výrobku krátkými šrouby M4 připevní kruhové pryžové podložky — nožky, které brání poškození podkladu, na němž bude zesilovač při provozu stát.



Obr. 105. Kmitočtový průběh zesilovače.

Děrovaný plech, který umožňuje větrání a ochlazování zesilovače, je stejné tloušťky jako ocelový plech na všech ostatních částech skříně, tj. asi 1 mm. Je mu třeba věnovat velkou pozornost při montáži, neboť při děrování vzniká na jeho jedné straně tzv. jehla, která může způsobit zranění. Je proto samozřejmé, že ji odstraníme ještě před ohnutím dílu. Zadní díl děrovaného plechu tvoří zadní stěnu skříně, jíž jednak prochází přívodní šňůra, jednak má výstupní zdířky k připojení reproduktoru. Tento díl je v bočních spárách a spodní spáře spojen s částí B skříně závarem, čímž se skříň celkově zpevní proti deformacím.

Přední panel — část D — má rozměry 230 × 57 mm a má zaoblené rohy shodně se zaoblením skříně v poloměru $r = 7$ mm. Připevníme jej ke kostře zesilovače pomocí dvou distančních trubiček přivařených k panelu a opatřených závitem M3. Distanční trubičky mají průměr asi 10 mm a závit jimi prochází po celé délce včetně panelu. Z vnitřní strany do nich

zasahují šrouby, které spojují panel pevně s přední stěnou zesilovače; z venkovní strany pak umožňují přichycení plexitového štítku s vyrytými nápisy označujícími funkci ovládacích prvků. Plexitový štítek je v místě prázdného otvoru (první zleva při pohledu zepředu) natřen průhlednou barvou. Na kostře zesilovače pak je přichycena objímka s kontrolní žárovkou, jejíž světlo hlásí, že je zesilovač v chodu.

Pro usnadnění oběhu vzduchu a dosažení lepšího chlazení je v místě selenového usměrňovače ve spodní části skříně vyvrtáno několik otvorů průměru 6 mm. (Nejsou na výkrese vyznačeny). Obrázky 102 až 104 doplňují celkovou představu o kostře zesilovače.

Závěrem zbývá jen dodat, že zesilovač musí mít třípramennou šňůru (podle předpisů ESČ), kterou je nutno řádně připojit tak, aby bylo zajištěno spolehlivé zemnění kovové skříně a kostry zesilovače. Na obr. 105 je kmitočtová charakteristika zesilovače.

LITERATURA

[1] Schlechtweg W. — Principien der Zweikomponentenschrift bei der stereofonischen Schallplatte. Funktechnik (1958) čís. 12

[2] Schlechtweg W. — Hinweise für die Aufstellung von Stereoanlagen in Wohnräumen und ihre technische Kontrolle. Funktechnik (1958) čís. 23

[3] Gutmann J. — Einfacher Stereo-Zusatzverstärker mit 5 Watt Ausgangsleistung. Funktechnik (1958) čís. 23

[4] Stereophonie — Ein Weg zum Neuem Hören. Funktechnik (1958) čís. 11

[5] Stereophonische Aufnahme und Wiedergabe von Schalle. Funktechnik (1958) čís. 11

[6] Redlich H., Klemp H. J. — Stereophonische Aufzeichnung auf Schallplatten. Funktechnik (1958) čís. 11

[7] Stereophonie, das neue Tonwunder. Das Elektron (1958) čís. 11

[8] Ein Empfänger für Stereophonischen UKW — Empfang. Das Elektron (1958) čís. 11

[9] Stereo-Schaltungstechnik. Das Elektron (1958) čís. 11

[10] TM 60, das neue Tonbandgerät. Das Elektron (1958) čís. 11

[11] Stereo — Rundfunk. Das Elektron (1958) čís. 11

[12] Geschichte der Stereo — Schallplatte. Das Elektron (1958) čís. 11

[13] Stereofonie in der Praxis. Radioschau (1958) čís. 10

[14] Tetzner, K.: Neue Stereo-Geräte. Radioschau (1958) čís. 10, str. 376—377

[15] Special issue: Stereo. Radio-Electronics (1959) březen.

[16] Hanouz Jiří Ing: Slyšíme na obě uši. Amatérské Radio (1959) čís. 7

[17] Horna O. Ing.: Nejdokonalejší invertor. Elektronik (1950) čís. 10

[18] Horňák T. Ing.: Křížový zesilovač jako invertor. Elektronik (1951) čís. 2

[19] Tauš G.: Dvoukanálový zesilovač, Amatérské radio (1959) čís. 9

[20] Šipovskij A. N.: Jakostní nízkofrekvenční zesilovače. Praha: SNTL 1954

[21] Boleslav A. Dr.: Reproduktory a ozvučnice, II. vyd. Praha: SNTL 1959

[22] Rambousek A.: Zařízení pro věrný přednes. Radiový konstruktér (1958) č. 10

[23] Pavel Ing.—Hyan Ing.: Abeceda radiotechniky. Amatérské radio (1957—1959)

[24] Tuček Z. Ing. a kolektiv: Kalendář sdělovací techniky. Praha: SNTL 1959

[25] Melezinek A. Ing.: Základy radiotechnického měření. Praha: SNTL 1959

[26] Pacák M. Ing.: Fysiologický regulátor. Elektrotechnik (1950) čís. 1

[27] Burian B.: Zjednodušený fysiologický regulátor. Elektrotechnik (1959) čís. 5

[28] Horna O. Ing.: Neobvyklé tónové clony. Elektronik (1951) čís. 5, 7

[29] Horna O. Ing.: Synthetické basy. Elektronik (1951) čís. 12

[30] Pacák M. Ing.: Řidič hlasitosti a kmitočtová charakteristika. Radioamatér (1946) čís. 12

[31] Slavík J. Dr.: Poznámky ke zlepšení reprodukce s desek. Elektronik (1950) čís 1

[32] Mířátský J.: Gramofonová technika. Praha: SNTL 1959

[33] Maurenc J.: Dvojčinné koncové stupně bez výstupního transformátoru. Radiotechnik (1944) čís. 5—6

[34] Dvoukanálový zesilovač výkonu bez výstupního transformátoru. Amatérské radio (1956) čís. 4

[35] Steube H.: Endverstärker mit Schirmgittergegenkopplung. Radio und Fernsehen (1956) čís. 11

[36] Co je to ultralineární zapojení? Amatérské radio (1959) čís. 2

[37] Nadler M.: Oscilografická měření. Praha: SNTL 1958

[38] Donát K.: Elektronický osciloskop. Praha: NV 1956

[39] Šádek V.: Napětí obdélníkového průběhu a jeho aplikace. Radioamatér (1947) čís. 10

[40] Ostrčil L.: Zdroj obdialnikového priebehu. Elektronik (1951) čís. 10

[41] Horna O. Ing.: Náhradní schéma elektrodynamického reproduktoru. Elektronik (1951) čís. 7

[42] Řepa J. Ing.: Zásady návrhu zesilovačů pro reprodukci. Radioamatér (1945) čís. 5—6

[43] Vlastnosti koncových stupňů v přehledu a příkladech. Radioamatér (1947) čís. 6

[44] Horna O. Ing.: Vnitřní odpor zesilovače. Elektronik (1951) čís. 11

[45] Kolektiv: Radiotechnická a elektroakustická příručka. Praha: ESČ 1949

[46] Janda J.: Nové výkonové zesilovače 10 a 20 W. Sdělovací technika (1957) čís. 6

[47] Donát K.: Jakostní zesilovač PPP. Amatérské radio (1958) čís. 6

[48] Boleslav A. Dr.: Měření tvarového skreslení. Elektronik (1951) čís. 10

[49] Horna O. Ing.: Zajímavě zapojené měřicí přístroje (měření skreslení tvarového a intermodulačního). Elektrotechnik (1951) čís. 6

[50] Horna O. Ing.: Jakostní zesilovač pro domácí poslech. Sdělovací technika (1957) čís. 5

[51] Pacák M. Ing.: Co je intermodulace. Elektronik (1950) čís. 8

[52] Šádek Vl.: Úvod k otázce stability zesilovačů s negativní zpětnou vazbou. Elektronik (1948) čís. 7—8

[53] Horna O. Ing.: Nové zapojení zesilovače. Elektronik (1951) čís. 8

[54] Gerasimov S. M.: Výpočet amatérských radiových přijímačů. Praha: SNTL 1954

[55] Graham R.: Audio frequency sweep generator. Radio and TV News (1957) čís. 2

[56] Pacák M. Ing.: Fysikální základy radiotechniky. Praha: Orbis 1943

[57] Smirenin B. A.: Radiotechnická příručka. Praha: SNTL 1955

[58] Přenosné výkonové nízkofrekvenční zesilovače síťové, ČSN 36 7430 — 1957

[59] Pacák M. Ing.: Početní řešení lineárních obvodů s pentodami. Slaboproudý obzor (1960) čís. 4

[60] Terman F. E.: Radio Engineer's Handbook. N. Y. 1943

[61] Boleslav A. Dr.: Přenosky pro snímání stereofonního záznamu na gramofonových deskách. Sdělovací technika (1960) čís. 2

[62] Čermák J. Ing.: Theorie negativní zpětné vazby v zesilovačích krátké vlny (1951) čís. 1—2

[63] Boleslav A. Dr.: Methody měření fáze elektrických veličin. Elektronik (1951) č. 12

[64] Jak změnit výstupní impedanci zesilovače? Amatérské radio (1957) čís. 2

[65] Pacák M. Ing.: O záporné nízkofrekvenční vazbě. Radioamatér (1943) čís. 1—3

[66] Schröder H.: Telefunken-Magnetophon 85 Stereo. Radioschau (1959) čís. 4

[67] Fernbediente Balance-Einstellung. Radioschau (1959) čís. 4

[68] Reed H.: Stereo Balance Meter. Electronics World (1959) červenec

[69] Stricken F. D.: Moderne Gegentakt-Endstufen. Radioschau (1960) čís. 1

[70] Müller D.: Umstellung von Hi-Fi Verstärken auf Stereofonie, Radioschau (1960) čís. 2

[71] Scott R. F.: 2 way stereo amplifier. Radio-Electronics (1960) čís. 2

[72] Moir J.: Output Transformers. Audio (1960) březen
[73] Cohen A. B.: Room Acoustics for Stereo. Electronics World (1960) čís. 2
[74] Boleslav A. Dr.: Stereofonní záznam na gramofonových deskách. Sdělovací technika (1958) čís. 8
[75] Grambow, I.: Ballerina-Konzert-Stereo 59, Radioschau (1958) čís. 10, str. 378—379
[76] Hyan J. T. Ing.: Stereofonní zesilovače, Amatérské radio (1960) čís. 9, str. 252—254.
[77] Hyan J. T. Ing.: Mísicí stupně pro směšování několika nf signálů, Amatérské radio (1960) čís. 8, str. 215.
[78] Barkau V. F.: Obratnaja svjaz v radioprijomnikach, Gosenergoizdat, Moskva-Leningrad (1959), 342

REJSTŘÍK

akustický zkrat 55

báze 85

Clappův oscilátor 67

činitel intermodulačního zkreslení 64
— rozptylu 43
— tvarového zkreslení 63
čištění 113

dělič logaritmický 40, 96
— napětí 49
— odporový 97
dvojí modulace 101

efektový kanál 78
elektrické výhybky 41, 51

fázový posun 11, 62
fázová charakteristika 62

generátor tónový 61, 65
— doutnavkový 68

hloubka modulace 67

charakteristika fázová 62
— kmitočtová 20, 21, 25, 30, 32, 38, 55, 61, 123
— směrová 73

indukčnost rozptylová 43
impedance vstupní 33, 38
— výstupní 29

kanál hloubkový 36, 45
— výškový 45
katodový sledovač 17, 18, 34, 67, 93, 105
kmitavý obvod 67
kmitočet dělicí 37, 45
— harmonický 37
— opakovací 65
— mezní 68
— rozonanční 57
kmitočtový modulátor 65
— průběh 48
— zdvih 66
kombinační složky 11
— tóny 37
korekce, korektory 12, 18, 21, 98, 104

měření citlivosti a výkonu 62
— činitele tvarového zkreslení 62
— kmitočtového zkreslení 61
— zesílení 61
— zesilovačů 61
mezikruží 111
mez stereofonního rozlišování 99

nadzdvižení basů 99
nahrávací postup AB 72
— — XY 73
— — MS 73
nátrubek 57
nepravé dvojčinné zapojení 96
nezávislá regulace tónů 10, 31, 34, 36, 37, 38, 88, 93, 103

Inž. Jaroslav T. Hyan

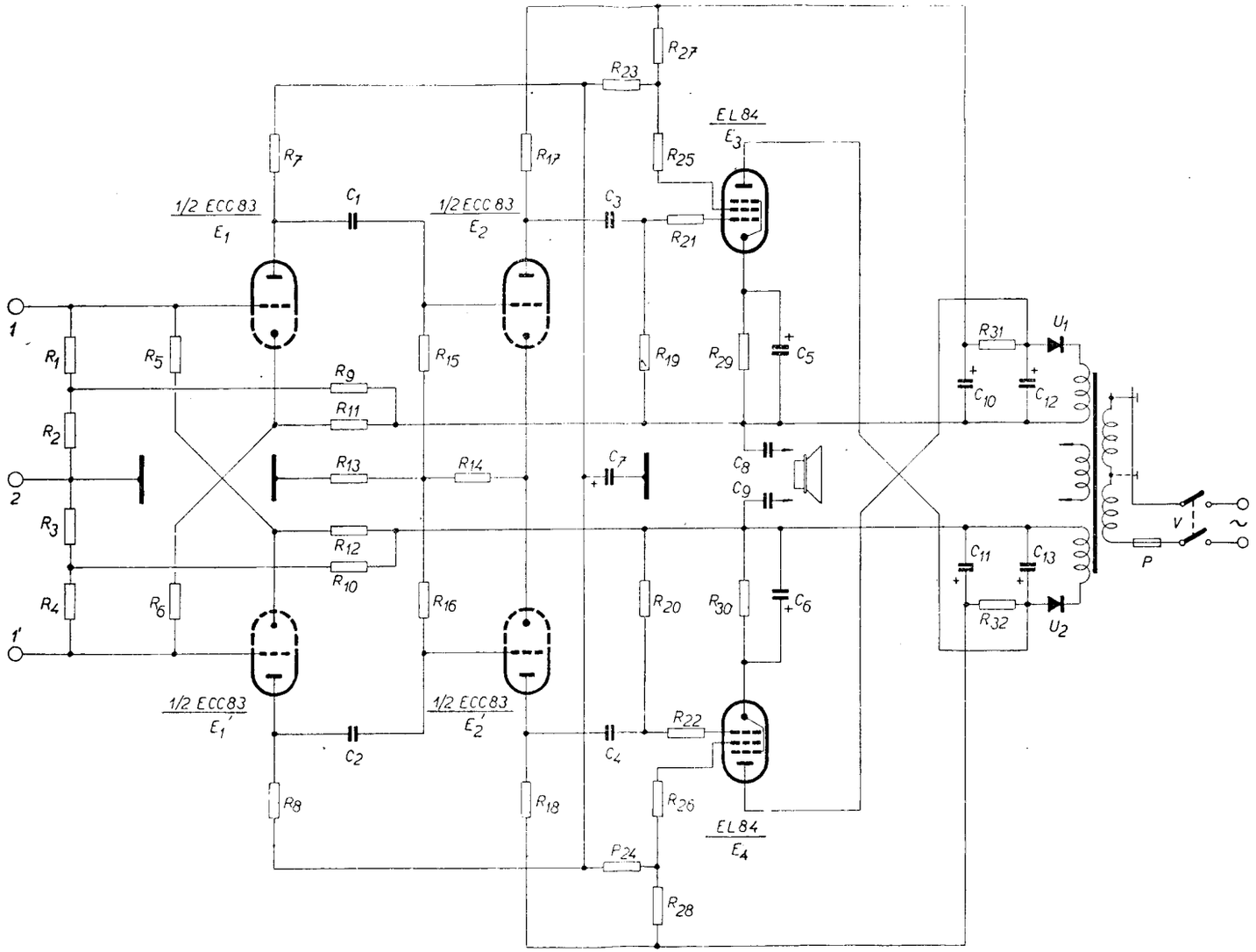
ZESILOVAČE PRO VĚRNOU REPRODUKCI

DT 621.396.645

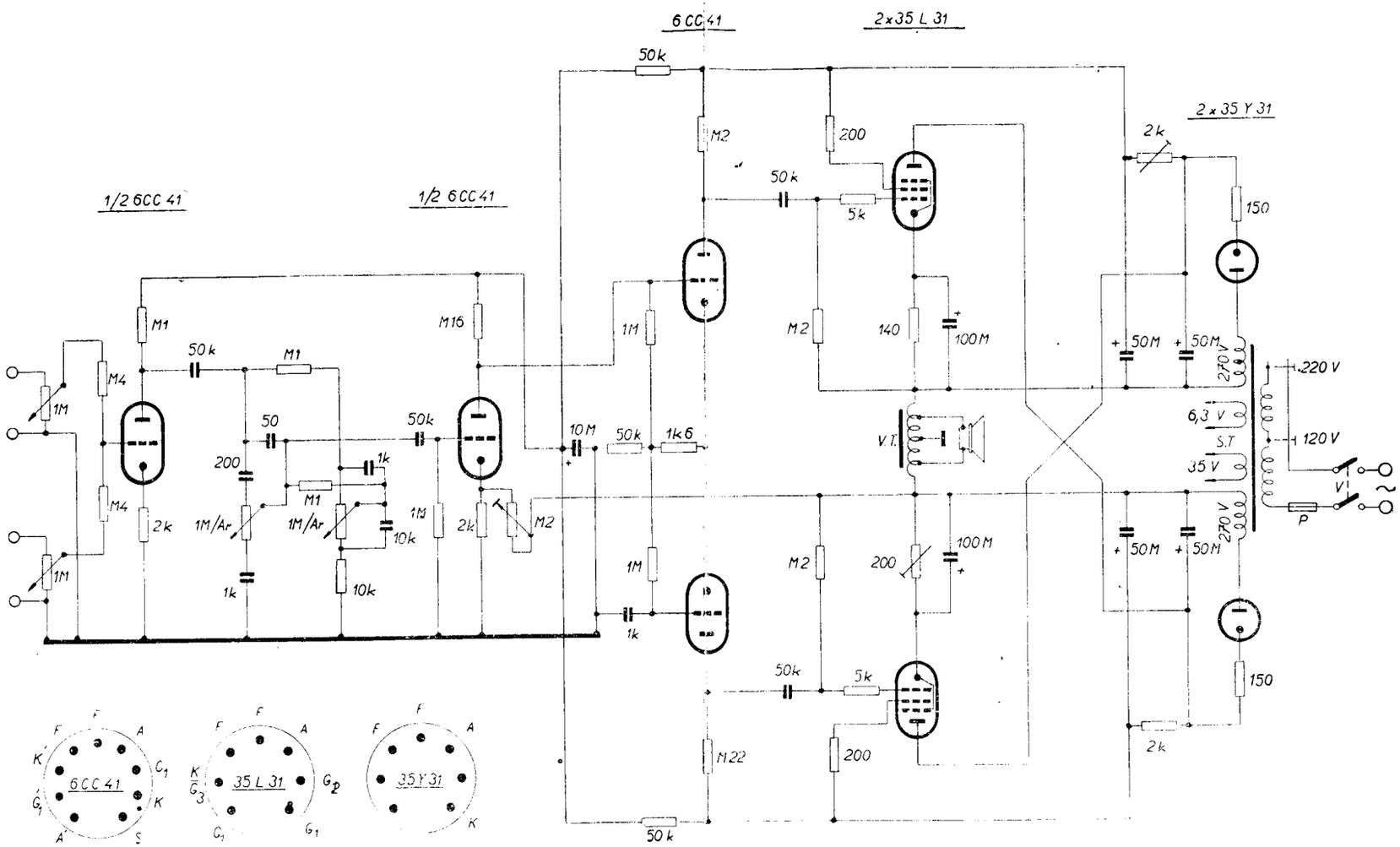
Vydalo Státní nakladatelství technické literatury, n. p., Spálená 51, Praha 1, v prosinci 1960 jako svou 3546. publikaci v řadě elektrotechnické literatury slaboproudé — Redakce elektrotechnické literatury — Odpovědný redaktor Svatoslav Neužil — Obálku navrhl Vladimír Hamzík — Grafická úprava a technická redakce Antonín Kalina — Vytiskl Knihtisk, n. p., závod 4, Sámova 12, Praha 10 — 132 stran, 2 tabulky, 105 obrázků, z toho 9 příloh — Typové číslo L26-A-3-1/5433 — 10,32 AA, 11,52 VA — D-02*01665 — I. vydání — 6215 výtisků
05-31

Cena brož. výtisku 7,70 Kčs
63/III-7(A)

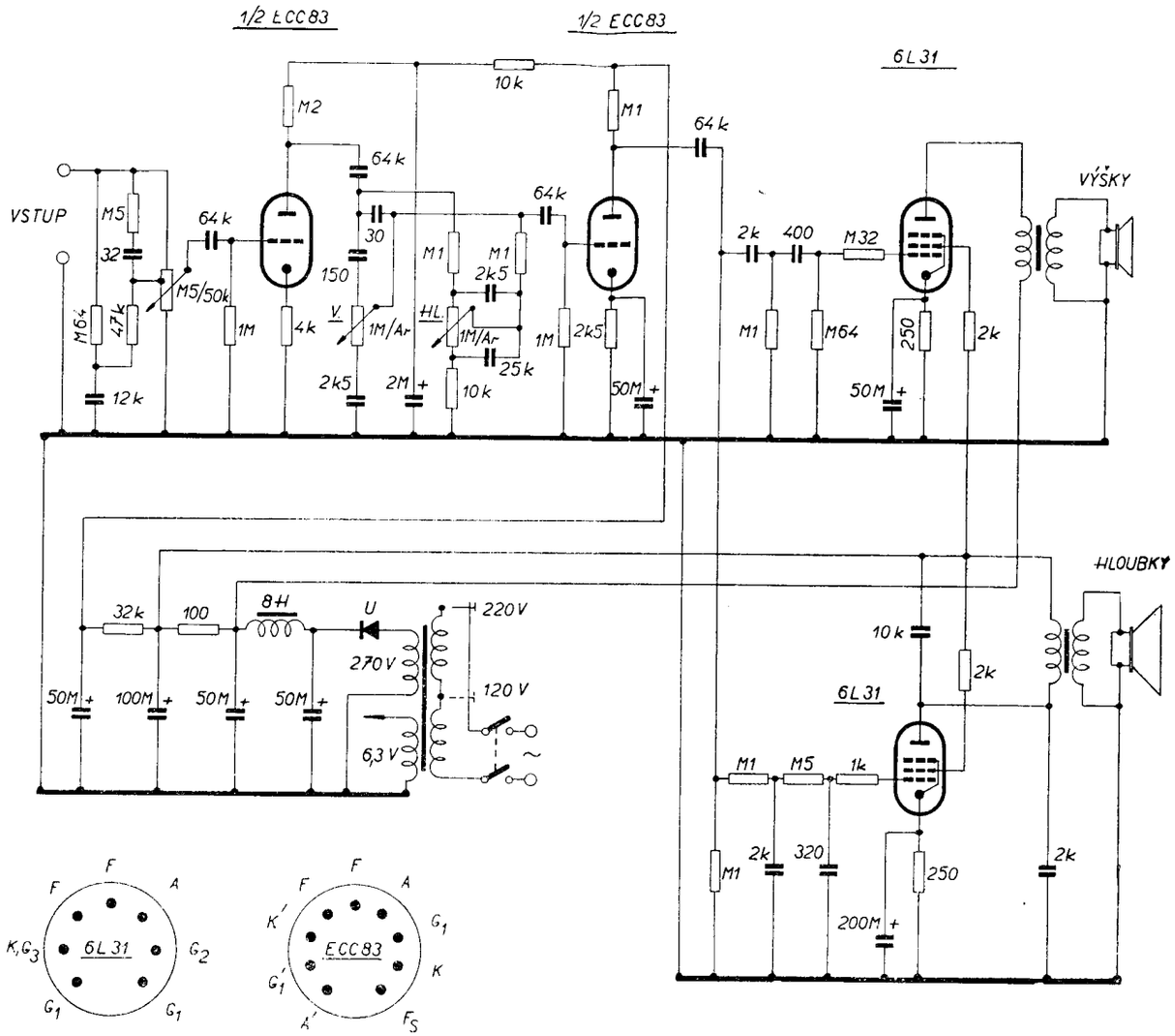
Publikace je určena radioamatérům a zájemcům o jednokanálovou a stereofonní reprodukci



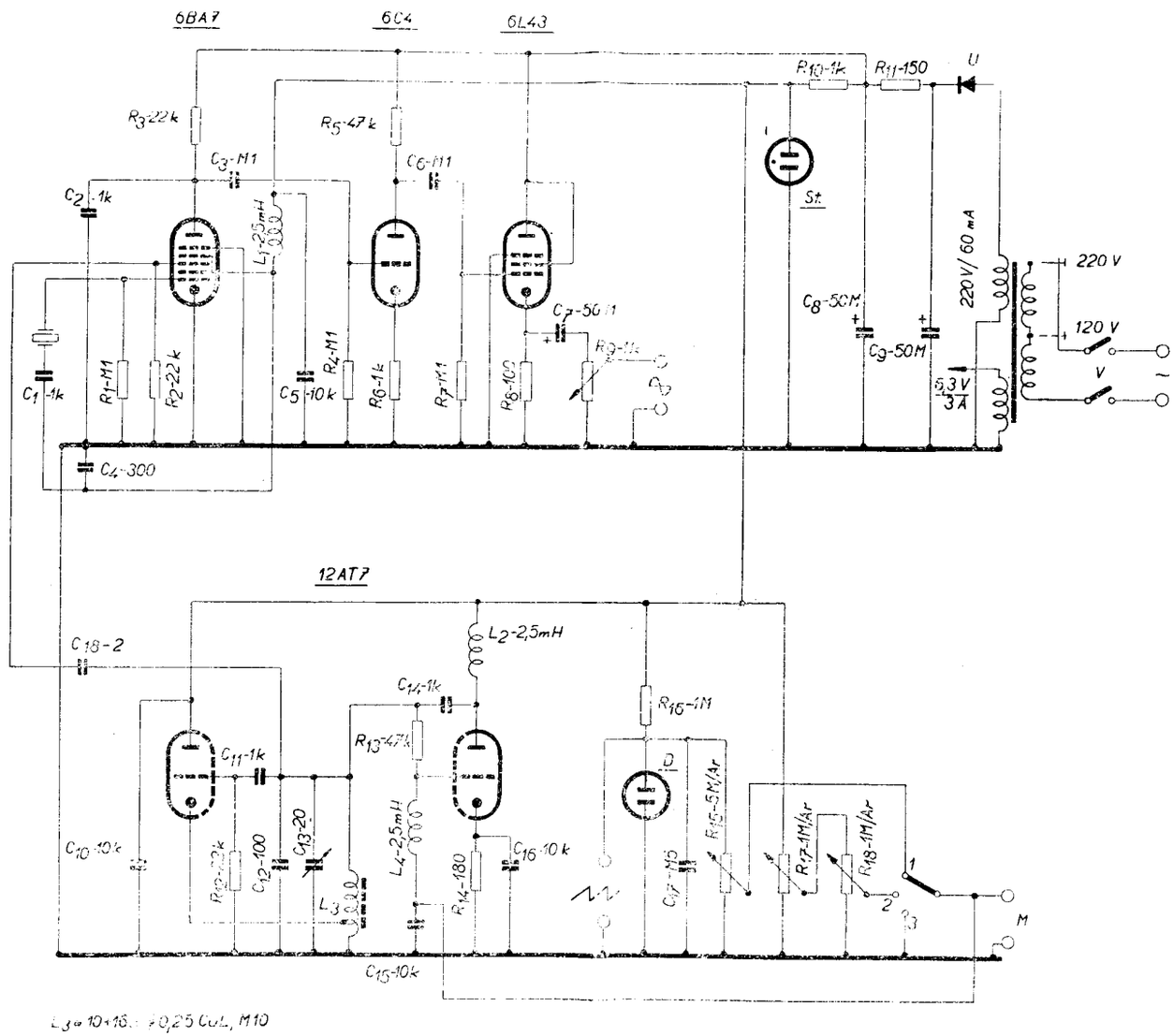
Obr. 20. Zapojení zesilovače PPP s křížovým obracečem.



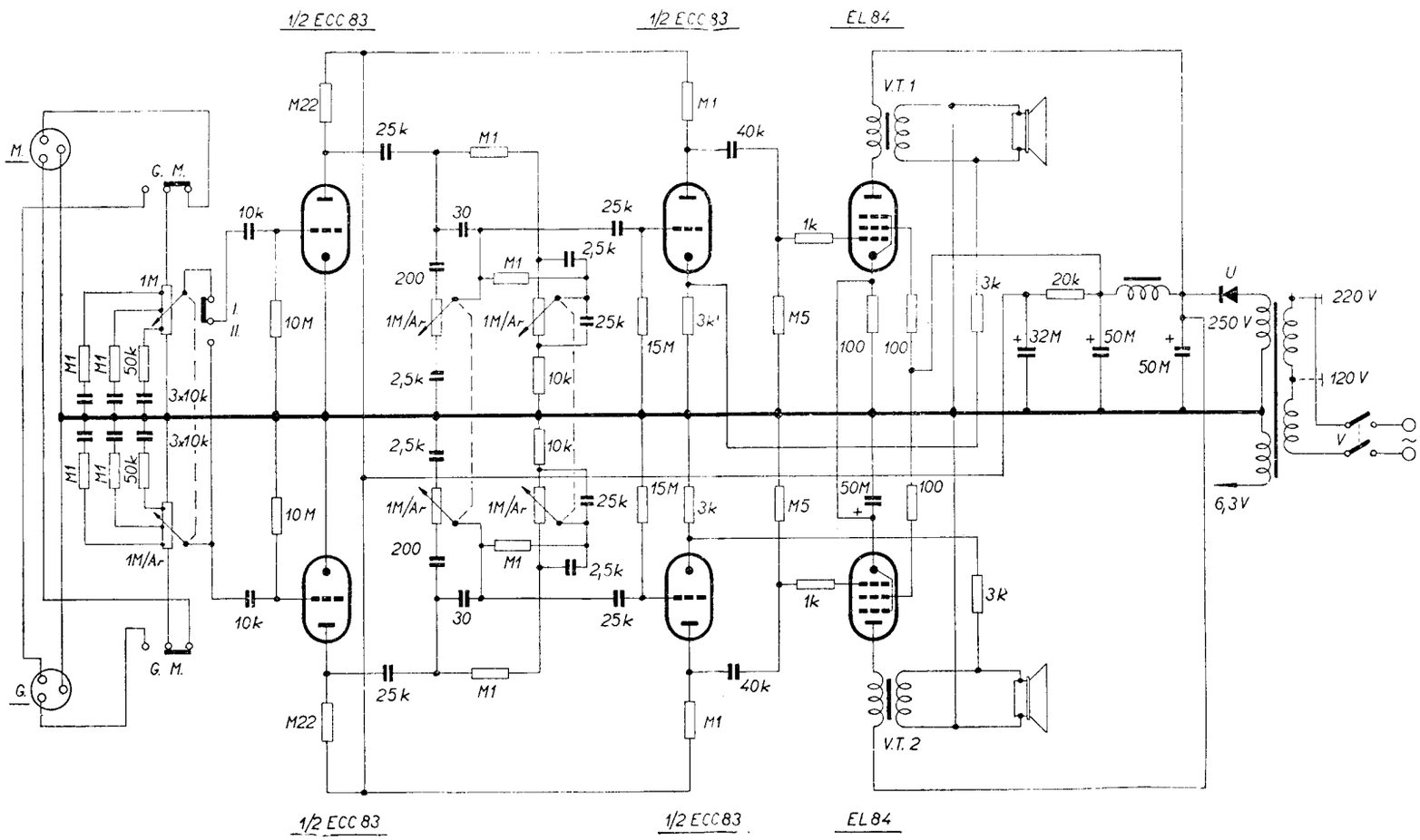
Obr. 21. Zapojení zesilovače PPP s nezávislou regulací hloubek a výšek.



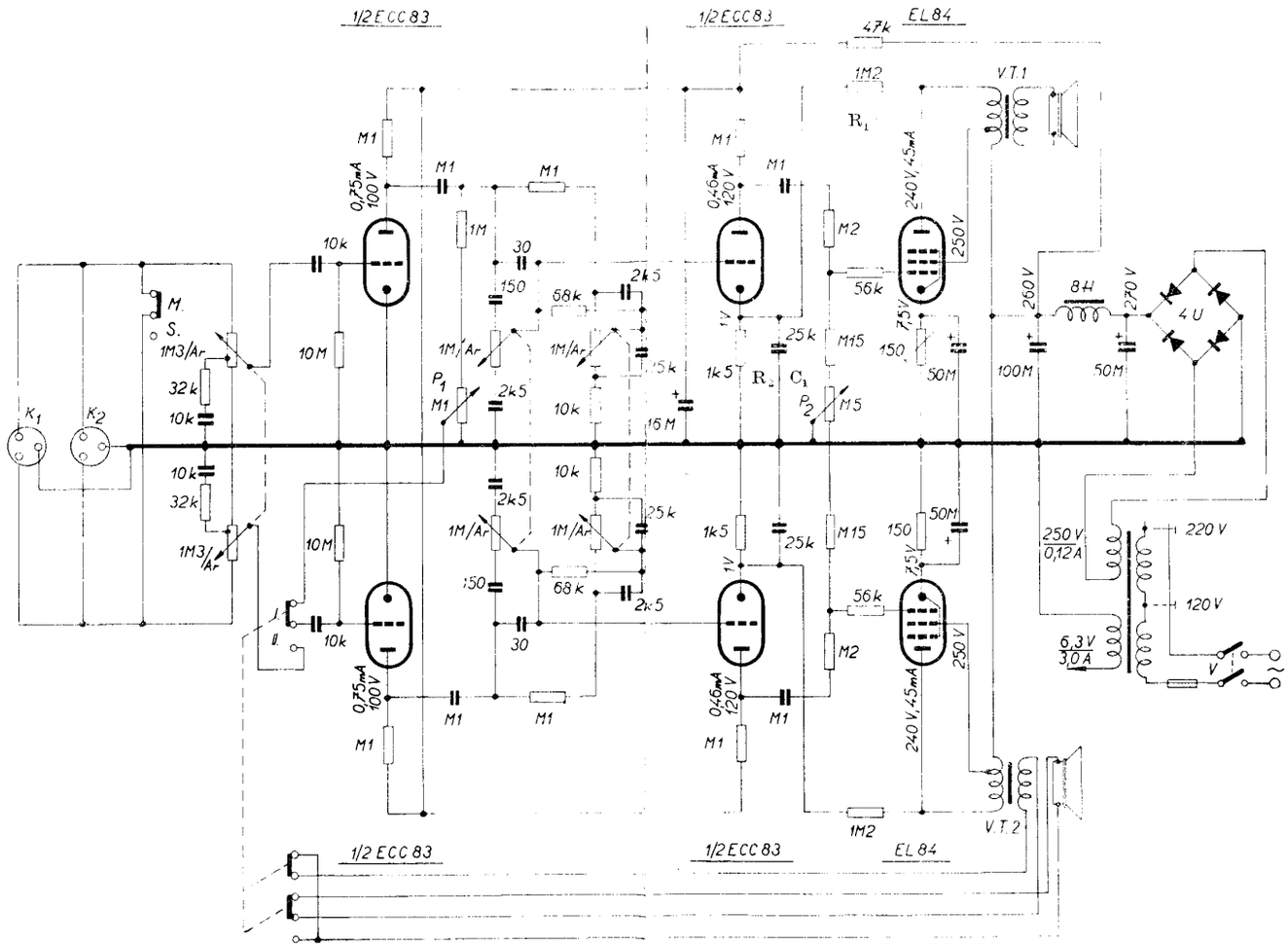
Obr. 26. Zapojení dvoukanálového zesilovače



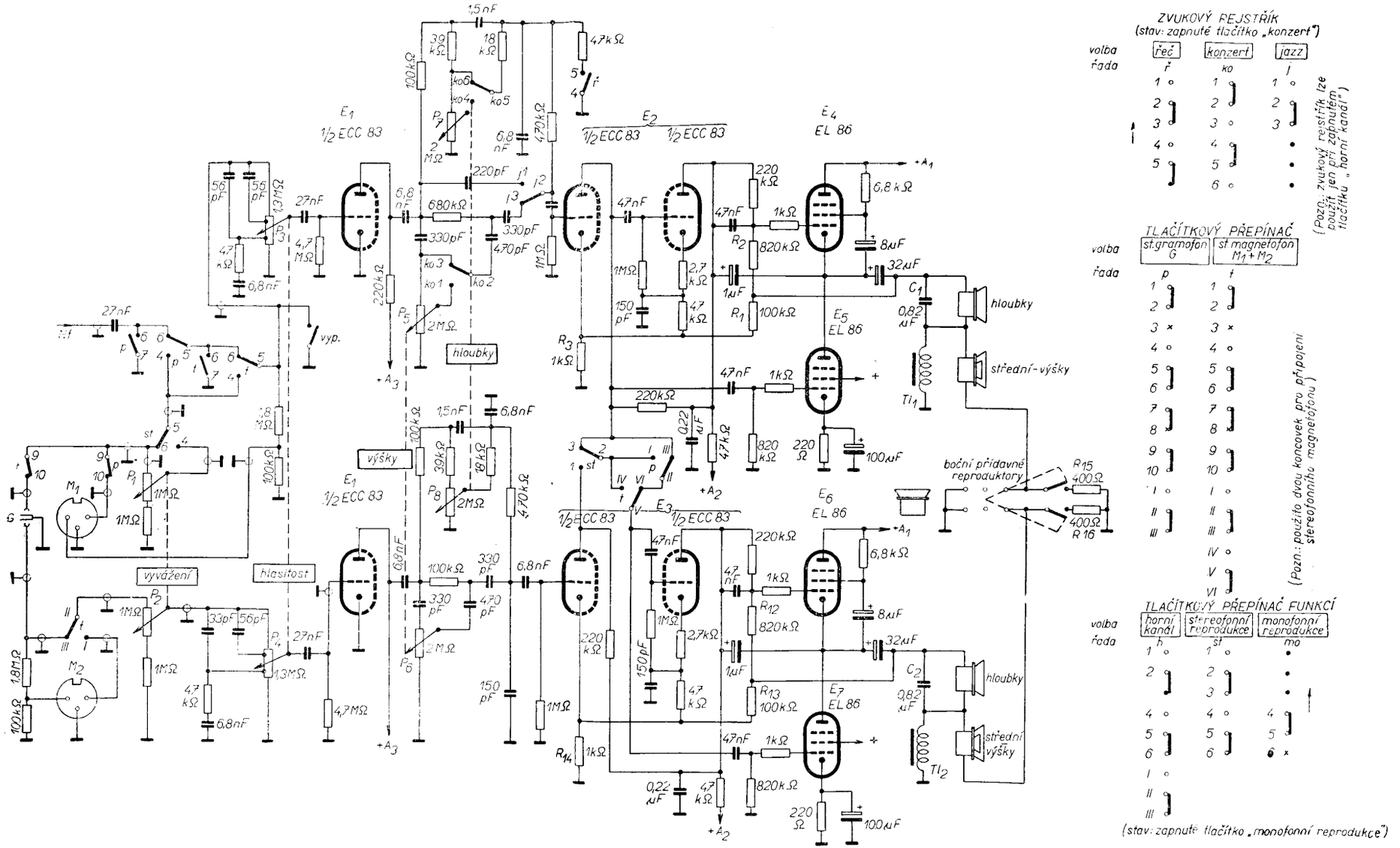
Obr. 48. Zapojení tónového generátoru a kmitočtového modulátoru.



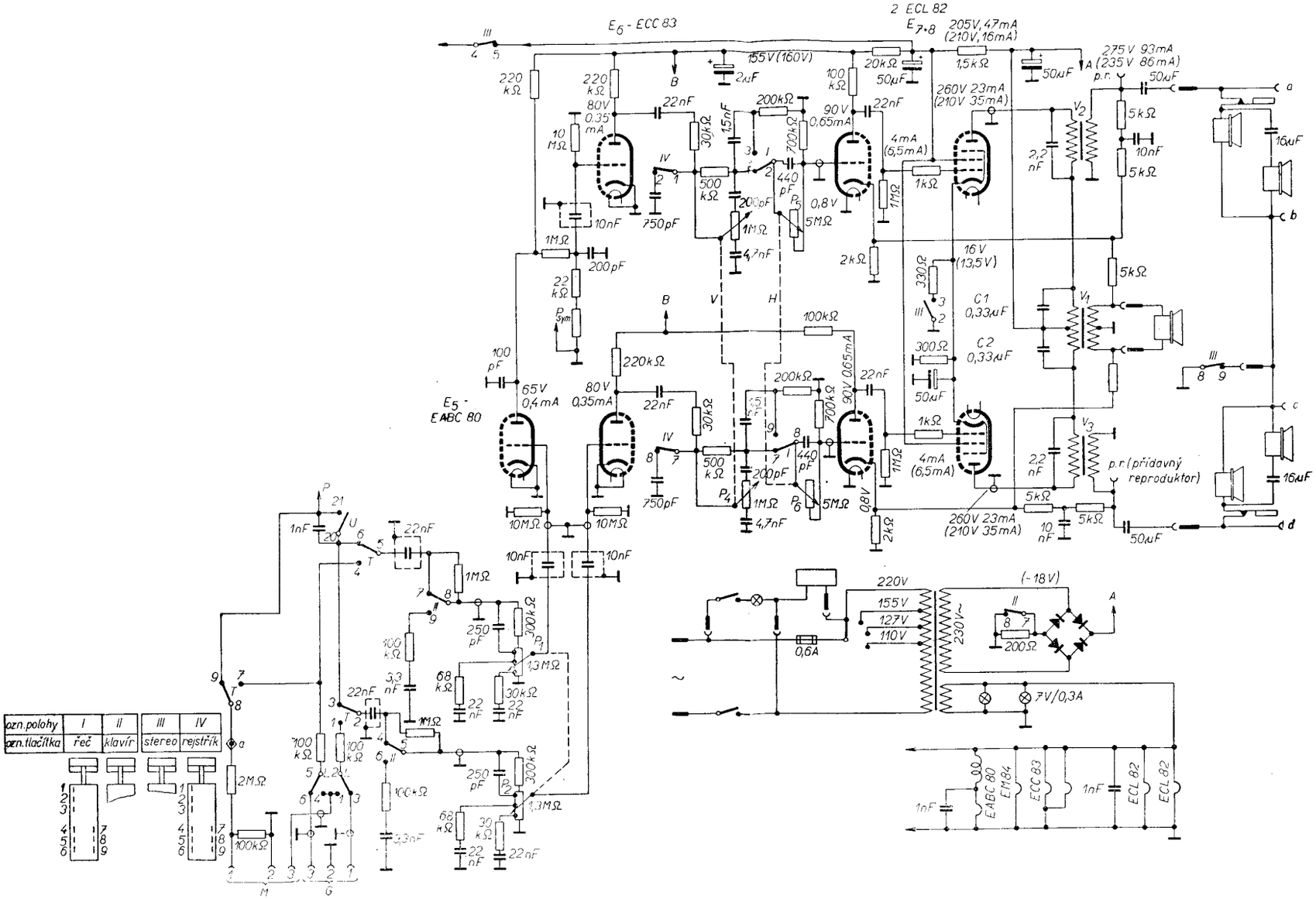
Obr. 83. Zapojení jednoduchého stereofonního zesilovače.



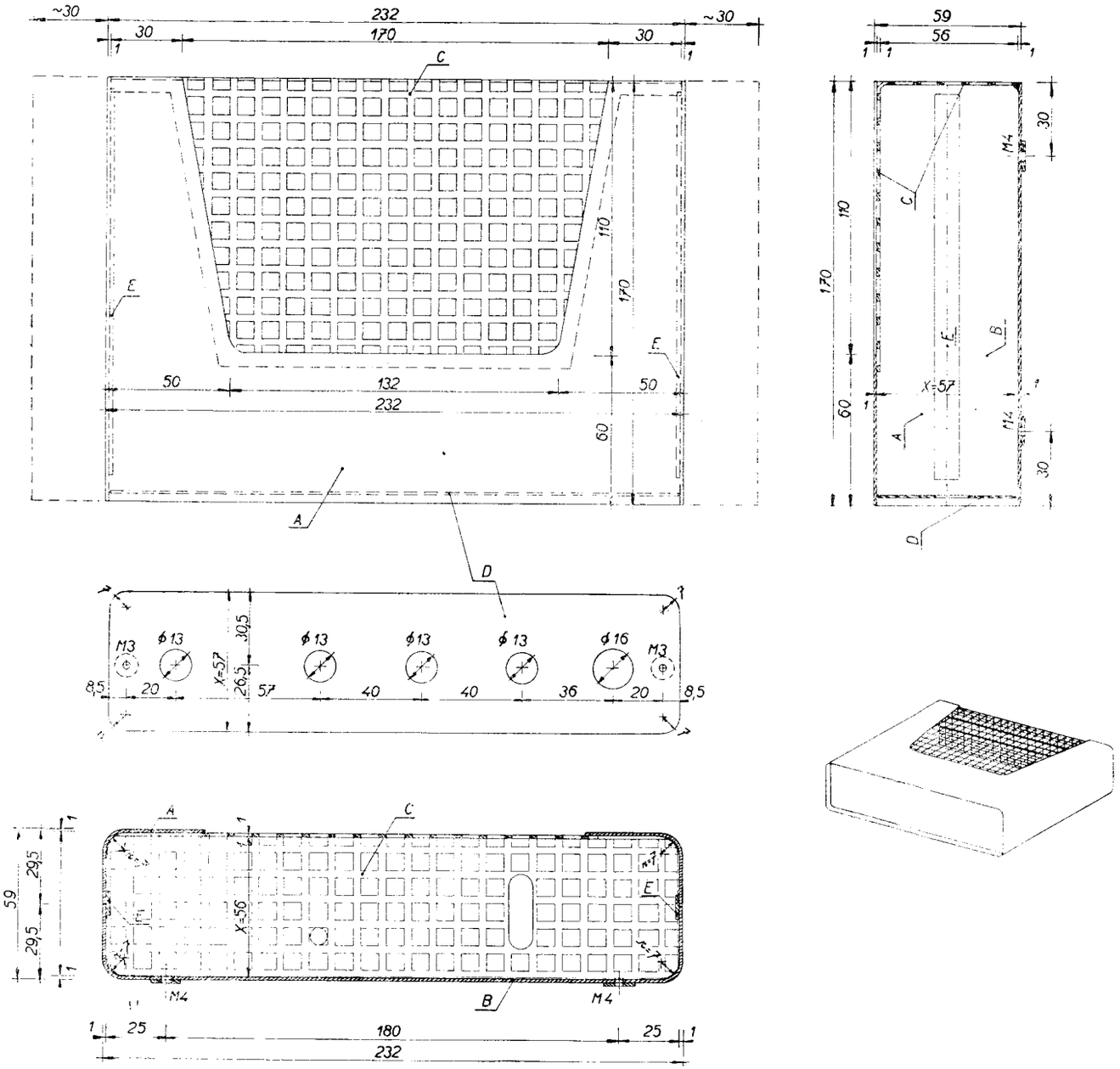
Obr. 84. Zapojení stereofonního zesilovače s „ultralineárním" koncovým výstupem.



Obr. 85. Stereofonní zesilovač Philips 1008-Stereo. Schéma otištěno se svolením časopisu Radioschau [14].



Obr. 86. Zapojení hudební skříně Ballerina-Konzert-Stereo 59. Schéma otištěno se svolením časopisu Radioschau [75].



Obr. 101. Dílenský výkres kovové skříně pro zesilovače. Při použití odchylného sítového transformátoru, než jaký byl popsán, je třeba rozměr označený X příslušně zvětšit!