

TRANSIWATT 100 G

TRANZISTOROVÝ ZESILOVAČ 100 W PRO HUDEBNÍ SOUBORY



KAREL ŠELLINGER, ● ing. MILOSLAV PRAŽAN



Neustávající zájem hudebníků, kteří hrají na elektrofonické nástroje, o stavební návod na tranzistorový zesilovač většího výkonu, a na-
prostý nedostatek vhodných továrně vyráběných zesilovačů na našem trhu, jsou skutečnosti, které před léty podnítily skupinu techniků Klubu elektroakustiky k vývoji zesilovače TW 100. Situace na trhu se však nezměnila a tak dnes není v obchodech ani 40 W zesilovač Tesla AZK 401, ostatně určený pro jiné účely. Bez vyhovující zvukové aparatury se dnes neobejde žádný orchestr, profesionální nebo amatérský. Zesilovače v hudebních souborech musí vyhovět několika protichůdným požadavkům. Mají mít co největší výkon při malé váze a rozměrech, a co největší mechanickou odolnost proti poškození při dopravě. Proto jsme přistoupili k uwe-
řejnění stavebního návodu teprve po důkladných provozních zkouškách. Na Transiwatt 100 se hrálo také na 1. big-beatovém festivalu v pražské Lucerně, kde v ostré konkurenci se zařízením Dynacord znamenitě obstál jak výkonem, tak lepší korekcí frekvenčního průběhu. Zesilovač TW 100 byl také oceněn hlavní cenou kategorie nf zařízení na 2. celostátní výstavě radioamaterských prací Bratislava 1967, spolu s dalšími exponáty Klubu elektroakustiky. Na jeho vzhle-
dové úpravě spolupracoval akad. arch. M. Hrbas.

Stavební návod a popis je rozdělen do tří čísel. V č. 4. je popis funkce obvodů, úplné elektrické zapojení a rozpiska elektrických součástek zesilovače TW 100 G, osazeného germaniovými tranzistory. V dalším čísle budou výkresy mechanických dílů a spojových destiček. V posledním článku bude zveřejněn popis zesilovače TW 100 S, který je osazen výhradně křemíkovými tranzistory. Je vybaven automatickou pojistkou proti zkratu na reproduktorech, která brání zničení drahých výkonových tranzistorů.

K vývoji zesilovače

S příchodem germaniových tranzistorů řady 2-7NU74 do našich obchodů se naskytla možnost postavit zesilovač většího výkonu než dosud běžných 10 W. První pokusy byly popsány v RK 2/65 zatím jako doplněk k zesilovačům malého výkonu [1]. Nedopadly vždy dobře, neboť nebyla zkušenost s mezními hodnotami těchto tranzistorů. Zvláště první výrobky Tesly Rožnov nedosahovaly zdaleka katalogových údajů. Jejich kvalita se však výrazně zlepšila, což zatím nelze říci o křemíkových KU 605. Dokladem toho je několik zesilovačů, které jsou bez závady již déle než rok v provozu.

Koncový stupeň

Východním bodem bylo sériové zapojení tranzistorů (pro střídavý proud paralelní) používané vesměs všemi výrobci zesilovačů, a hlavně mezní hodnoty tranzistoru 6NU74.

Technické vlastnosti zesilovače TRANSIWATT 100 G

Napájecí napětí	120/220 V 160 VA
Rozměry	360 × 110 × 270 mm
Váha	9,6 kg
Jmenovitý výkon	100 W
Zatěžovací odpor	2 Ω
Kmitočtový průběh (při 3 V)	20 Hz ÷ 16 kHz v pásmu 3 dB
Harmonické zkreslení při P = 50 W	1,8 % 80 Hz 0,8 % 1 kHz 1,6 % 5 kHz
Odstup hluku vztažen k P = 100 W	
výkonový a korekční stupeň	-80 dB
mikrofon 200 Ω, citlivost 0,5 mV	-60 dB
snímač 2 kΩ, citlivost 50 mV	-70 dB
Korekce	80 Hz: -14 dB, +10 dB 12 kHz: -14 dB, +10 dB
Prezence filtr	3 kHz +2 až +16 dB
Přemodulovatelnost na vstupu	26 dB
Počet vstupů z toho regulovatelné	osm tři
Vzestup výstupního napětí při odpojení zátěže	10 %
Možnost připojení autotransformátoru s převodem 1:7,7 pro napájení reproduktorových linek 100 V.	
Teplota okolního prostředí	max. 40 °C

Kolektorová ztráta $P_{C \max}$ 50 W, kolektorové napětí U_{CE} 70 V, proud kolektoru $I_{C \max}$ 15 A. To jsou údaje, které je třeba značně snížit. PC 50 W platí pouze v případě ideálního chlazení, a jak je vidět z obr. 1, musíme počítat jen přibližně s polovinou. Hodnota $-U_{CE}$ je závislá podle obr. 2 na odporu R_{CE} . Nedoporučujeme vyšší napětí než 60 V, a to i v tom případě, že R_{CE} je menší než 10 Ω. To byl důvod k použití transformátoru na inverzi. Zde by byly vhodnější tranzistory, které však nejsou na našem trhu. Nastavení pracovních bodů výkonových tranzistorů odporovým děličem podle [1] se ukázalo silně závislé na kolísání napětí v síti. Klidový proud se pohyboval z optimálního nastavení (v síti 220 V) při poklesu na 210 V z hodnoty 15 až 20 mA na pouhých 3 až 5 mA! Zesilovač při tak malém proudu silně zkresloval. Tento nedostatek vyřešila stabilizace předpětí křemíkovými diodami v propustném směru. Proud kolektoru $I_{C \max}$ 15 A je dostatečně velký, aby se dalo pracovat do zátěže R_z 2 Ω. Zbytkové napětí U_{CES} má být menší než 1 V při I_C 10 A.

Výpočet výkonového stupně

Požadavky: Výstupní ef. napětí na zátěži $R_z = 2 \Omega$, požadovaný výkon $P = 100$ W.

$$U_{vyst} = \sqrt{P \cdot R_z} = \sqrt{100 \text{ W} \cdot 2 \Omega} = 14,2 \text{ V}$$

Potřebné napájecí napětí U_n pro požadovaný výkon:

$$U_n = U_{vyst} \cdot 2 \sqrt{2} + 2 \cdot U_{CES} = 14,2 \cdot 2,82 + 2 \cdot 1 = 42 \text{ V}$$

Z napájecího napětí zjistíme velikost proudu $I_{C \max}$:

$$I_{C \max} = \frac{1}{R_z} \cdot \frac{U_n}{2} = \frac{1}{2 \Omega} \cdot \frac{42 \text{ V}}{2} = 10,5 \text{ A}$$

Střední hodnota proudu I_{CS} při trvalém max. výkonu:

$$I_{CS} = \frac{I_{C \max}}{\Pi} = 3,35 \text{ A}$$

Příkon výkonových tranzistorů P_n :

$$P_n = U_n \cdot I_{CS} = 42 \text{ V} \cdot 3,35 \text{ A} = 141 \text{ W}$$

Účinnost výkonového stupně η :

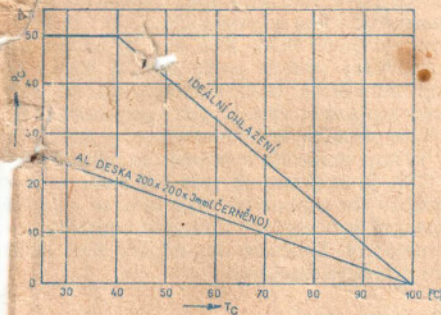
$$\eta = \frac{P}{P_n} \cdot 100 = \frac{100 \text{ W}}{141 \text{ W}} \cdot 100 = 71 \%$$

Kolektorová ztráta jednoho tranzistoru P_C :

$$P_C = \frac{P_n - P}{2} = \frac{141 \text{ W} - 100 \text{ W}}{2} = 20,5 \text{ W}$$

Z předchozího postupu jsme zjistili pracovní režim tranzistorů a hlavně potřebné napájecí napětí při max. výkonu. Protože není použita stabilizace napájecího napětí, mělo by být napětí zdroje bez zatížení větší o násobek 1,41. V praxi stačí 54 až 55 V. Při tomto napětí odevzdá zesilovač výkon 170 W.

Ovšem jenom dokud udrží kondenzátor ve zdroji náboj. Při buzení zesilovače přirozeným signálem bývá napětí na tomto kondenzátoru 48 až 50 V, výkon je 120 až 140 W. (Nezaměňovat ale s tzv. hudebním výkonem IHFM-music power podle americké normy. Podle té by měl náš zesilovač výkon 250 W.) Ještě pro zajímavost: $I_{C\max}$ při U_{no} (napětí zdroje naprázdno) se rovná 13,5 A. Ani zde jsme nepřetročili mezní hodnotu 15 A.

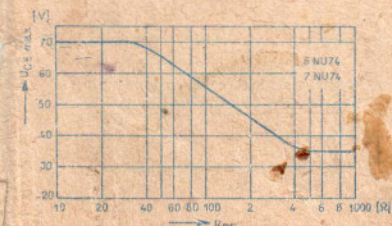


Obr. 1: Velikost kolektorové ztráty při teplotě a chlazení

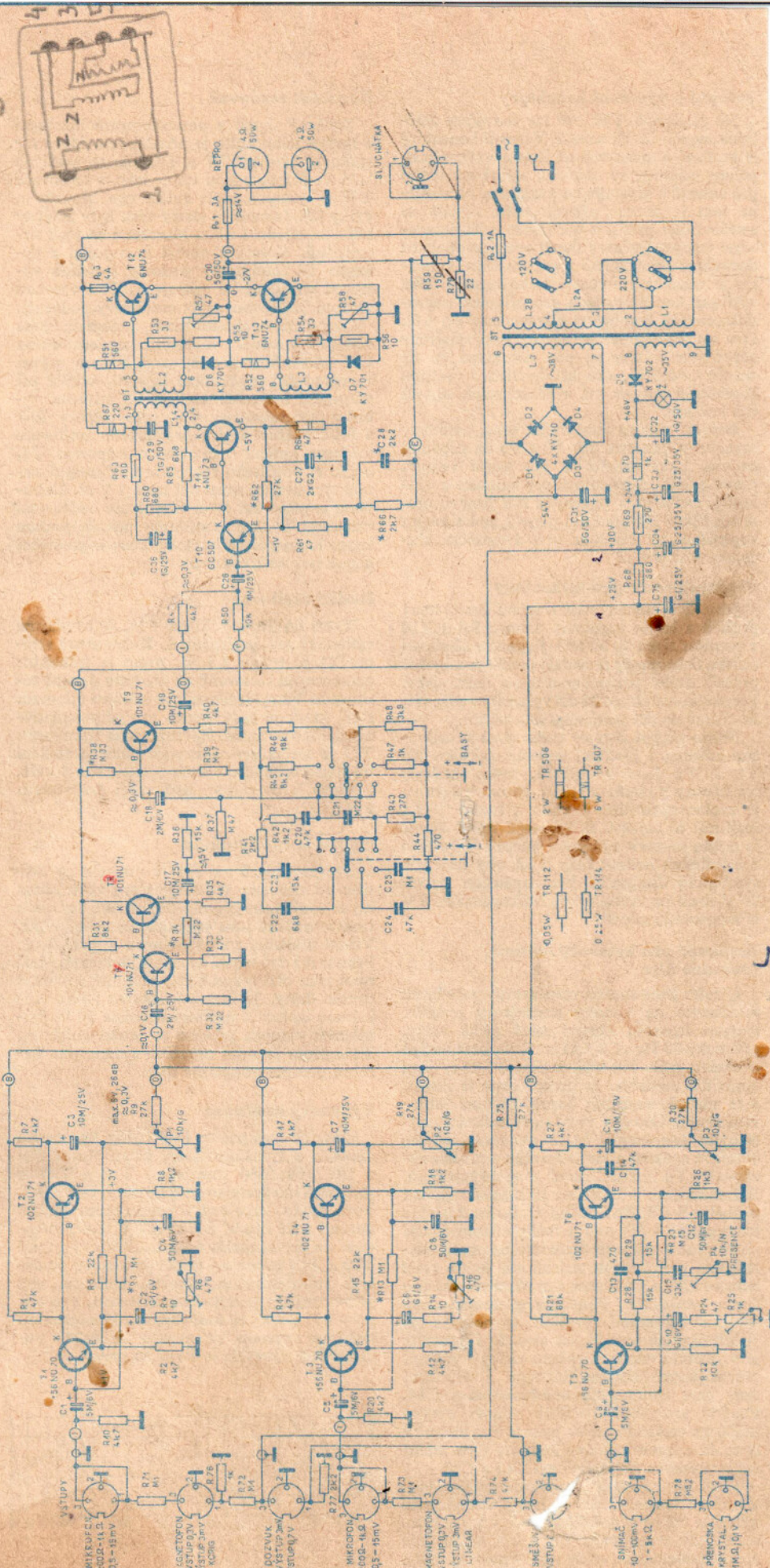
Chlazení výkonových tranzistorů a mechanická konstrukce zesilovače.

Výpočtem a měřením jsme zjistili max. kolektorovou ztrátu výkonových tranzistorů, při buzení zesilovače sinusovým signálem a při výkonu 100 W. Tato ztráta je teplo, které musíme vhodným chlazením pouzdra tranzistoru vyzářit do okolního prostoru. Podle obr. 1 je dána velikost 3 mm černěného Al plechu čtvercem 200 × 200 mm. Tato deska chladí kolektorovou ztrátu tranzistoru 20 W do teploty 40 °C. I když připustíme kolektorovou ztrátu při buzení přirozeným signálem ještě o třetinu menší, vycházejí rozměry chladicích žebër značně.

Protože kolektor tranzistoru je připojen na pouzdro, a na kolektorech jsou různá napětí, musíme tranzistory montovat izolovaně přes tenkou slidovou podložku, která však zhorší převod tepla z pouzdra na chladicí žebro. Tento způsob montáže má však výhodu v tom, že umožní vodivě spojit žebro se základní deskou zesilovače, která je rovněž z hliníkového plechu. U zesilovačů menších výkonů je výhodné montovat výkonové tranzistory přímo na základní desku jako v případě zesilovače TW 3. Zde se naskytla možnost chladič výkonové tranzistory přímo celou plochou skříně zesilovače, která je celá z kovu. Výkonové tranzistory jsou upevněny do bočních stěn skříně, která je vhodným způsobem černěná. Velkým objevem bylo použití silikonové vazeliny pro zlepšení přechodu tepla. Celokovová skřínka má vynikající pevnost, která je pro tyto účely potřebná. Na zesilovač v provozu si může kdokoli klidně stoupnout a nic se nestane. I přes toto robustní řešení je váha zesilovače daleko menší než obdobných zesilovačů s elektronkami.



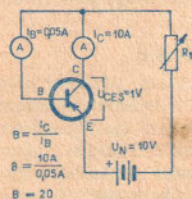
Obr. 2: Velikost $U_{CE\max}$ při R_{BE}



Obr. 6: Elektrické zapojení zesilovače TRANSIWATT 100

ODPORY

R 1, 11, 74	47k	TR 112/A	0,05 W
R 2, 7, 10, 12, 17, 4k7	4k7	TR 112/A	0,05 W
20, 27, 35, 40, 49			
R 3, 13, 74, 72, 75 M1	M1	TR 112/A	0,05 W
R 4, 14	10	TR 112/A	0,05 W
R 5, 15	22k	TR 112/A	0,05 W
R 8, 18, 32	1k2	TR 112/A	0,05 W
R 9, 19, 30, 32, 75 27k	27k	TR 112/A	0,05 W
R 21	68k	TR 112/A	0,05 W
R 22, 50	10k	TR 112/A	0,05 W
R 23	M15	TR 112/A	0,05 W
R 24, 51	47	TR 112/A	0,05 W
R 25	1k5	TR 112/A	0,05 W
R 26, 29, 36	15k	TR 112/A	0,05 W
R 31, 45	8k2	TR 112/A	0,05 W
R 32, 34	M22	TR 112/A	0,05 W
R 33, 44	470	TR 112/A	0,05 W
R 37, 39	M47	TR 112/A	0,05 W
R 38	M33	TR 112/A	0,05 W
R 41, 77	2k2	TR 112/A	0,05 W
R 43	270	TR 112/A	0,05 W
R 46	18k	TR 112/A	0,05 W
R 47, 76	1k	TR 112/A	0,05 W
R 48	3k9	TR 112/A	0,05 W
R 65	6k8	TR 112/A	0,05 W
R 66	2k7	TR 112/A	0,05 W
R 78	M82	TR 112/A	0,05 W
R 53, 54	33	TR 114	0,25 W
R 55, 56	10	TR 114	0,25 W
R 60, 68	680	TR 114	0,25 W
R 63	180	TR 114	0,25 W
R 79	22	TR 114	0,25 W
R 66	270	TR 114	0,25 W
R 69	150 drát	TR 506	2 W
R 64	47 drát	TR 506	2 W
R 70	1k drát	TR 506	2 W
R 51, 52	560 drát	TR 507	6 W
R 67	220 drát	TR 507	6 W
R 6, 16	470 trimr WN 790 25		
R 25	1k trimr WN 790 25		
R 57, 58	47 trimr TP 690	0,5 W drát	
P 1, 2, 3	10k/G	TP 280/32 A	
potenciometr asistosti			
P 4	10k/N	TP 180/10 E	
potenciometr prezence			



Obr. 5: Měření B výkonových tranzistorů při saturaci

DIODY

D 1, 2, 3, 4	KY 710 (KY 708)
D 5	KY 702
D 6, 7	KY 701

TRANZISTORY B

	$U_{CB\ max}$	náhrada
T 1, 3, 5, 7	156NU70 > 80	> 10 V 107NU70
T 2, 4, 6, 10	102NU71 > 120	> 30 V 103NU70
T 8, 9	101NU71 > 60	> 30 V 103NU70
T 10	GC507 > 80	> 30 V OC72
T 11	4NU73 > 30	> 40 V OC26
T 12, 13 pár.	6NU74 > 50	> 80 V 7NU74
Z	žárovka telefonní	60 V/0,05 A

Šum těchto tranzistorů zjistíme většinou až v zesilovači. Nejlepší tranzistor je třeba na místě T5. Hodnoty B jsou vyhovující v rozmezí 80 až 200. Jako náhrada může posloužit 107NU70, případně 155NU70, 152NU70, nebo některý zahraniční křemíkový nf tranzistor (BC 107, 108, 109, 121, 122, 123, BCY 58, 59 a jiné).

T2, T4 a T6 jsou třeba s vysokým B. Namísto 102NU71 můžeme dát vybrané typy 103NU70 s bílou čepičkou, pokud vyhoví napětově. Max. napětí $U_{CB\ max}$ zjistíme měřením zbytkového proudu. Když se zvýší na dvojnásobek při napětí 6 až 10 V, odečteme na voltmetru hledané max. kolektorové napětí.

T8 a T9 jsou libovolné tranzistory NPN, u kterých platí o $U_{CB\ max}$ totéž, co bylo napsáno o předchozích. T10 je jakýkoliv tranzistor vodivosti PNP s P_c 125 mW. T11 je výkonový tranzistor o $P_c = 12,5$ W s napětím $U_{CB\ max}$ větším než 40 V. Výběru výkonových tranzistorů T12 a T13 musíme věnovat největší pozornost. Zbytkový proud při napětí $U_{CB\ max} = 80$ V při teplotě okolí 25°C musí být menší než 1 mA. Měří se proud I_{cb} s odpojeným emitorem. Hodnotu B je třeba zjistit při saturačním napětí U_{CES} (zbytkové napětí), a proudy 5 nebo lépe 10 A, podle obr. 5. Rozdíl 20 % je ještě přípustný.

Uvádění zesilovače do chodu

Zesilovač zapojíme s výjimkou odporů označených ve schématu hvězdičkou, které zatím připojíme připájením ze strany spojového obrazce. Dále potřebujeme voltampérmetr; nejlépe DU10, nf milivoltmetr, tónový generátor 20 Hz až 20 kHz a osciloskop, několik proměnných odporů (trimrů) různých hodnot, a pro měření výkonu bezindukční odpor přesně 2 Ω na velké zatížení (složit z několika odporů větších hodnot, např. 10 až 11 odporů 22 Ω , 10 až 20 W paralelně). První uvedeme do chodu budicí zesilovač, potom připojíme výkonový stupeň, zatím s rozpojenou smyčkou zpětné vazby. Vyzkoušíme funkci bez zátěže při stažených trimrech předpětí, bez ohledu na zkreslení. Trimrem 10k na místě R66 vyzkoušíme činnost zpětné vazby. Při zmenšování jeho hodnoty se musí zmenšovat i výstupní napětí. Když se zvyšuje a zesilovač se rozkmitá, přepojíme přívody k primárnímu vinutí budicího transformátoru. Je-li vše v pořádku, nastavíme výstupní napětí na hodnotu 15,5 V při vstupním napětí 0,3 V a kmitočtu 1 kHz. Připojením zátěže klesne výstupní na-

KONDENZÁTORY

C 1, 5, 9	5M/6V	TC 922	elektrolyt
C 16, 18	2M/25V	TC 924	elektrolyt
C 26	1M/25V	TC 924	elektrolyt
C 2, 6, 10	G1/6V	TC 962	elektrolyt
C 4, 8, 12	50M/6V	TC 962	elektrolyt
C 27	G2/6V	TC 962	elektrolyt
C 3, 7, 11, 17, 19	10M/25V	TC 964	elektrolyt
C 35, 36	G1/25V	TC 964	elektrolyt
C 33, 34	G25/30V	TC 531	elektrolyt
C 29, 32	1G/50V	TC 937	elektrolyt
C 30, 31	5G/50V	TC 937	elektrolyt
C 13	470	keram.	
C 21	M22	TC 180	MP svítek
C 14, 20, 24	47k	TC 181	MP svítek
C 15	33k	TC 181	MP svítek
C 23	15k	TC 181	MP svítek
C 25	M1	TC 181	MP svítek
C 22	6k8	TC 183	MP svítek
C 28	2k2	TC 183	MP svítek

pětí asi o 10 %. Změříme kmitočtovou charakteristiku, a to při sníženém výstupním napětí 3 V. Případně změníme hodnotu C28, aby pokles výstupního napětí při kmitočtu 16 kHz byl —3 dB. Průběh by měl odpovídat obr. 4.

Korekční zesilovač vyzkoušíme zatím samostatně, hlavně funkci korekce a přemodulovatelnosti. Max. napětí před limitací 1,2 až 1,4 V na výstupu. Předzesilovače uvedeme do chodu a u kytarového zjistíme funkci prezence filtru. Případně rozdílly opravíme výměnou součástek. Jako poslední nastavíme pracovní body tranzistorů T12 a T13 při $U_{výst}$ 0,5 V

a zkontrolujeme klidový proud. V případě, že jedna půlvlna sinusovky limituje dříve, nebyly použity párované výkonové tranzistory. Údaje ss napětí uvedené ve schématu jsou proti nulovému potenciálu (kostře). Zesilovač je přitom bez signálu. Napětí se mohou lišit, ve zdroji až o 10 %, u tranzistorů podstatně více, neboť zde záleží jediné na max. velikosti výstupního signálu jednotlivých stupňů do limitace.

Na závěr upřímně děkujeme panu Milošavu Kulhanovi ze Supraphonu za jeho účinnou spolupráci při vývoji a provozních zkouškách zesilovače TW 100.

LITERATURA:

- [1] Jiří Janda: Nízkofrekvenční zesilovač RK 2/65.
- [2] Jiří Janda: Transiwatt 3. AR 5/66.

(Pokračování příště)

TRANSFORMÁTORY

ST, jádro EI 32×40, celkem 80 plechů 0,5 mm, průřez středního sloupku 12,8 cm², skládáno střídavě, sycení 1,2 T; 3,4 z/1 V.

L1	100 V	340 z	0,45 CuPL	4 vrstvy	po 85 z
L 2A	100 V	340 z	0,45 CuPL	4 vrstvy	po 85 z
L 2B	20 V	68 z	0,6 CuPL	1 vrstva	
L 3	38 V	140 z	1,12 CuPL	4 vrstvy	po 35 z
L 4	35 V	130 z	0,28 CuPL	1 vrstva	

Každou vrstvu proložit 2× transformátorovým papírem 0,03 mm.
Mezi L 2—L 3 navíc 3× bakelitový papír 0,1 mm.

BT, jádro EI 25×20, celkem 55 plechů 0,35 mm, průřez středního sloupku 5 cm², skládáno s mezerou 0,1 mm papír. Převed 2:1 + 1.

L 1—L 4	560 z	0,28 CuPL	5 vrstev po 112 z
L 3—L 2	2×280 z	0,4 CuPL	7 vrstev po 2×40 z

Pořadí vinutí L1, L2 + 3 současně, L4. L1, L4 spojit paralelně.
Každou vrstvu proložit 1× transformátorovým papírem 0,03 mm
Začátky všech vinutí lichá, konce sudá čísla.

$$\begin{aligned} R_1 &= R_{11} = R_{21} \\ R_2 &= R_{12} = R_{22} \\ R_3 &= R_{13} = R_{23} \\ R_4 &= R_{14} = R_{24} \\ R_5 &= R_{15} \\ R_6 &= R_{16} = R_{25} \\ R_7 &= R_{17} = R_{27} \\ R_8 &= R_{18} = R_{26} \\ R_9 &= R_{19} = R_{30} \end{aligned}$$

660909

660905

