

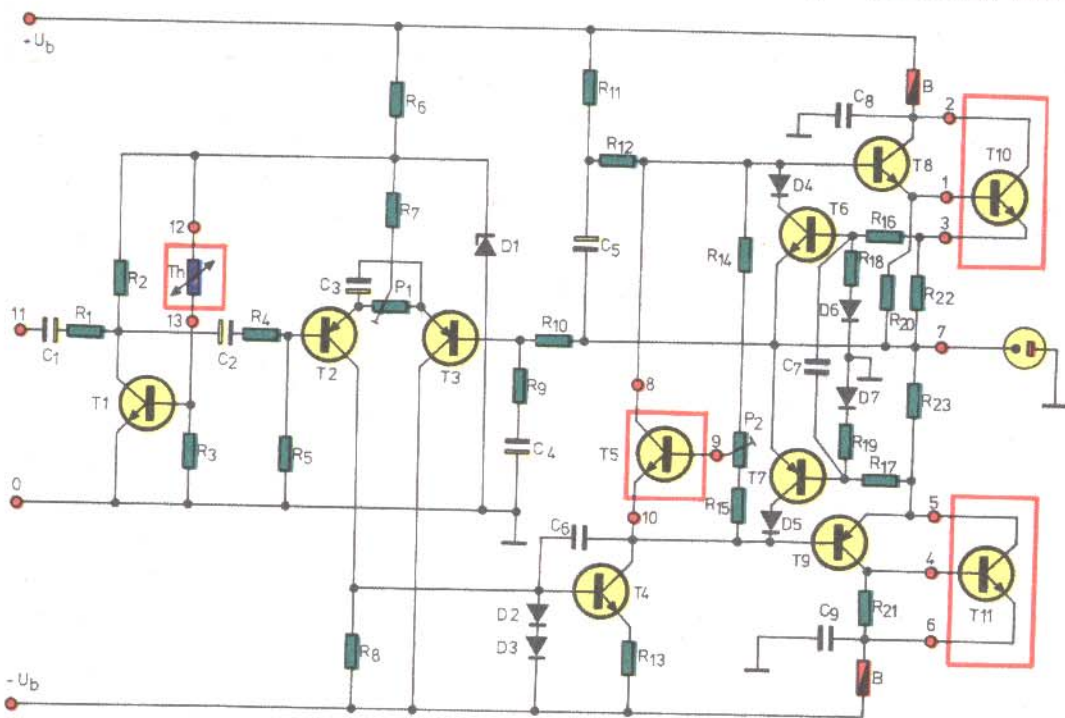
# TRANZYSTOROWE WZMACNIACZE DUŻEJ MOCY

W numerze 12/77 i 1/78 „Młodego Technika” przedstawione były schematy wzmacniaczy dużej mocy, zbudowanych na lampach, które w dalszym ciągu cieszą się popularnością ze względu na łatwość zakupu i niską cenę lamp, mogących zapewnić moc wyjściową 15–20 W. Nie wszyscy jednak będą chcieli budować wzmacniacze na lampach, w związku z czym proponujemy tutaj trzy wersje tranzystorowych wzmacniaczy dużej mocy. Trzeba się jednak liczyć z trudnościami związanymi z zakupem

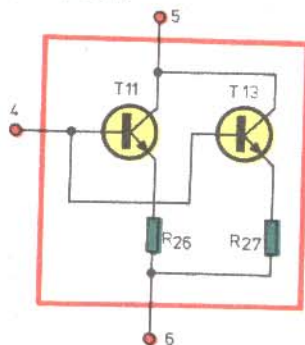
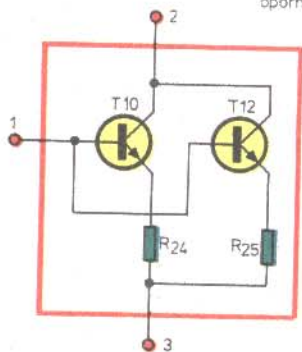
odpowiednich tranzystorów, elementów montażowych, jak również z wykonaniem drukowanej płytki montażowej.

Chociaż wspominaliśmy o trzech, różnej mocy wzmacniaczach, to praktycznie mamy do czynienia z jednym, odpowiednio wyposażonym schematem wzmacniacza, którego moc zależy od użytych elementów montażowych i dołączonych tranzystorów wynosi: 40, 60 lub 120 W.

Układ wzmacniacza (rys. 1) jest prosty, wzoro-



oporniki  $R_{24}-R_{27} = 4 \times 0,33\Omega$  (drutowe)



RYS. 1.

wany na publikowanych przez czasopisma zachodnie schematach wzmacniaczy i został wykonany oraz wypróbowany na zlecenie Redakcji „MT”. Należy jednak przestrzec tych wszystkich, którzy nie mają odpowiedniego przygotowania, że budowa takiego wzmacniacza jest tylko pozornie prosta. W rzeczywistości wymaga ona odpowiednich umiejętności, uwagi i nakładu pracy.

Wzmacniacze wykonane wg przedstawionych schematów odpowiadają swoimi parametrami normie Hi-Fi. Są one także odpowiednio zabezpieczone przed zwarciami oraz od przeciążeń wskutek wystąpienia nadmiernych temperatur (zabezpieczenie termiczne).

W zależności od wybranej wersji wzmacniacza powinny być odpowiednio dobrane radiatory dla tranzystorów końcowych, proporcjonalnie do traconych mocy w warunkach normalnej eksploatacji. W przypadku wybrania wersji 60 W względnie 120 W, w radiator powinien być również zaopatrzony tranzystor T4.

Dla wariantu 120 W układ wymaga przyłączenia dwóch dodatkowych tranzystorów, co wynika z konieczności uzyskania odpowiedniej mocy na wyjściu. W takiej sytuacji zamiast pojedynczych tranzystorów typu 2N 3055 w końcówce mocy pracują po dwa połączone ze sobą równolegle – tranzystory 2N 3055 (T10 + T12 i T11 + T13). Miejsca przyłączenia tych tranzystorów, połączonych ze sobą równolegle, oznaczono na schemacie ideowym cyframi od 1 do 6. Na schemacie tym wszystkie tranzystory i termistor (Th) wymagające radiatorów, umieszczone zostały w czerwonych prostokątach. Oczywiście na płycie montażowej (rys. 4) tych elementów nie znajdziemy.

W celu zapewnienia równomiernego podziału traconej mocy, dla przyłączonych równolegle tranzystorów T12 i T13 przewidziane zostały dodatkowe rezystory emiterowe R<sub>24</sub>, R<sub>25</sub>, R<sub>26</sub>, R<sub>27</sub>.

W wykazie elementów wzmacniacza nie podano wartości oporników R<sub>6</sub>, R<sub>7</sub>, R<sub>11</sub> – R<sub>15</sub> oraz R<sub>20</sub> – R<sub>23</sub>. Zostały one, jako zależne od wybranego wariantu wzmacniacza, podane w tabelce I.

Różnicowy stopień wyjściowy „porównuje” napięcie między masą układu i wyjściem wzmacniacza i reguluje napięcie środkowe do potencjału zerowego. Dzięki takiemu rozwiązaniu przez głośnik nie przepływa prąd stały. Wyrównywanie prądów do zera jest możliwe dzięki zastosowaniu w układzie, a konkretnie w obwodach emiterowych tranzystorów T2 i T3, potencjometru montażowego P<sub>1</sub> o rezystancji 500 omów. Takie rozwiązanie umożliwia wyrównanie zmian powstających wskutek rozbieżności parametrów tranzystorów T2 i T3, które

powinny być tego samego typu i należeć do tej samej grupy wzmacnienia prądowego. Natomiast sprzężenie zwrotne jest możliwe do uzyskania dzięki układowi RC złożonemu z rezystorów R<sub>9</sub>, R<sub>10</sub> oraz kondensatora elektrolitycznego C<sub>4</sub>, a niezależnie od tego istnieje możliwość określenia wzmacnienia napięciowego za pomocą wzoru:

$$V \approx \frac{R_9 + R_{10}}{R_9}$$

Przy zasilaniu prądem stałym, wartość

$$\frac{1}{\omega C_4}$$

będzie dążyła do nieskończoności, w wyniku czego wzmacnienie napięciowe spada do jedności. Dlatego układ wykazuje dużą stabilność zerowego punktu wyjścia.

Tranzystor T5 ma stabilizować prąd spoczynkowy stopnia końcowego w zależności od zmian napięcia zasilającego układ oraz zmian temperaturowych. Tranzystor ten montuje się na radiatorze stopnia końcowego.

Prąd spoczynkowy stopnia końcowego ustawiany jest potencjometrem montażowym P<sub>2</sub> (liniowym o oporności 100 Ω) na przybliżoną wartość 100 mA. Kondensatory C<sub>6</sub>, C<sub>8</sub> i C<sub>9</sub> chronią układ wzmacniacza przed powstawaniem niepożądanych oscylacji.

Wspomniane na wstępie zabezpieczenie przeciwzwarciowe zaprojektowane zostało w układzie mostkowym, utworzonym przez rezystor emiterowy R<sub>22</sub>, opór obciążenia oraz rezystory R<sub>16</sub> i R<sub>18</sub> dla dodatnich połówek sygnału wyjściowego. Dla ujemnych natomiast połówek tego sygnału układ zmontowany jest z rezystorów R<sub>17</sub> i R<sub>19</sub> razem z tranzystorem T7.

Znajdujący się w przekątnej tego mostka tranzystor T6 zaczyna przewodzić prąd w momencie wytrącenia go z równowagi, spowodowanego zbyt małą rezystancją obciążenia. W taki sposób przedwczesnie zostanie ograniczone napięcie baza-emiter tranzystora odwracającego fazę (T8), jak również i prąd wyjściowy.

Znajdujący się w układzie kondensator C<sub>7</sub> zapobiega przedwczesnemu zadziałaniu bezpiecznika w przypadku ograniczonego udziału indukcyjności w oporze obciążenia. Prąd tranzystora sterującego T4 jest ograniczony przez szeregowo połączone ze sobą diody D2 i D3 oraz rezystor emiterowy R<sub>13</sub>.

W układzie wzmacniacza przewidziane zostało zabezpieczenie przed nadmiernymi temperaturami. Składa się ono z termistora (40 kΩ), który powinien być zamontowany na radiatorze stopnia końcowego.



RYS.2.

RYS.4.

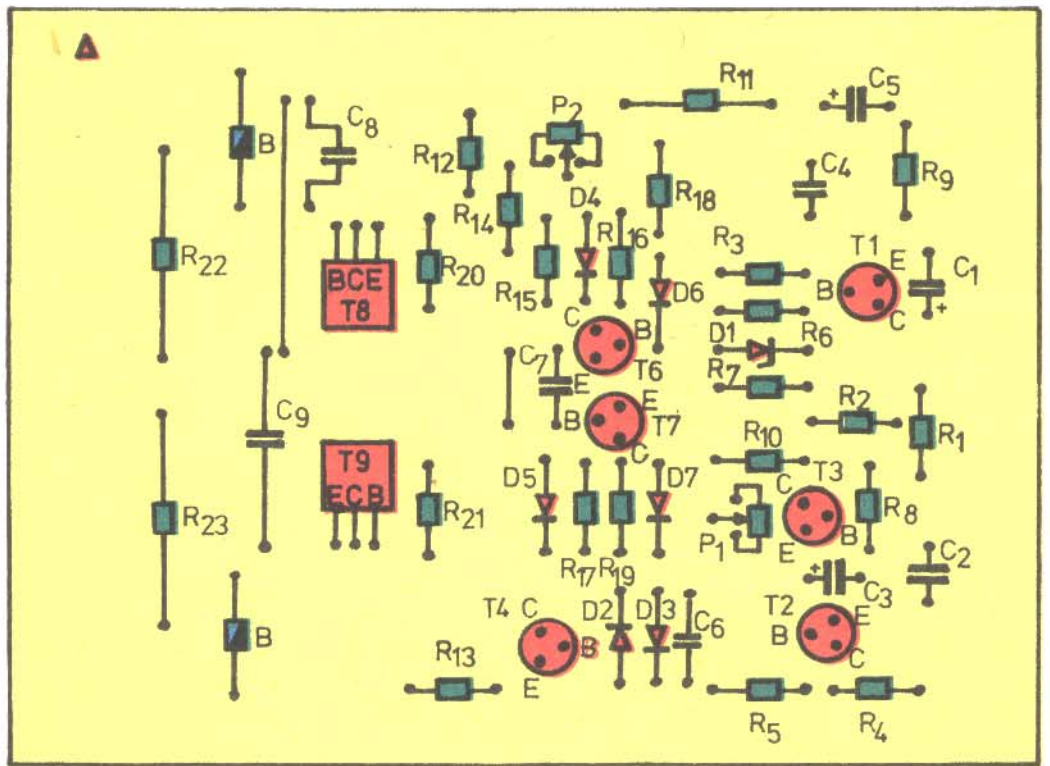


Tabela I

Wartości dla R <sub>6</sub> - R <sub>23</sub>	Wersja wzmacniacza		
	40 W	60 W	120 W
R <sub>6</sub>	3,3 kΩ	3,3 kΩ	3,9 kΩ
R <sub>7</sub>	15,0 kΩ	15,0 kΩ	8,2 kΩ
R <sub>11</sub>	330 Ω	330 Ω	680 Ω/1W
R <sub>12</sub>	3,3 kΩ	3,3 kΩ	1,8 kΩ
R <sub>13</sub>	27 Ω	22 Ω	10 Ω
R <sub>14</sub>	560 Ω	560 Ω	270 Ω
R <sub>15</sub>	220 Ω	220 Ω	120 Ω
R <sub>20</sub>	27 Ω	27 Ω	22 Ω
R <sub>21</sub>	15 Ω	15 Ω	12 Ω
R <sub>22</sub> i R <sub>23</sub> (drutowe)	1 Ω (2W)	0,47 Ω (5W)	0,33 Ω (5W)
Bezpieczniki topikowe	2 A	3 A	4 A

Tabela II

Nominalna moc wyjściowa	40 W	60 W	120 W
Oporność obciążenia (RL)	4 Ω	4 Ω	4 Ω
Napięcie zasilania	30 V	28 V	38 V
Współczynnik zniekształceń nieliniowych w paśmie 50 Hz - 16 kHz przy połowie mocy nominalnej	<0,4 %	<0,4 %	<0,4 %
Nominalne napięcie wejściowe	1,5 V	1,5 V	1,9 V
Charakterystyka częstotliwościowa napięcia	20 Hz - 16 kHz		
Pobór prądu przy P <sub>e</sub> = 0 przy P <sub>e</sub> = maks.	0,1 A 1,1 A	0,1 A 1,9 A	0,1 A 2,6 A

Tabela III

Wielkości i detale	Wersja wzmacniacza		
	40 W	60 W	120 W
U <sub>b</sub> ± (V)	30	28	38
I <sub>b</sub> (A)	1,1	1,9	2,6
C <sub>f</sub> (μF)	4,7	10	10
Bezpiecznik topikowy A	1	1	2
Diody D1 - D4	4 × BVP 680-100R		

Tabela IV

Wersja wzmacniacza	Liczba zwojów i średnica drutu w mm		
	Uzwojenie I (sieciowe)	Uzwojenie II	Uzwojenie III
40 W	1170 DNE Ø 0,40	172 DNE Ø 0,85	172 DNE Ø 0,85
60 W	940 DNE Ø 0,46	128 DNE Ø 1,1	128 DNE Ø 1,1
120 W	459 DNE Ø 0,65	85,5 DNE Ø 1,3	85,5 DNE Ø 1,3

go, oraz rezystora R<sub>3</sub>, który razem z termistorem tworzy dzielnik napięcia zasilany napięciem stabilizowanym przez diodę Zenera D1. W razie wzrostu temperatury radiatora do 90°C, wskutek zwarcia na

krótko wyjścia tranzystora, zacznie on przewodzić i w ten sposób nastąpi redukcja napięcia aż do czasu zlikwidowania zwarcia.

Ważniejsze dane techniczne wszystkich trzech wersji wzmacniacza zamieszczono w tabelce II.

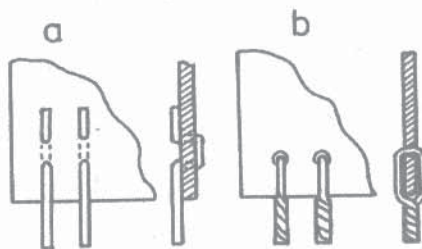
Wszystkie trzy wersje wzmacniacza mogą być wykonane na takiej samej płycie „drukowanej”, której układ połączeń został pokazany na rys. 2. Przyłączenie płytki do reszty układu może być wykonane za pomocą połączeń lutowanych, pojedynczych gniazd z wtykami lub też wielokrotnych wtyków wykonanych we własnym zakresie z grubego drutu miedzianego (pobielonego lub posrebrzonego) albo cieńszego drutu, skręcane i lutowane (rys. 3).

Tranzystory stopnia końcowego, termistor 40 kΩ (na schemacie rys. 1 - w kolorowych ramkach), jak również tranzystor T5 i dodatkowe rezystory emiterowe 120-watowej wersji wzmacniacza powinny być zamontowane na oddzielnej płycie chłodzącej (radiatorze) i połączone w odpowiedni sposób z płytką drukowaną.

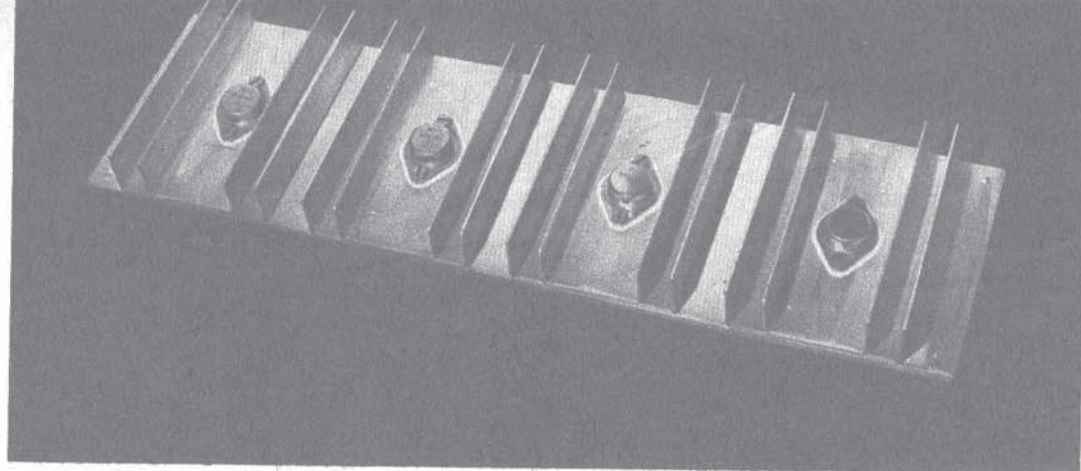
We wzmacniaczu modelowym wspomniane rezystory drutowe nie zostały zamontowane na radiatorze, a mimo to nie stwierdzono odchyżeń od poprawnej pracy wzmacniacza. Rozmieszczenie elementów montażowych na płycie połączeniowej (z drugiej strony druku) pokazane zostało na rys. 4, co oczywiście nie wyklucza innych możliwości rozmieszczenia elementów montażowych, np. ustawienia rezystorów pionowo.

Wszystkim, którzy mają możliwość sprawdzenia parametry wykonanego wzmacniacza, można zaproponować, aby przy zdejmowaniu charakterystyki mocy wyjściowej zmniejszyli poziom wyjściowy o -10 dB. Pomiar od częstotliwości 4000 Hz wzyż powinien trwać krótko, aby nie uszkodzić tranzystorów mocy.

Wykonanie radiatora dla tranzystorów mocy nie jest kłopotliwe i można w tym celu użyć płytki aluminiowej o wymiarach 390 × 110 × 4 mm, która



RYS. 3.



Radiator dla tranzystorów mocy, stanowiący jednocześnie tylną ścianką obudowy wzmacniacza

jednocześnie może stanowić tylną ściankę obudowy.

Podczas montażu radiatora trzeba pamiętać, żeby tranzystory zamontowane na wspólnym radiatorze były od niego starannie odizolowane, np. mikią czy mikanitem. Tranzystory można również odizolować przekładką silikonową. Praktycznie wygląda to w ten sposób, że pod tranzystor mocy daje się podkładkę z cienkiej blachy ołowianej z odpowiednio wykonanymi przepustami izolacyjnymi dla nóżek i wkrętów mocujących. Przed ostatecznym montażem, blaszkę smaruje się pastą silikonową (np. z uszkodzonego tranzystora mocy). Jeśli ktoś dysponuje taśmą teflonową, to podkładkę można wykonać znacznie prościej z tej taśmy.

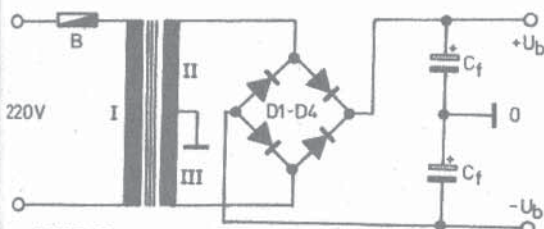
Przedstawiony na rys. 1 wzmacniacz wymaga symetrycznego zasilania, tj. napięć  $+U_b$  i  $-U_b$ , mierzonych w odniesieniu do punktu zerowego (rys. 5). Liczba zwojów uzwojenia pierwotnego transformatora sieciowego oraz uzwojeń wtórnych zależy od wybranej wersji wzmacniacza. W tabelce III podano, jakie napięcia i prądy są wymagane w zależności od wybranej wersji, a także bezpieczniki topikowe i pojemności kondensatorów wygładzających filtru.

Wykonanie zasilacza jest proste i można tylko dodać, że blachy rdzenia typu EI należy składać przemiennie, bez szczeliny powietrznej.

Korzystając z danych zamieszczonych w tabelce III można określić dla każdej odmiany wzmacniacza moc, jaka będzie potrzebna po wtórnej stronie

Wykaz elementów wzmacniacza

Oporniki:	R <sub>1</sub> – 3,9 kΩ R <sub>2</sub> – 120 kΩ R <sub>3</sub> – 150 Ω R <sub>4</sub> – 2,2 kΩ R <sub>5</sub> – 39 kΩ R <sub>8</sub> – 5,6 kΩ R <sub>9</sub> – 3,3 kΩ R <sub>10</sub> – 39 kΩ R <sub>16</sub> – 150 Ω R <sub>17</sub> – 1,2 kΩ R <sub>18</sub> – 1,2 kΩ R <sub>19</sub> – 1,2 kΩ
Potencjometry:	P <sub>1</sub> – 500 Ω P <sub>2</sub> – 100 Ω
Tranzystory:	T <sub>1</sub> – BC 147 T <sub>2</sub> – T <sub>3</sub> = BC 177 B T <sub>4</sub> – BC 211 T <sub>5</sub> – BC 147 T <sub>6</sub> – BC 177 T <sub>7</sub> – BC 107 T <sub>8</sub> – BD 135 T <sub>9</sub> – BD 136 T <sub>10</sub> – 2N 3055 T <sub>11</sub> – 2N 3055
Kondensatory:	C <sub>1</sub> – 4,7 μF/16V C <sub>2</sub> – 4,7 μF/16V C <sub>3</sub> – 10 μF/10V C <sub>4</sub> – 10 μF/10V C <sub>5</sub> – 1,5 μF/63V C <sub>6</sub> – 22 pF/250V C <sub>7</sub> – 33 nF/63V C <sub>8</sub> – 0,1 μF/63V C <sub>9</sub> – 0,1 μF/63V
Diody:	D <sub>1</sub> – BZ 11C8 V2 D <sub>2</sub> – D <sub>7</sub> – BAY 55
Termistor	40 kΩ



RYS. 5.



Płytkę montażową wzmacniacza

transformatora sieciowego, pole przekroju poprzecznego kolumny środkowej rdzenia, liczbę zwojów dla poszczególnych uzwojeń transformatora, jak również ich średnicę.

Zakładamy, że rdzeń transformatora będzie przystosowany do obciążenia średniego i w związku z tym temperatura jego nagrzewania nie będzie większa od około  $40^{\circ} - 50^{\circ}\text{C}$ .

Przy okazji przypominamy, że w razie dłuższej eksploatacji wzmacniacza z pełnym obciążeniem może wystąpić dość znaczne nagrzewanie się diod wchodzących w skład mostka prostownika i z tego powodu dobrze będzie umieścić je na niewielkich radiatorach wykonanych z blachy aluminiowej lub miedzianej.

Moc transformatora sieciowego po stronie sieciowej ( $P_p$ ) będzie sumą mocy wymaganej po stronie wtórnej ( $P_w$ ) i mocy traconej ( $P_t$ ). Moc traconą ( $P_t$ ) można określić z tablic w zależności od poszczególnych wariantów wzmacniacza. Dla wzmacniacza o mocy 40 W moc tracona wynosi 9,5 W, dla wzmacniacza 60 W – 13 W i dla wersji 120 W moc tracona rośnie do 22 W. Wobec tego rdzeń transformatora będziemy musieli dobrać na moc  $40 + 9,5$ , a więc około 50 W dla wersji wzmacniacza 40-watowego,  $60 + 13 = 73$  W dla wersji 60-watowej,  $120 + 22 = 142$  W dla wzmacniacza 120 W.

Z łatwością odnajdziemy także w tablicach, że pole przekroju poprzecznego kolumny środkowej rdzenia wyniesie dla poszczególnych wariantów wzmacniacza odpowiednio:  $S_{40} = 9 \text{ cm}^2$ ,  $S_{60} = 13 \text{ cm}^2$  i dla wersji 120 W,  $S_{120} = 22 \text{ cm}^2$ . Natomiast liczbę zwojów i średnice drutów nawojowych znajdziemy w tabelce IV.

Podczas dokonywania prób wzmacniacza należy zważać na moc głośnika lub zestawu głośnikowego współpracującego ze wzmacniaczem, powinna ona być przynajmniej o 1/3 większa od mocy samego wzmacniacza, aby można było wykorzystać pełną jego moc bez obawy, że głośniki ulegną uszkodzeniu. Należy również zwrócić uwagę i na to, że natężenie dźwięku występujące przy mocach tego rzędu jest tak duże, iż w niewielkiej odległości od zestawu głośnikowego przekracza ono dopuszczalne granice dla ludzkiego ucha. Uwaga ta jest istotna szczególnie dla tych majsterkowiczów, którzy nie mieli do tej pory okazji spotkać się ze wzmacniaczami o tak dużych mocach. Na zakończenie pragniemy jeszcze przypomnieć, że wszelkie próby gotowego wzmacniacza nie powinny być powodem utrapienia dla współmieszkańców i zakłócania spokoju najbliższego otoczenia.

Jan Brdulak