

TOROIDALNE TRANSFORMATORY WYJŚCIOWE

Lampowe wzmacniacze mocy, których popularność stale rośnie, wymagają zastosowania kosztownego i trudnego do wykonania transformatora wyjściowego. Od pewnego czasu stosowane są w tym celu transformatory toroidalne.

Stosunkowo proste układowo wzmacniacze lampowe wymagają jednak zastosowania na wyjściu specjalnego transformatora, który dopasuje małą impedancję głośnika do dużej impedancji wyjściowej lampowego stopnia mocy. Konieczność zastosowania transformatora wyjściowego powoduje, że parametry wzmacniaczy ulegają pogorszeniu. Transformator ten stanowił zawsze piętę achillesową tego typu konstrukcji. Wymagania dotyczyły zarówno materiału i konstrukcji zastosowanego rdzenia, jak również sposobu nawinięcia uzwojeń. Od transformatora wymagano zarówno przenoszenia szerokiego pasma częstotliwości, jak i liniowej fazy. To wszystko bardzo utrudniało konstrukcję wzmacniaczy lampowych wysokiej klasy. Transformatory wyjściowe najczęściej nawijano na kształtkach typu EI, ostatnio jednak rozpowszechniły się transformatory nawijane na rdzeniach toroidalnych.

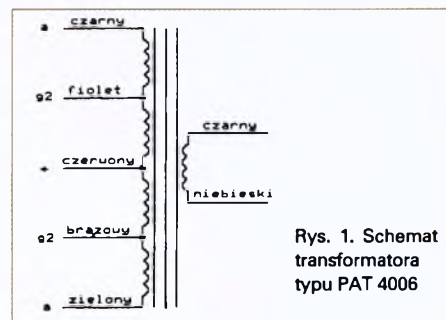
Oprócz innych zalet, transformatory toroidalne cechują się większą sprawnością w porównaniu z transformatorami wykonanymi przy zastosowaniu innych rodzajów rdzeni. Rdzeń transformatora toroidalnego wykonywany jest ze zwiniętej taśmy o jednakowo zorientowanych krystalitach. Jest on wyżarzany w celu rozluźnienia struktury molekularnej, co zapewnia, że wszystkie krystality są jednakowo zorientowane. W rdzeniach typu EI 40% krystalitów jest źle zorientowanych. Brak szczelin powietrznych w rdzeniu toroidalnym powoduje, że współczynnik wypełnienia wynosi 97,5%. Wszystkie uzwojenia są nawinięte symetrycznie wokół bezszczelinowego rdzenia, więc możliwe jest za-

stosowanie większej gęstości strumienia magnetycznego rzędu 16÷18 kGs (w transformatorach z rdzeniami EI przyjmuje się maksymalnie 12÷14 kGs). Ponieważ strumień magnetyczny ma ten sam kierunek co ułożone w rdzeniu krystality, możliwe jest osiągnięcie sprawności rzędu 95%.

Są firmy, które specjalizują się w wykonywaniu transformatorów toroidalnych do celów elektroakustycznych o bardzo dobrych parametrach, jedną z nich jest kanadyjska firma Plitron. Typowe zastosowania to lampowe wzmacniacze mocy, zbudowane w postaci układów przeciwobnych, triodowe, pentodowe oraz tzw. „ultra linear” z odczepem dla siatki drugiej.

W tabelicy 1 zestawiono podstawowe parametry wybranych czterech typów produkowanych transformatorów.

Na rys. 1 przedstawiono schemat transformatora, a na rys. 2 przebieg charakterystyki częstotliwościowej i fazowej dla modelu PAT 4006.



Rys. 1. Schemat transformatora typu PAT 4006

Produkowane są również transformatory przeznaczone dla stopni wyjściowych z pojedynczą lampą pracującą w klasie A. Podstawowe parametry przedstawiono w tabelicy 2. Jako lampę wyjściową proponowano triodę z katodą o bezpośrednim żarzeniu typ 300B o podstawowych parametrach: $P_a=40$ W, $U_a=450$ V, $I_a=100$ mA, $S_a=5,5$ mA/V, $K_a=3,8$ V/V.

Tabela 1. Parametry wybranych toroidalnych transformatorów wyjściowych firmy Plitron przeznaczonych do pracy w układach przeciwobnych

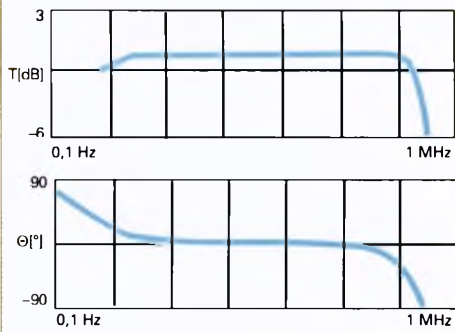
Parametr	Typ transformatora			
	PAT 4002	PAT 4004	PAT 4006	PAT 4008
Zalecany typ lamp wyjściowych	EL34,6CA7, 6L6, 4XEL84	KT66, 6550, 6CA7, 6L6	KT66, KT88, KT90, 6550, 6CA7	KT66, KT88, KT90, KT91, 4XEL84
Moc wyjściowa	40 W	70 W	100 W	80 W (trioda)
Impedancja uzwojenia pierwotnego	5878 Ω	2756 Ω	1885 Ω	1239 Ω
Impedancja uzwojenia wtórnego	5 Ω	5 Ω	5 Ω	5 Ω
Stosunek liczby zwojów (Np/Nw)	34,28:1	23,48:1	19,42:1	15,74:1
Odczep dla układu "ultra linear"	40%	40%	40%	40%
Pasma przenoszenia (-3dB)	25 Hz - 98,8 kHz	22,7 Hz - 187,4 kHz	20,7 Hz - 217 kHz	20,5 Hz - 251,5 kHz
Straty wtarceniowe (Insertion Loss)	0,18 dB	0,4 dB	0,38 dB	0,26 dB
Wymiary: średnica x wysokość	125 x 65 mm	125 x 65 mm	125 x 65 mm	125 x 65 mm
Masa	2,3 kg	2,3 kg	2,5 kg	2,5 kg
Cena [EUR]	205	217	215	182

Tabela 2. Parametry wybranych toroidalnych transformatorów wyjściowych firmy Plitron przeznaczonych do pracy w układach z pojedynczą lampą wyjściową

Parametr	Typ transformatora		
	PAT 3050-SE	PAT 3035-SE P	AT 3025-SE
Zalecany typ lamp wyjściowych	300B	300B	300B
Moc wyjściowa	13 W	13 W	13 W
Impedancja uzwojenia pierwotnego	5060 Ω	3490 Ω	2490 Ω
Impedancja uzwojenia wtórnego	4-8 Ω	4-8 Ω	4-8 Ω
Stosunek liczby zwojów (Np/Nw)	35,55:1	29,52:1	24,96:1
Pasma przenoszenia (-3dB)	20 Hz-84 kHz	20 Hz-90 kHz	20 Hz-91 kHz
Wymiary: średnica x wysokość	152,4 x 88,9 mm	152,4 x 88,9 mm	152,4 x 88,9 mm
Masa	5,4 kg	5,4 kg	5,4 kg
Cena (EUR)	268	252	242

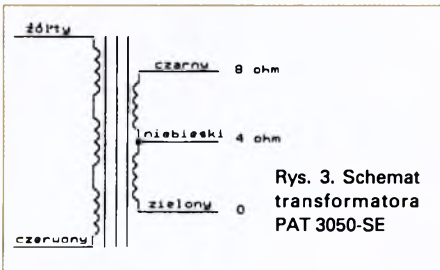
Tablica 3. Parametry toroidalnych transformatorów wyjściowych firmy Amplimo przeznaczonych do pracy w układach z przeciwsobnym stopniem końcowym

Parametr	Typ transformatora	
	VDV2100SILPP (Przewodem ze srebra nawinięto tylko uzwojenie wtórne)	VDV2100SIL2PP (Wszystkie uzwojenia nawinięto przewodem ze srebra)
Zalecany typ lamp wyjściowych	4xEL34, 6550, KT88	4xEL34, 6550, KT88
Moc wyjściowa	100 W	100 W
Impedancja uzwojenia pierwotnego	1885 Ω	1885 Ω
Impedancja uzwojenia wtórnego	5 Ω	5 Ω
Stosunek liczby zwojów (Np/Nw)	19,417:1	19,417:1
Odczep dla układu "ultra linear"	40%	40%
Pasma przenoszenia (-3dB)	0,4 Hz÷215 kHz	0,4 Hz÷204 kHz
Wymiary: średnica x wysokość	126 x 66 mm	126 x 66 mm
Cena netto (EUR)	750	2350



Rys. 3. Przebieg charakterystyki częstotliwościowej i fazowej dla transformatora PAT 4006

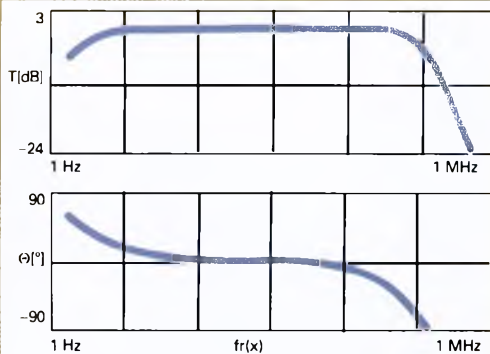
W transformatorach zastosowano nowy toroidalny rdzeń o lepszych właściwościach magnetycznych, co wraz z innowacyjną techniką nawinięcia uzwojeń zaowocowało bardzo dobrymi parametrami elektroakustycznymi. Duża indukcyjność



Rys. 3. Schemat transformatora PAT 3050-SE

uzwojenia pierwotnego wpłynęła na znakomite odtwarzanie basów.

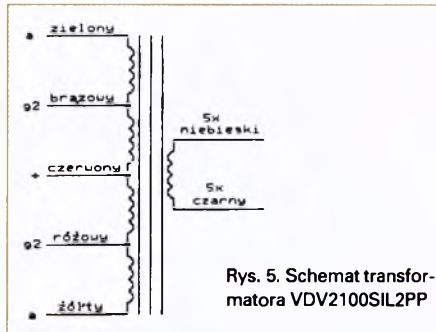
Na rys. 3 przedstawiono schemat transformatora, a na rys. 4 przebieg charakterystyki



Rys. 4. Przebieg charakterystyki częstotliwościowej i fazowej dla transformatora PAT 3050-SE

ki częstotliwościowej i fazowej dla modelu PAT 3035-SE.

Prace dotyczące poprawy jakości transformatorów wyjściowych we wzmacniaczach Hi-End dotyczyły nie tylko samego rdzenia i sposobu uzwojania, ale również materiału z jakiego wykonany był przewód nawojowy. Czysta miedź tzw. beztlenowa już nie wystarczała. Sięgnięto po srebro o czystości 99,999% z dodanymi drobinami złota. Nie trzeba jednak dodawać, że cena tak wykonanego transformatora wzrosła



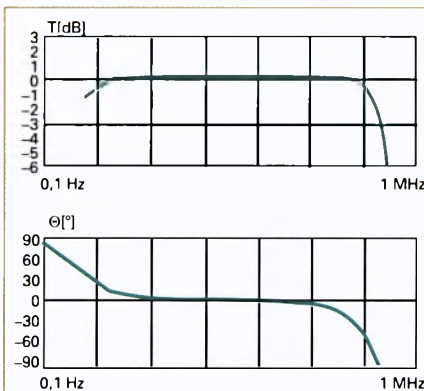
Rys. 5. Schemat transformatora VDV2100SIL2PP

kilkakrotnie, ale czy również wzrosła jakość odtwarzania dźwięku?

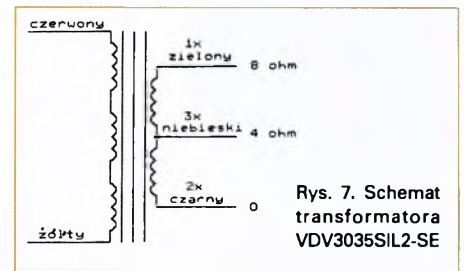
Takie transformatory wykonuje firma holenderska Amplimo. W ofercie firmy znajdują się transformatory, które mają „srebrem” nawinięte tylko uzwojenie wtórne, jak i te które „srebrem” mają nawinięte wszystkie uzwojenia. Produkowane transformatory przeznaczone są do współpracy zarówno z układami przeciwsobnymi, jak i z pojedynczymi stopniami końcowymi.

W tablicy 3 przedstawiono parametry transformatorów przeznaczonych do współpracy z układami przeciwsobnymi, a w tablicy 4 do układów z pojedynczą lampą w stopniu końcowym.

Na rys. 5 przedstawiono schemat transformatora, a na rys. 6 przebieg charakterystyki częstotliwościowej i fazowej dla mode-



Rys. 6. Przebieg charakterystyki częstotliwościowej i fazowej dla transformatora VDV2100SIL2PP

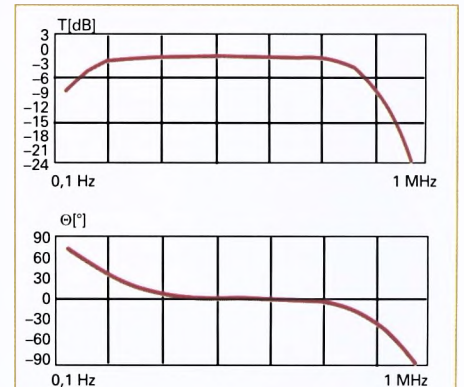


Rys. 7. Schemat transformatora VDV3035SIL2-SE

lu VDV2100SIL2PP.

Na rys. 7 przedstawiono schemat transformatora, a na rys. 8 przedstawiono przebieg charakterystyki częstotliwościowej i fazowej dla modelu VDV3035SIL2.

Nasuwa się pytanie czy niemal dziesięciokrotnie wyższa cena za transformator wyjściowy nawinięty przewodem srebr-



Rys. 8. Przebieg charakterystyki częstotliwościowej i fazowej dla transformatora VDV3035SIL2-SE

nym ma jakieś uzasadnienie. Testy odsłuchowe wykazały jednak zdecydowaną poprawę jakości dźwięku.

Zaczynając od wzmacniaczy z transformatorami nawiniętymi przewodem miedzianym poprzez te, które miały uzwojenie wtórne nawinięte przewodem srebrnym, a kończąc na transformatorach o wszystkich uzwojeniach nawiniętych przewodem srebrnym słyszalne były wyraźne zmiany w odtwarzaniu dźwięku na korzyść tych ostatnich. Te zmiany słyszeli uczestnicy testów. Narastała dokładność

T a b l i c a 4. Parametry toroidalnych transformatorów wyjściowych firmy Amplimo przeznaczonych do pracy w układach z pojedynczą lampą wyjściową

Parametr	Typ transformatora	
	VDV3035SIL (Przewodem ze srebra nawinięto tylko uzwojenie wtórne)	VDV3035SIL2 (Wszystkie uzwojenia nawinięto przewodem ze srebra)
Moc wyjściowa	13 W	13 W
Impedancja uzwojenia pierwotnego	3486 Ω	3486 Ω
Impedancja uzwojenia wtórnego	4÷8 Ω	4 Ω
Stosunek liczby zwojów (Np/Nw)	29,522 : 1	29,522:1
Pasma przenoszenia (-3dB)	3,4 Hz÷92 kHz	3,9 Hz÷88 kHz
Wymiary: średnica x wysokość	153 x 98 mm	154 x 89 mm
Masa	5,4 kg	5,4 kg
Cena netto (EUR)	990	2395

odtworzenia detali głosów ludzi i instrumentów. Co więcej, okazało się, że rodzaj przewodu, którym nawinięto transformator wyjściowy ma większy wpływ na zmianę jakości odtwarzanych dźwięków niż

rodzaj stopnia końcowego: wersje triodowe, pentodowe czy układy „ultra linear”. Tak więc stara zasada mówiąca, że jakość musi kosztować sprawdziła się i w tym przypadku.