



# Wzmacniacz lampowy dla nielampowców (1)

*Lampy w ostatnich latach przeżywają swój renesans. Charakterystyczne, bardzo ciepłe i przyjemne brzmienie wzmacniaczy lampowych, zaczęto doceniać dopiero wtedy, gdy sklepowe półki zapelnily urządzenia półprzewodnikowe. Dziś na firmowy wzmacniacz lampowy trzeba przeznaczyć spore pieniądze, ale nie gorszą jakość można uzyskać budując go znacznie taniej we własnym zakresie.*

## Rekomendacje:

*zamysłem autora było zawarcie w artykule jak najwięcej treści edukacyjnych, stąd wykonanie wzmacniacza polecamy szczególnie tym Czytelnikom, którzy chcą się po raz pierwszy zmierzyć z lampowym żywiołem.*

W artykule został opisany kompletny wzmacniacz lampowy, świetnie nadający się do wykonania nawet przez mało doświadczonych elektroników. Dla zwiększenia przejrzystości opisu układ wzmacniacza podzielono na trzy bloki: tor audio, zasilacze oraz włącznik. Zaczniemy od najważniejszego, czyli toru audio. Jego schemat przedstawiono na **rys. 1**.

Tor audio składa się z dwóch części: stopni napięciowych (sterujących – jest to układ Williamsona) oraz stopnia mocy (końcowego). Do potencjometru głośności (P1) doprowadzony jest sygnał liniowy o maksymalnej amplitudzie 775 mV. Jako źródło sygnału doskonale nadaje się np. odtwarzacz DVD. Kable wejściowe powinny być ekranowane, gdyż nawet małe zakłócenia zostaną wzmocnione wiele razy. Rezystor R1 polaryzuje siatkę triody V1/1, dzięki temu posiada ona potencjał zerowy (masy). Dzieje się tak, gdyż teoretycznie, prąd w siatce lampy elektronowej nie płynie, nie ma więc także spadku napięcia na R1. Przez rezystor R4 przepływa już prąd, przez co występuje na nim pewien spadek napięcia. Ten właśnie spadek „podnosi” potencjał katody V1/1 powyżej potencjału masy. Ostatecznie siatka ma niższy potencjał niż katoda. Taką polaryzację nazywamy automatyczną. Modulując napięcie siatki, powodujemy modulację prą-

## AVT-5142

W ofercie AVT jest dostępna:  
– [AVT-5142A] – płytka drukowana

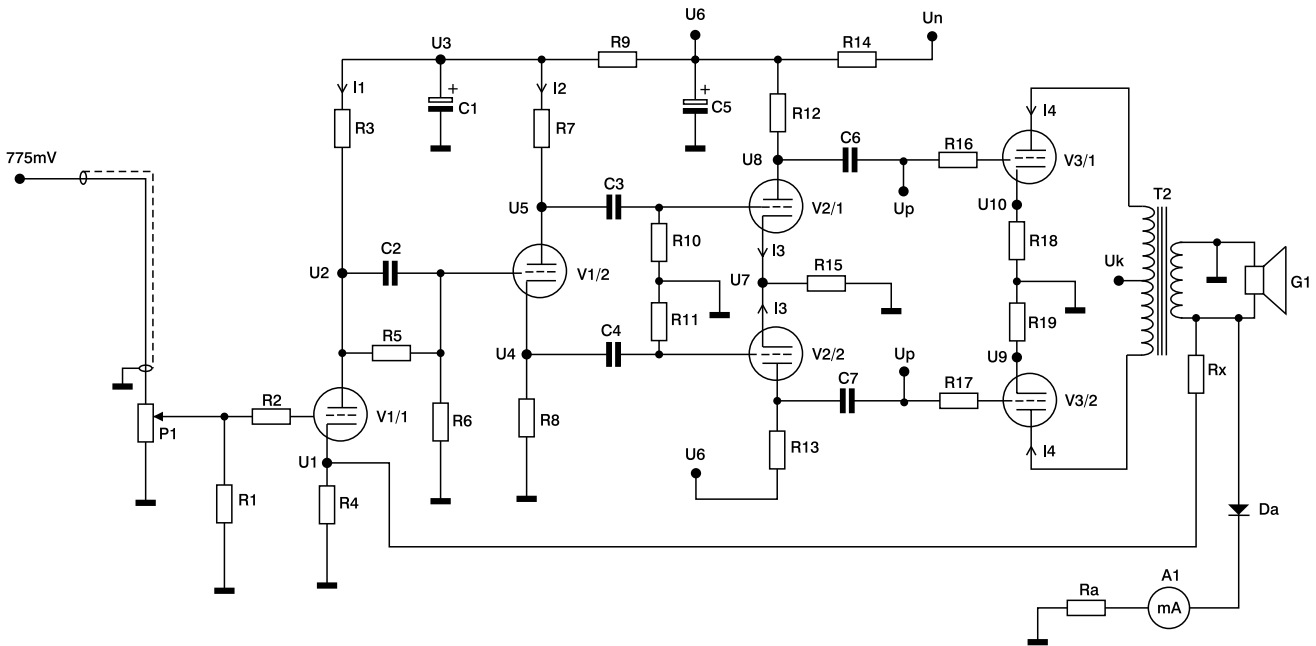
### PODSTAWOWE PARAMETRY

- Płytkę wyłącznika o wymiarach 62x37 mm, wzmacniacz montowany „na pająka”
- Konfiguracja wzmacniacza: układ napięciowy Williamsona
- Stopień mocy: tryodowy push-pull, klasa AB1
- Stała polaryzacja lamp mocy
- Logarytmiczny wskaźnik występowania
- Maksymalna moc wyjściowa (bez przesterowania wzmacniacza): 2x7 W (Uwej=1,24 Vrms; f=1 kHz, sinus; THD=1,2%)
- Pasmo przy spadku 3 dB: 32 Hz...18,5 kHz
- Nominalna impedancja obciążenia: zależna od transformatora (w prototypie 3 Ω)
- Czutość wejściowa dla max mocy (2x7 W): 1,24 Vrms

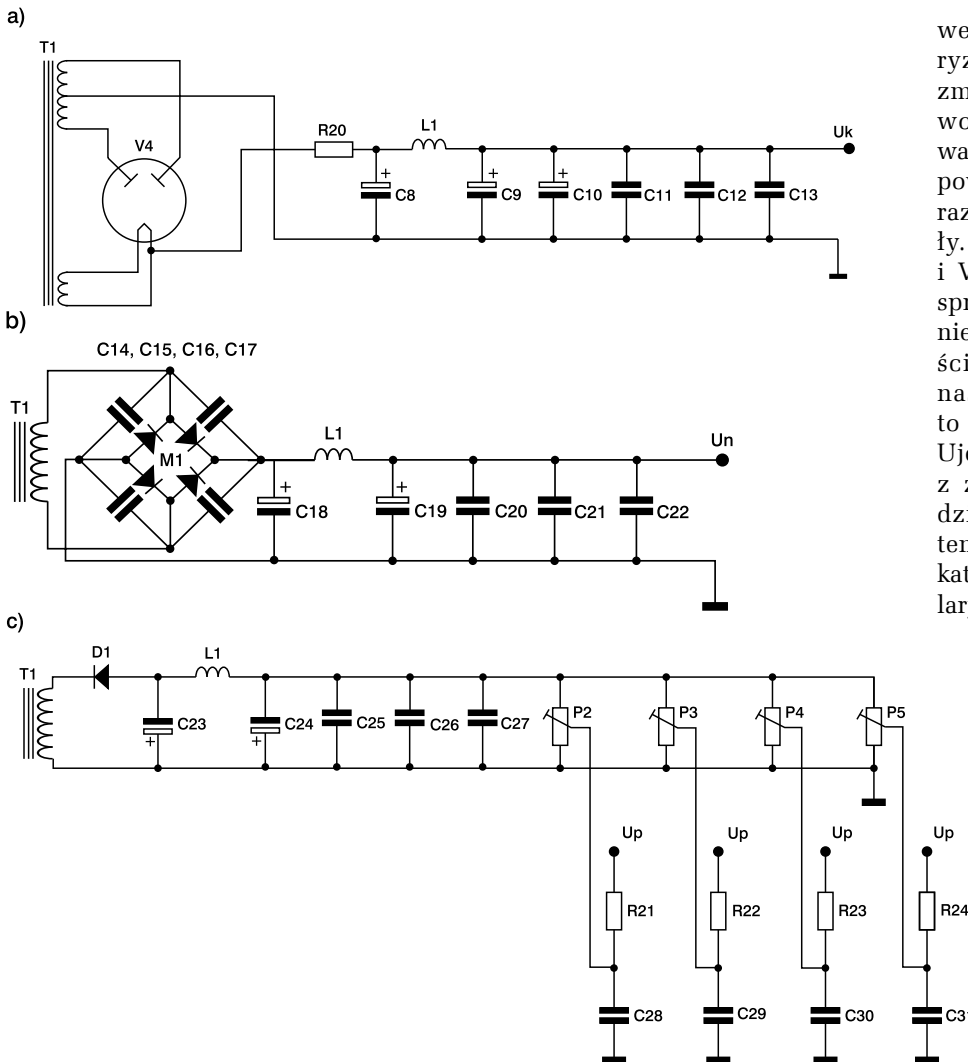
### PROJEKTY POKREWNE

wymienione artykuły są w całości dostępne na CD

Tytuł artykułu	Nr EP/EdW	Kit
Bufor lampowy	EdW 12/2003	AVT-2690
Przedwzmacniacz lampowy	EdW 8/2004	AVT-2729
Lampowy wzmacniacz słuchawkowy	EdW 1/2005	AVT-2744
Wzmacniacz lampowy z PCL86	EP 2/2005	AVT-455
Stereofoniczny wzmacniacz lampowy	EdW 6-7/2005	AVT-2754
Lampowy wzmacniacz gitarowy	EdW 12/2005	AVT-2772
Wzmacniacz lampowy na ECL86 w układzie SE	EdW 4/2006	
Lampowy wzmacniacz akustyczny 2x30 W	EP 4/2008	
Lampowy korektor dźwięku	EdW 7/2008	



Rys. 1. Schemat ideowy toru audio



Rys. 2. Schemat elektryczny zasilacza anodowego lamp: a) 6H13C, b) 6H8C, c) 6H13C

du anodowego (I1), a ten z kolei wymusza modulację spadku napięcia na rezystorze anodowym R3. Wzmocniony w ten sposób sygnał

akustyczny, zostaje odseparowany od składowej stałej przez kondensator C2 i podany na następny stopień. Trioda V1/2 to układ in-

wertera. Rezystor R6 także polaryzuje siatkę sterującą. Ponownie zmiana potencjału na siatce powoduje zmianę prądu I2. Ponieważ rezystancje R7 i R8 są równe, powstają na nich takie same, tym razem już nie wzmacnione sygnały. Są one w przeciwfazie. V2/1 i V2/2 to drivery stopnia mocy ze sprzężeniem katodowym. Ich zadaniem jest dostosowanie oporu wyjściowego i poziomu sygnału dla następnego stopnia. V3/1 i V3/2 to symetryczny stopień końcowy. Ujemne napięcie  $U_p$  pochodzące z zasilacza polaryzacji, który będzie omówiony dalej, obniża potencjał siatki sterującej względem katody o prawie 100 V. Jest to polaryzacja stała. Lampy V3/1 i V3/2

pracują przeciwsośnie, co wynika z faktu, że do ich wejść są doprowadzone sygnały będące względem siebie w przeciwfazie. Układ taki nazwano Push-Pull (jedna trioda „ciągnie”, a druga „pcha”) – dla prądu stałego lampy są połączone równolegle, a dla zmiennego szeregowo. Tym razem obciążeniem anodowym jest transformator głośnikowy z dzielonym uzwojeniem pierwotnym. Zmiany prądu przez niego płynące indukują pole magnetyczne, które z kolei wytwarza prąd na uzwojeniu wtórnym. Transformator przekłada mały opór głośnika na duży opór roboczy. Warto także wspomnieć, dlaczego w aplikacji zastosowano

rezystory R2, R16, R17 przed siatkami lamp. Są to filtry aktywne. Rezystor razem z pojemnością wewnętrzną siatka-katoda tworzą filtr górnozaporowy. Dzięki nim wzmacniacz nie wzbudza się na częstotliwościach ponadakustycznych. Miliamperomierz A1 wraz z diodą Da i rezystorem Ra to prosty, logarytmiczny wskaźnikysterowania. Nie wpływa on znacznie na sygnał wyjściowy?

**Zasilacze**

Aby urządzenie spełniało swoje zadanie, należy dostarczyć mu wystarczająco dużo energii. Wbrew pozorom, zasilacz to również ważna część. Źle wykonany zasilacz może być przyczyną powstawania zniekształceń sygnału wyjściowego, co oczywiście jest niedopuszczalne w lepszym sprzęcie audio. Mówi się, że zasilacz musi być sztywny, czyli nawet przy maksymalnym poborze prądu powinien dawać to samo, stałe napięcie, co bez obciążenia. Oczywiście w praktyce nie jest to możliwe, ponieważ nie istnieją idealne źródła napięciowe. Aby jednak skutecznie zwalczyć ten problemem, stosuje się odpowiednio mocniejszy transformator sieciowy. Zasilacz posiada w ten sposób niezbędny zapas energii, a dzięki niemu różnica napięcia na wyjściu zasilacza przy maksymalnym i minimalnym poborze prądu staje się nieznaczna.

Napięcie przemienne pochodzące z odczepów transformatora sieciowego (rys. 2a) zostaje prostowane na duodiodzie próżniowej V4 i filtrowane przez kondensatory C8...C13 wraz z dławikiem L1. Na czas ładowania kondensatorów elektrolitycznych prąd płynący przez lampę V4 jest ograniczany przez rezystor R20. Prąd ten nie może przekraczać natężenia 230 mA.

Tab. 1. Parametry poszczególnych uzwojeń i odczepów transformatora sieciowego

Napięcie zmienne	Wydajność prądowa	Komentarz
2x210 V	320 mA	Uzwojenie dla dwóch oddzielnych zasilaczy anodowych lamp 6H13C (czterech triod). Napięcie jest bardzo wysokie, ale należy pamiętać, że spadek na duodiodzie próżniowej może sięgnąć nawet 60 V
260 V	50 mA	Uzwojenie dla zasilacza anodowego czterech lamp 6H8C (ośmiu triod)
120 V	20 mA	Uzwojenie dla zasilacza polaryzacji dwóch lamp 6H13C (czterech triod)
5 V	3,5 A	Uzwojenie dla grzejnika pierwszej lampy 5LJ3C
5 V	3,5 A	Uzwojenie dla grzejnika drugiej lampy 5LJ3C
2x3,15 V	8 A	Uzwojenie dla grzejnika czterech lamp 6H8C i dwóch lamp 6H13C

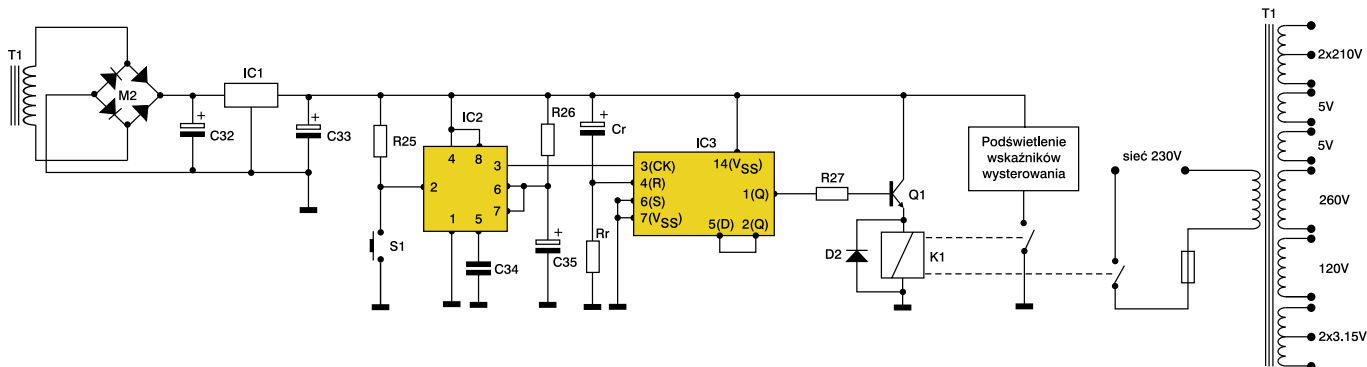
Z tego samego powodu nie wolno zwiększać pojemności C8, gdyż drastycznie skróci to żywotność lampy prostującej. W prototypie, aby uniknąć powstawania przegłosów (czyli sprzęgania ze sobą kanałów), stopnie końcowe obydwu kanałów posiadały oddzielne zasilacze. Ważne jest, aby lampy prostownicze miały oddzielne uzwojenia żarzenia, w innym wypadku nóżki obydwu lamp **muszą być połączone równolegle** (pierwsza z pierwszą, druga z drugą itd.). Na rys. 2b przedstawiono schemat klasycznego zasilacza z prostownikiem półprzewodnikowym. Kondensatory C14...C17 nie są obowiązkowe. Na rys. 2c został przedstawiony zasilacz polaryzacji lamp mocy. Ma on wytworzyć napięcie ujemne, więc dioda D1 i kondensatory C23 i C24 muszą być dołączone „na odwrót”. Rezystorami nastawnymi P2...P5 reguluje się potencjał na konkretnych siatkach lamp mocy. Rezystory R21...R24 ustalają opór wejściowy stopni końcowych, dlatego ich wartości powinny być duże. W każdym z zasilaczy należy zastosować minimum trzy kondensatory małej pojemności (około 100 nF), tak jak to przedstawiono na schematach (C11...C13, C20...C22, C25...C27). Skutecznie wspomagają one filtrację, ponieważ niwelują stosunkowo dużą indukcyjność własną kondensatorów elek-

trolitycznych. Warto też stosować takie kondensatory bezpośrednio przy stopniach napięciowych (np. przy kondensatorach C1 i C5). Ze względu na bardzo rozbudowane zasilanie urządzenia, odradzam własnoręczne nawijanie transformatora sieciowego. Gdyby jednak ktoś chciał wykonać ten krok, to w tab. 1 zostały przedstawione parametry poszczególnych odczepów.

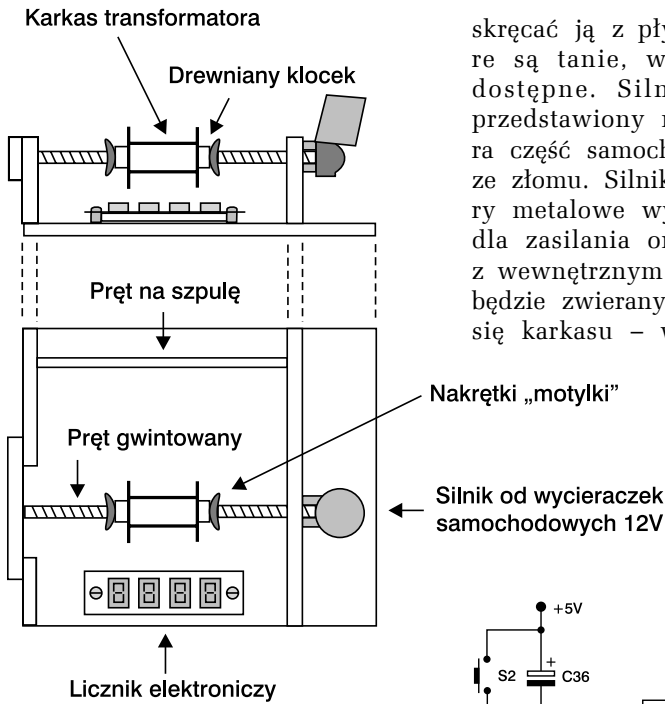
**Włącznik**

Aby wzmacniacz wyglądał nowocześniej, został wyposażony we włącznik stykowy, którego schemat jest przedstawiony na rys. 3. Włącznik powinien posiadać oddzielny transformator sieciowy małej mocy. Takie rozwiązanie zabezpieczy drogi transformator zasilający układ lampowy przed ewentualnymi uszkodzeniami. Układ IC1 stabilizuje odfiltrowane przez C32 napięcie pochodzące z prostownika M2 i obniża je do wartości 5 V. Kondensator C33 jest obowiązkowy, ponieważ stabilizator mógłby bez niego się wzbudzić. Układ IC2 pracuje w konfiguracji multiwibratora monostabilnego. Stan niski na nóżce 2 powoduje wy-

Nazwa 6H13C to po polsku 6N13S (zamiennikiem jest lampa 6AS7)  
 Nazwa 6H8C to po polsku 6N8S (zamiennikiem jest lampa 6SN7)  
 Nazwa 5LJ3C to po polsku 5C3S



Rys. 3. Schemat ideowy włącznika stykowego



Rys. 4. Budowa nawijarki

generowanie stanu wysokiego na wyjściu (nóżka 3) o czasie trwania  $T=1,1 \cdot R_{26} \cdot C_{35}$ . IC3 to przetrzutnik typu T. Steruje on tranzystorem Q1, który z kolei zwiera lub rozzwiera obwody przełącznika. Dioda D2 zabezpiecza tranzystor Q1 przed SEM cewki przełącznika. Ponieważ po włączeniu zasilania układ IC3 generuje losowy stan na swoim wyjściu, należy wyzerować go po jakimś czasie. Dzięki rezystorowi Rr i kondensatorowi Cr wzmacniacz po włączeniu do sieci będzie zawsze wstępnie wyłączony.

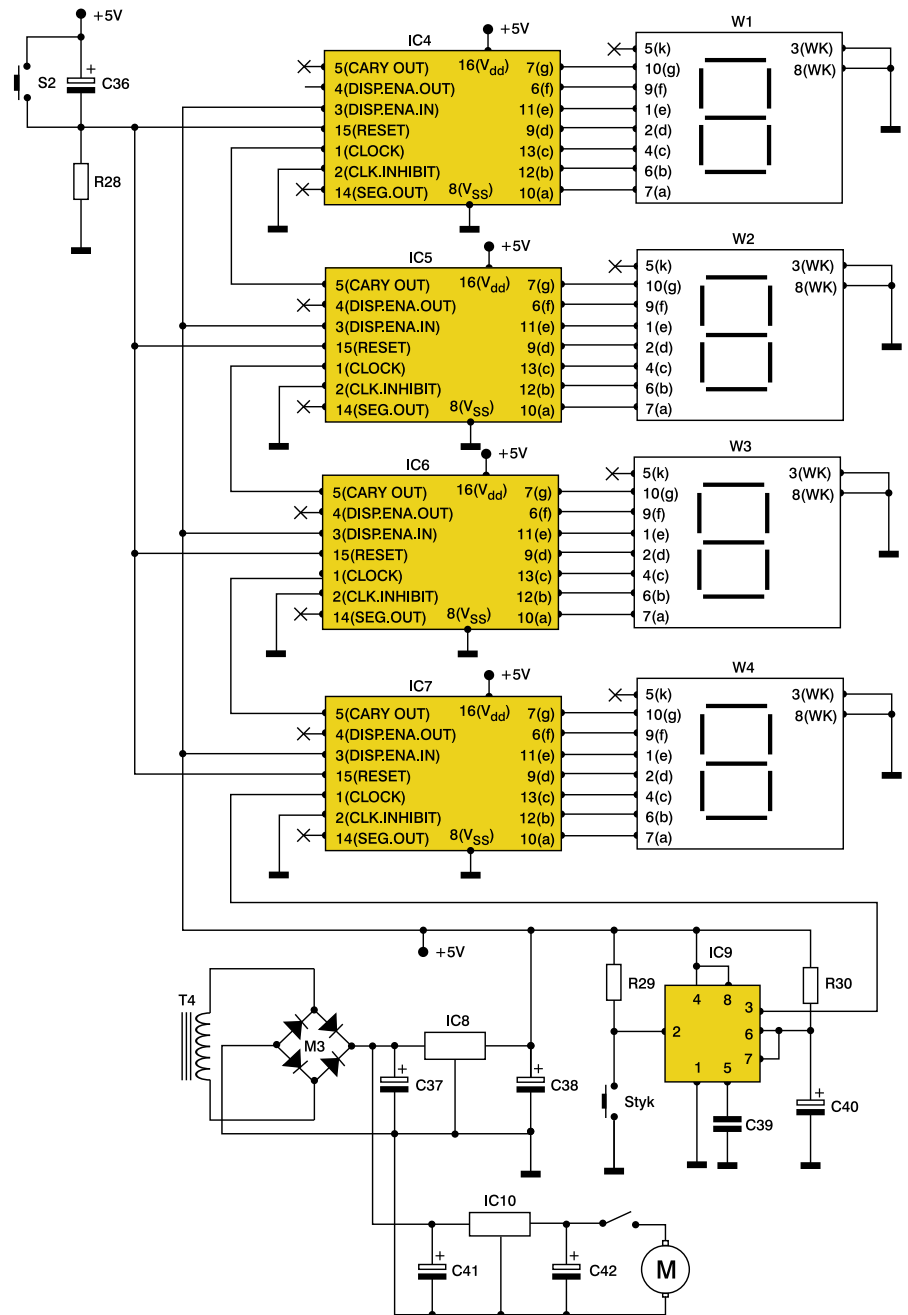
### Elementy indukcyjne

O wysokich cenach wzmacniaczy lampowych decydują nie same lampy, a takie elementy jak transformatory i dławiki. Zakup niezbędnych w aplikacji transformatorów głośnikowych to czasem wydatek nawet ponad 400 złotych! Na szczęście można w dość prosty sposób rozwiązać ten problem, samemu nawijając wszelkie elementy indukcyjne. Warto do tego wyposażyć się w prostą nawijarkę, której budowę mechaniczną przedstawiłem na rys. 4. Najlepiej po-

skręcać ją z płyt wiórowych, które są tanie, wytrzymałe i łatwo dostępne. Silnik prądu stałego przedstawiony na rysunku to stara część samochodowa pochodząca ze złomu. Silnik taki posiada cztery metalowe wyprowadzenia: dwa dla zasilania oraz dwa połączone z wewnętrznym stykiem. Styk ten będzie zwierany podczas obracania się karkasu – w ten sposób licznik

będzie zliczać na bieżąco nawinięte zwoje. (**UWAGA!** Czasami wewnętrzny styk jest podłączony z jednej strony do bolców zasilania – przy zamknięciu obwodu napięcie 12 V trafia na układ zliczający i może go uszkodzić. Przed podłączeniem do elektronicznego licznika należy się upewnić, że styk jest całkowicie odseparowany od zasilania silnika!). Przykładowy schemat licznika przedstawiono na rys. 5, nie będziemy go jednak dokładnie omawiać.

Za miesiąc c.d. – konstrukcja, montaż i pomiary  
**Tomasz Orłowski**  
 sov@o2.pl



Rys. 5. Schemat licznika nawijarki transformatorów

**UWAGA!**  
 W urządzeniach lampowych występują wysokie napięcia stwarzające niebezpieczeństwo dla zdrowia i życia. Zawsze należy pracować z „jedną ręką w kieszeni”, czyli nie dotykać urządzenia dwoma rękami jednocześnie.



# Wzmacniacz lampowy dla nielampowców (2)



»  **cz. I artykułu dostępna na CD**

*Doświadczeni konstruktorzy wzmacniaczy lampowych twierdzą, że jakość wzmacniacza najbardziej zależy od sposobu wykonania transformatora głośnikowego. Dlatego część 2 artykułu poświęcona jest głównie obliczeniom i opisowi know-how wykonania transformatora w warunkach domowych. To prawdziwe rękodzieło, ale warto się przyłożyć, by uzyskać niepowtarzalne „lampowe” brzmienie wzmacniacza wykonanego dosłownie własnymi rękami. Wykonanie tego wzmacniacza nie jest trudne, ale wymaga zapału i cierpliwości prawdziwego hobbysty.*

Każdy transformator głośnikowy jest przystosowany do pracy z konkretną lampą. Aby dobrze go dopasować, najpierw należy przestudiować wykresy charakterystyk. Na **rys. 6** przedstawiono charakterystyki siatkowe lampy mocy, a na **rys. 7** charakterystyki anodowe. Na ich podstawie musimy określić moc admisyjną, (czyli maksymalną moc, która może się wydzielać na anodzie lampy), optymalne obciążenie anodowe oraz opór wewnętrzny lampy. Na wykresie charakterystyk anodowych znajdujemy krzywą oznaczającą 0 V na siatce sterującej. W miejscu maksymalnego prądu anodowego (w przypadku lampy 6H13C jest to 130 mA) zaznaczamy punkt A i kreślimy przez niego styczną do hiperboli mocy admisyjnej. Nachylenie tej prostej oznacza optymalne obciążenie. W dowolnym miejscu na prostej zaznaczamy drugi punkt B. Liczymy iloraz różnicowy:

$$R_a = \Delta U / \Delta I = (U_B - U_A) / (I_A - I_B) \quad [\Omega]$$

$R_a$  wynosi 2,5 k $\Omega$ , jednak literatura często podaje wartość 2 k $\Omega$ , którą przyjmujemy (jest bardziej korzystna). Ponieważ nasz stopień mocy pracuje przeciwnie, interesuje

## AVT-5142

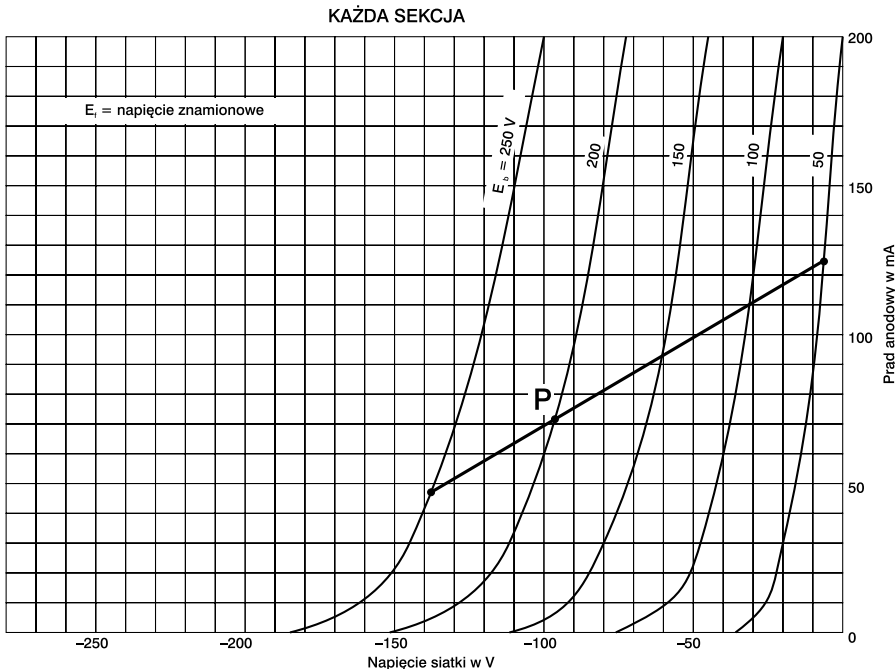
W ofercie AVT jest dostępna:  
- [AVT-5142A] - płytką drukowaną

### PODSTAWOWE PARAMETRY

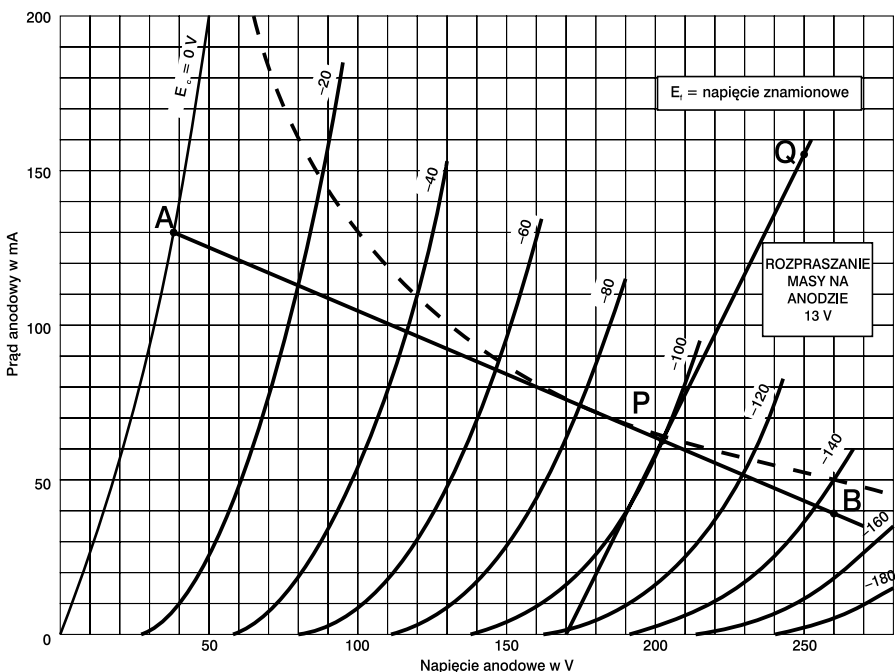
- Płytką wyłącznika o wymiarach 62x37 mm, wzmacniacz montowany „na pająka”
- Konfiguracja wzmacniacza: układ napięciowy Williamsona
- Stopień mocy: triodowy push-pull, klasa AB1
- Stała polaryzacja lamp mocy
- Logarytmiczny wskaźnik występowania
- Maksymalna moc wyjściowa (bez przesterowania wzmacniacza): 2x7 W (Uwej=1,24 Vrms; f=1 kHz, sinus; THD=1,2%)
- Pasmo przy spadku 3 dB: 32 Hz...18,5 kHz
- Nominalna impedancja obciążenia: zależna od transformatora (w prototypie 3  $\Omega$ )
- Czulość wejściowa dla max mocy (2x7 W): 1,24 Vrms

»  **PROJEKTY POKREWNE** wymienione artykuły są w całości dostępne na CD

Tytuł artykułu	Nr EP/EdW	Kit
Bufor lampowy	EdW 12/2003	AVT-2690
Przedwzmacniacz lampowy	EdW 8/2004	AVT-2729
Lampowy wzmacniacz słuchawkowy	EdW 1/2005	AVT-2744
Wzmacniacz lampowy z PCL86	EP 2/2005	AVT-455
Stereofoniczny wzmacniacz lampowy	EdW 6-7/2005	AVT-2754
Lampowy wzmacniacz gitarowy	EdW 12/2005	AVT-2772
Wzmacniacz lampowy na ECL86 w układzie SE	EdW 4/2006	
Lampowy wzmacniacz akustyczny 2x30 W	EP 4/2008	
Lampowy korektor dźwięku	EdW 7/2008	



Rys. 6. Charakterystyki siatkowe lampy mocy



Rys. 7. Charakterystyki anodowe lampy mocy

nas opór od jednej anody do drugiej:

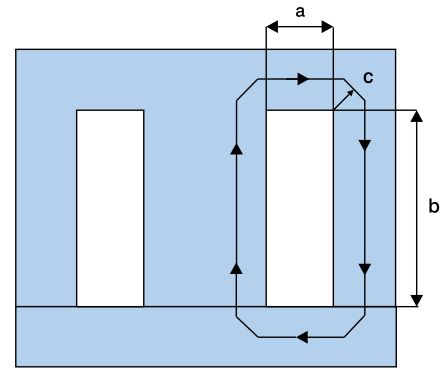
$$R_{aa} = 2 \cdot R_a = 4 [k\Omega]$$

Następnie na wykresie charakterystyk siatkowych również kreśliśmy tę samą prostą i zaznaczamy na niej punkt przecięcia z krzywą oznaczającą napięcie anodowe równe 200 V. Punkt P wyznacza nasz punkt pracy ( $I_a = 65 \text{ mA}$  przy  $U_p = -100 \text{ V}$  na siatce). Na charakterystyce siatkowej doskonale widać, w jakiej klasie będzie pracować lampa mocy. W naszym przypadku jest to klasa AB1. Na odpowiedniej charakterystyce anodowej odnajduje-

my nasz punkt P i kreślimy przez niego styczną do krzywej oznaczającej  $-100 \text{ V}$  na siatce. Nachylenie tej prostej oznacza opór wewnętrzny lampy w naszym punkcie pracy. Zaznaczamy dowolny punkt na tej prostej i ponownie liczymy iloraz różnicowy:

$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{(U_Q - U_P)}{(I_Q - I_P)} [\Omega]$$

$R_i$  wynosi około  $550 \Omega$ . Zakładamy dolną częstotliwość wzmacniacza ( $f_d$ ), w prototypie wynosiła np.  $16 \text{ Hz}$ . Liczymy minimalną indukcyjność uzwojenia pierwotnego ze wzoru:



Rys. 8. Średnia długość strumienia magnetycznego

$$L_p = \frac{R_i \cdot R_{aa}}{R_i + R_{aa}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_d [H]$$

$L_p$  wynosi około  $5 \text{ H}$ . Następnie należy obliczyć minimalną objętość rdzenia, który będzie spełniał nasze oczekiwania:

$$V_z = \frac{10^8 \cdot 0,8 \cdot \pi \cdot \mu_z \cdot \sqrt{P \cdot R_{aa}}}{(2 \cdot \pi \cdot f_d)^2 \cdot L_p \cdot B^2} [cm^3]$$

gdzie:

$P = 30\% \cdot \text{moc admisyjna dwóch triod łącznie} = 0,3 \cdot 26 [W] = 7,8 [W]$

$\mu_z$  – średnia początkowa przenikalność rdzenia (przeważnie zakłada się  $500$ )

$B$  – maksymalna indukcja w rdzeniu w  $Gs$  ( $1 \text{ Tesla} = 10000 \text{ Gausów}$ )

Ponieważ materiał ferromagnetyczny z którego będzie wykonany rdzeń nie magnetyzuje się w sposób liniowy, duże indukcje w rdzeniu będą powodować powstawanie zniekształceń harmonicznych. Dla wzmacniacza akustycznego możemy przyjąć  $B = 2000 \text{ Gs}$ . Objętość rdzenia powinna wynosić około  $100 \text{ cm}^3$ . W prototypie zastosowano kształtki EI84 (grubość pakietu  $42 \text{ mm}$ , grubość blachy  $0,5 \text{ mm}$ ). Liczymy średnią długość strumienia magnetycznego w rdzeniu (rys. 8):

$$l_z = 2 \cdot (a + b) + 2 \cdot \pi \cdot c [cm]$$

a następnie przekrój czynny kolumny środkowej (10% zajmują tlenki i lakier na kształtkach)

$$s_z = 0,9 \cdot \frac{V_z}{l_z} [cm^2]$$

gdzie:

$V_z$  – objętość rzeczywistego rdzenia (nie ta wychodząca z obliczeń)

Przechodzimy do uzwojeń. Liczymy liczbę zwojów uzwojenia pierwotnego:

$$n_1 = 8920 \cdot \sqrt{\frac{L_p \cdot l_z}{0,9 \cdot \mu_z \cdot s_z}}$$

Przekładnia transformatora jest równa:

$$n = \sqrt{\frac{R_{głośnik}}{0,9 \cdot R_{aa}}}$$

Liczba zwojów uzwojenia wtórnego:

$$n_2 = n_1 \cdot n$$

Przekrój drutu uzwojenia pierwotnego jest zależny głównie od wartości skutecznej prądu. W uzwojeniu tym płynię prąd stały z nałożoną składową zmienną. Wartość skuteczną prądu w układzie przeciwsobnym oblicza się ze wzoru:

$$I_p = \sqrt{\frac{I_4^2 + (0,5 \cdot P)}{R_{aa}}} [A]$$

gdzie:

$I_4$  – prąd spoczynkowy tylko jednej triody (65 mA)

Przekrój drutu nawojowego uzwojenia pierwotnego:

$$s_p = \frac{I_p}{\Delta} [mm^2]$$

gdzie:

$\Delta$  to gęstość prądu od 2 do 2,5 A/mm<sup>2</sup>

Średnica drutu nawojowego uzwojenia pierwotnego:

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot s_p}{\pi}} [mm]$$

Przekrój drutu nawojowego uzwojenia wtórnego:

$$s_w = \frac{s_p}{n} [mm^2]$$

analogicznie średnica drutu nawojowego uzwojenia wtórnego:

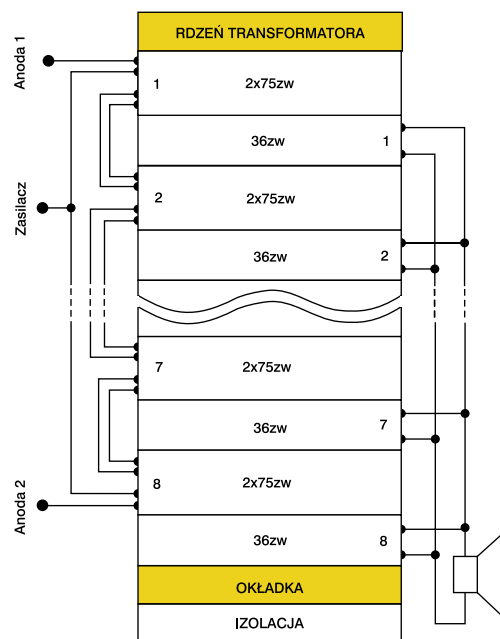
$$d_w = \sqrt{\frac{4 \cdot s_w}{\pi}} [mm]$$

Błaszki należy poskładać bardzo starannie i nie powinno się ich mocno ścisnąć. Nie można jednak dopuścić, aby swobodnie poruszały się, ponieważ transformator będzie „grał” głośniejsz niż głośnik. Żle poskładane lub zbyt mocno ściśnięte mogą spowodować zmniejszenie indukcyjności uzwojenia pierwotnego, co z kolei obetnie nam niskie tony. O ile to możliwe, należy stosować jak najcieńszą blachę. Im mniejsza grubość kształtki, tym mniejsze prądy wirowe i mniejsze straty w rdzeniu. Po obliczeniu transformatora należy oszacować, czy wszystkie zwoje zmieszczą się w oknie rdzenia przy konkretnym

karkasie. Na ile to możliwe, powinno stosować się grubszy drut nawojowy niż to wynika z obliczeń. Zmniejszy się wtedy oporność uzwojeń, przez co wzrośnie skuteczność całego transformatora. W trafach głośnikowych istnieją duże różnice potencjałów (np. pomiędzy uzwojeniem pierwotnym a wtórnym). Należy stosować druty z podwójną izolacją. Po pierwsze jest to zabezpieczenie przed przebiciami, po drugie grubsza izolacja zmniejsza pojemności międzyzwojowe.

Niestety nie wszystkie linie strumienia magnetycznego przenikają rdzeń. Niektóre niejako ulatują i nie biorą udziału w indukowaniu prądu elektrycznego. Takie zjawisko nazywamy indukcją rozproszenia. Wiąże się ono ze stratami w górnych partiach pasma. Dlatego w transformatorach akustycznych uzwojenia powinno się sekcjonować, czyli nawijać naprzemian warstwy uzwojenia pierwotnego i wtórnego. Sekcjonowanie nie tylko zmniejsza indukcyjność rozproszenia, izolacje pomiędzy sekcjami także wpływają na odporność elektryczną i zmniejszenie pojemności całkowitej. Najlepiej do izolowania warstw i sekcji w domowych warunkach nadaje się „pergaminy” papier do pieczenia. Pomiedzy dwoma sekcjami powinno się znaleźć od 4 do 6 warstw takiego papieru. Podczas nawijania warto pamiętać, że kawałki papieru lepiej ciąć o milimetr większe niż karkas – w ten sposób będziemy mieć pewność, że druty nie dotykają się na końcach warstw, a sam papier nie będzie się ślizgał.

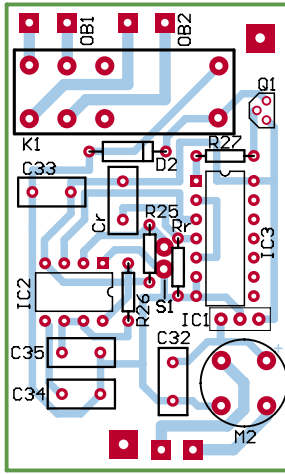
W transformatorach prototypowych nawinąłem 16 sekcji (8 uzwojenia pierwotnego i 8 wtórnego). Wszystkie sekcje uzwojenia pierwotnego łączy się szeregowo, natomiast sekcje uzwojenia wtórnego łączy się równoległe, tak jak to pokazano na **rys. 9**. Bardzo ważne jest, aby każda sekcja uzwojenia wtórnego miała dokładnie tyle samo zwojów. Jeśli warunek ten nie będzie spełniony, przez transformator będą przepływać prądy wyrównawcze i jego skuteczność spadnie. Transformatory dla układów Push-Pull można nawijać na dwa sposoby: albo podzielić karkas na



Rys. 9. Rozmieszczenie sekcji

dwa i nawijać dwa oddzielne bloki (zazwyczaj robi się tak w klasie B), albo nawijać bifilarnie, czyli dwoma drutami jednocześnie (jedynie uzwojenie pierwotne) – po zakończeniu nawijania koniec pierwszego drutu łączy się z początkiem drugiego (jest to odczep dla zasilacza), a dwa pozostałe końce łączy się z anodami lamp. Lepszym rozwiązaniem w naszym przypadku jest druga metoda, ponieważ stosując ją uzyskamy idealną symetrię. Transformator powinien być zabezpieczony przed uszkodzeniami mechanicznymi. Końce uzwojeń (odczepów) powinny być przyłutowane do twardszych kabli lub specjalnych zakończeń, jeśli takowe posiada karkas. W widocznym miejscu należy nakleić kartkę z informacjami o uzwojeniach, sekcjach i odczepach, a same uzwojenia należy mocno zakleić taśmą klejącą. Warto także zatopić na jakiś czas (ponad godzinę) cały transformator, nie tylko karkas z uzwojeniami, w Caponie. Zabezpieczy go to przed wilgocią, a także uniemożliwi blaszkom tzw. „granie” w trakcie pracy.

Mając nawijarkę nie warto oszczędzać na dławikach. Na dławik nadaje się rdzeń z każdego starego transformatora sieciowego, pod warunkiem, że jesteśmy w stanie rozebrać go nie niszcząc lakieru na kształtkach. Procedura liczenia dławików jest także możliwa, jednak do tego celu (i nie tylko) pan Wojciech Staszak stworzył



Rys. 10. Widok płytki włącznika

bardzo przydatny program ECCLab. Można go pobrać ze strony <http://www.ecclab.com>. Po uruchomieniu programu klikamy na „Elementy indukcyjne” i wybieramy „Dławik”. Nie jest wymagana znajomość wymiarów posiadanego rdzenia, ponieważ baza kształtek zawiera najczęściej stosowane wymiary. Program zapyta nas jedynie o niezbędne parametry i resztę obliczy sam.

### Montaż i uruchomienie

Wzmacniacz najlepiej umieścić w aluminiowej obudowie. Blacha aluminiowa o grubości 1...2 mm łatwo się wygina i nawierca. Wszelkie ciężkie elementy, takie jak dławiki lub transformatory oraz płytki drukowane najlepiej jest przykręcić do płyty wiórowej. Przed malowaniem obudowy należy wygładzić powierzchnię papierem ściernym ( $\geq 200$ ) i przemyć ją rozpuszczalnikiem. Drewniane boki wzmac-

niacza usztywniają konstrukcję. Do nich należy przykręcić gumowe nóżki lub takie, które będą dobrze tłumić drgania. Podstawki lamp muszą być dobrze dokręcone, aby lampy nie poruszały się w trakcie pracy – powoduje to tzw. mikrofonowanie. Przed uruchomieniem wzmacniacza należy sprawdzić każdy zasilacz oddzielnie. Przed każdą modyfikacją należy upewnić się, że kondensatory elektrolityczne są wystarczająco rozładowane. Środkowy odczep uzwojenia grzejnika ( $2 \times 3,15$  V) należy przylutować do masy urządzenia (jest to tzw. symetryzacja względem masy) – zmniejszy to ewentualny brum. Wokół transformatorów sieciowych dobrze jest zastosować uziemione ekrany magnetyczne, co zniweluje sprzężenia magnetyczne transformatorów głośnikowych. Nie powinno się prowadzić kabli sieciowych blisko transformatorów głośnikowych, gdyż indukują one nieprzyjemny, słyszalny przydźwięk. Masy wszystkich stopni wzmacniacza powinny być połączone w jednym punkcie. Nie można dopuścić do powstania pętli masy, ponieważ mogą one wzbudzać wzmacniacz. Masę urządzenia warto uziemić bezpośrednio lub przez rezystor  $1 \text{ k}\Omega$ .

Urządzenia lampowe przeważnie montuje się na tzw. „pająka” i taki sposób jest zalecany w tym przypadku. Wyjątkiem jest układ wyłącznika, który jest wykonany w sposób tradycyjny na płycie z obwodem drukowanym (rys. 10). Pozawala to uniknąć sprzężeń i łapania zakłóceń z zewnątrz. Wszystkie elementy należy prowadzić równolegle, albo prostopadle do innych. Po upewnieniu się, że zasilacze pracują poprawnie należy kolejno wkładać lampy i sprawdzać napięcia i prądy w punktach kontrolnych. Poszczególne wartości przedstawione są w tab. 2. Na końcu wkładamy lampy mocy i regulujemy spoczynkowe prądy anodowe, których wartości możemy odczytać podpinając woltomierz w miejsca U9, U10. Jednocześnie rezystory nie mają na celu wprowadzenia ujemnego sprzężenia zwrotnego: prąd, który przez nie płynie jest wprost proporcjonalny do spadku napięcia na nich. Jeśli zastosujemy nieużywane lampy, przez około godzinę prądy te będą niestabilne. Prądy spoczynkowe

Tab. 2. Kontrolne wartości napięć i prądów

Uk	+200 V	zależne od oporu dławika
Un	+360 V	zależne od oporu dławika
Up	-100 V	zależne od napięcia anodowego i punktu pracy
U1	+4 V	
U2	+125 V	
U3	+250 V	
U4	+65 V	
U5	+185 V	
U6	+300 V	
U7	+7,5 V	
U8	+200 V	
U9	65 mA	zależne od punktu pracy
U10	65 mA	zależne od punktu pracy
I1	3,7 mA	
I2	3,7 mA	
I3	5 mA	



**WYKAZ ELEMENTÓW**

**Rezystory**

- R1: 1 M $\Omega$ /0,5 W
- R2: 51 k $\Omega$ /0,5 W
- R3: 33 k $\Omega$ /1 W
- R4: 1,1 k $\Omega$ /1 W
- R5, R6: 330 k $\Omega$ /0,5 W
- R7, R8: 18 k $\Omega$ /0,5 W
- R9: 6,8 k $\Omega$ /1 W
- R10, R11: 510 k $\Omega$ /0,5 W
- R12, R13: 22 k $\Omega$ /1 W
- R14: 3,9 k $\Omega$ /3 W
- R15: 750  $\Omega$ /0,5 W
- R16, R17: 120 k $\Omega$ /1 W
- R18, R19: 1  $\Omega$ /1 W
- R20: 47  $\Omega$ /1 W
- R21...R24: 470 k $\Omega$ /1 W
- R25, R28, R29: 10 k $\Omega$ /0,125 W
- R26: 220 k $\Omega$ /0,125 W
- R27: 1 k $\Omega$ /0,125 W
- R30: 47 k $\Omega$ /0,125 W
- Rx: 5...10 k $\Omega$ /1 W
- Rr: 100 k $\Omega$ /0,125 W

Ra: dobrany doświadczalnie

P1: potencjometr 2x100 k $\Omega$  B (logarytmiczny)

P2...P5: rezystor nastawny 47 k $\Omega$  A (liniowy)

**Kondensatory**

- C1: 10  $\mu$ F/400 V
- C2...C4, C6, C7, C11...C17, C20...C22: 100 nF/400 V
- C5, C8: 47  $\mu$ F/400 V
- C9, C10, C18, C19: 330  $\mu$ F/400 V
- C23, C24: 220  $\mu$ F/200 V
- C25...C27: 100 nF/200 V
- C28...C31: 330 nF/200 V
- C32, C37, C41: 220  $\mu$ F/50 V
- C33, C35, C36, C38, C40, C42, Cr: 10  $\mu$ F/16 V
- C34, C39: 10 nF/16 V

**Półprzewodniki**

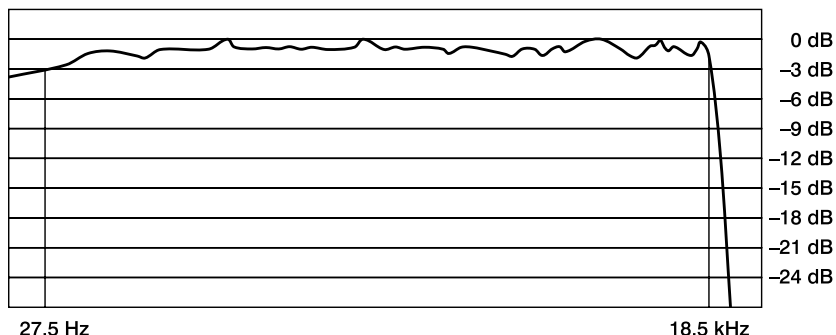
- IC1, IC8: 7805
- IC2, IC9: NE555
- IC3: 4013
- IC4...IC7: 4026
- IC10: 7812
- M1: 1000 V/1 A
- M2: 100 V/1 A
- M3: 100 V/3 A
- D1: 1N4007
- D2, Da: 1N4148
- Q1: BC555
- W1...W4: SC52-11

**Lampy**

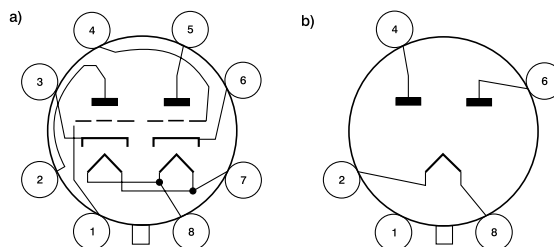
- V1, V2: 6H8C
- V3: 6H13C
- V4: 5LJ3C

**Inne**

- L1: 20 H
- L2, L3: 10 H
- T1: opis w tekście
- T2: opis w tekście
- T3: 6...12 V/100 mA
- T4: 12...15 V/2 A
- A1: 10...50 mA
- G1: opis w tekście
- S1, S2: styk zwirny
- K1: Przekładnik dla dwóch obwodów (cewka na 5 V)
- 4 podstawki lampowe typu octal do chassis
- Podwójne gniazdo RCA
- Gniazda głośnikowe



Rys. 11. Wykres zmierzonego pasma prototypu



Rys. 12. Cokół lamp a) 6H13C i 6H8C, b) 5LJ3C

muszą być sobie równe, ponieważ nawet mała różnica (rzędu 1 mA) powoduje nasycanie się rdzenia transformatora głośnikowego i obcięcie basów.

**Pomiary wzmacniacza**

Z pewnością, jeśli ktoś włoży sporo serca i czasu w obliczenia i wykonanie wzmacniacza, będzie chciał sprawdzić, jak naprawdę przynosi on dźwięki. Przeważnie będzie nas interesowało jedynie pasmo. Okazuje się, że do takich pomiarów nie jest potrzebna skomplikowana aparatura. Wystarczy zwykły komputer i program Cool Edit PRO 2.0, który bez problemu można znaleźć w sieci. Po zainstalowaniu i włączeniu programu należy utworzyć nowy projekt. Próbkowanie 44 kHz przy rozdzielczości 16-bitowej w zupełności wystarczy. Następnie klikamy na „Generate”-> „Noise...”, zaznaczamy szum biały i wybieramy jego styl. Projekt zapisujemy jako plik WAV (nie MP3! – empetrójki obcinają pasmo nagrania, co jest efektem kompresji stratnej stosowanej do tworzenia pliku MP3) i ponownie tworzymy nowy projekt. Równoległe do głośnika (lub innego obciążenia na wyjściu wzmacniacza) podłączamy kabel „Jack”, który podpinamy do wejścia liniowego komputera. Na wejście wzmacniacza podajemy zapisany wcześniej szum biały. Nagrywamy sygnał, który komputer odbiera przez wejście liniowe. Mając próbkę klikamy na „Analyze”-> „Show Frequency Ana-

lysis”. Klikając „Scan” otrzymamy charakterystykę częstotliwościową naszego wzmacniacza. Pasma prototypu zostało przedstawione na rys. 11. Musimy pamiętać, że na wyjściu wzmacniacza napięcie jest większe niż to, do którego normalnie jest przystosowane wejście liniowe. Aby nie uszkodzić karty muzycznej należy zastosować odpowiedni dzielnik napięcia.

**Uwagi końcowe**

Jak widać, wykonanie lampowego wzmacniacza audio nie jest trudne i powinni poradzić sobie z nim nawet średnio zaawansowani amatorzy. Najtrudniejszym zadaniem jest wykonanie transformatora głośnikowego. W artykule pokazałem, że jest to możliwe nawet w warunkach domowych. Temat ten z uwagi na ograniczone miejsce w artykule nie został wyczerpany. Więcej można się dowiedzieć z internetowych artykułów, które można znaleźć pod poniższymi adresami:

- <http://www.fonar.com.pl/audio/projekty/teoria/trafagl4/trafagl.htm>
- <http://www.fonar.com.pl/audio/projekty/teoria/trafagl/trafagl1.htm>
- <http://www.fonar.com.pl/audio/projekty/teoria/trafagl3/trafagl.htm>
- [http://www.fonar.com.pl/audio/projekty/trafa/trans2/trans\\_1.htm](http://www.fonar.com.pl/audio/projekty/trafa/trans2/trans_1.htm)
- <http://www.fonar.com.pl/audio/projekty/teoria/trafagl2/trafagl.htm>

a także z książki G.S. Cykin'a „Transformatory małej częstotliwości”

**Tomasz Orłowski**  
**sov@o2.pl**