







## VADEMECUM ELEKTRONIKA – RADIOAMATORA

*Konstruowanie urządzeń elektronicznych to piękne i pożyteczne hobby. Do jego uprawiania, oprócz sporego zasobu wiedzy i umiejętności, trzeba jednak odpowiedniego zaplecza – narzędzi i sprzętu pomiarowego. Pod tym względem elektronicy są upośledzeni w stosunku do np. wędkarzy czy filatelistów, którzy potrzebne artykuły mogą po prostu nabyć w wyspecjalizowanych placówkach.*

*O ile zakup wkrętaka czy lutownicy nie jest jeszcze problemem, o tyle zakup najpotrzebniejszych mierników praktycznie nie jest możliwy. Gdyby nawet niezbędny sprzęt był osiągalny w sklepach, jego cena przekraczałaby zapewne wielokrotnie możliwości finansowe hobbysty. Nie ma więc innej rady, jak wykonanie potrzebnych urządzeń własnymi siłami. Jak tego dokonać, dysponując jedynie zdezcelowanym miernikiem uniwersalnym, stanowiącym często cały arsenał środków metrologicznych radioamatora? Trzeba zacząć od konstrukcji najprostszych, możliwych do uruchomienia za pomocą wspomnianego multimetru. Mimo prostoty, wykonane urządzenia rozszerzą już nasze możliwości pomiarowe. Następnie posługując się zbudowanymi układami przystąpimy do budowy mierników bardziej zaawansowanych, itp. Budowa sprzętu pomiarowego uczy staranności i zmusza do poznania istoty wielu zjawisk, które inaczej pozostałyby na marginesie naszych zainteresowań. To „przymusowe” wzbogacenie naszej wiedzy zaowocuje w przyszłości.*

*Zapoczątkowany dziś cykl dedykowany jest właśnie tym amatorom, którzy zdecydują się na rozbudowę swego warsztaciku własnymi siłami. Nie szkodzi, że na razie mieści się on np. w pudełku po obuwiu... Przy odrobinie wytrwałości i konsekwencji wkrótce może się on wzbogacić o wiele użytecznych przyrządów, które młodemu adeptowi umożliwią samodzielna już egzystencję na niwie amatorskiej elektroniki. Oprócz opisów elementarnego sprzętu pomiarowego w ramach cyklu publikowany też będzie wybór najciekawszych i najbardziej pomysłowych rozwiązań układowych z różnych dziedzin, przydatnych w samodzielnej działalności konstruktorskiej.*

### ZASILACZ STABILIZOWANY

Prezentowany poniżej uniwersalny, stabilizowany zasilacz niskonapięciowy skonstruowany został pod kątem potrzeb elektronika-amatora, jako element stałego wyposażenia pracowni. W ciągu kilkuletniej, bezawaryjnej eksploatacji kilka wersji tego przyrządu oddało nieocenione usługi przy naprawie różnego rodzaju urządzeń elektrycznych i elektronicznych – silniczków, zegarków elektronicznych, wzmacniaczy, odbiorników. Przede wszystkim jednak przy-

rząd sprawdził się przy uruchamianiu układów eksperymentalnych i prototypowych konstrukcji elektronicznych. Prototypowy zasilacz był też używany do ładowania akumulatorów i drobnych prac galwanotechnicznych.

Napięcie wyjściowe nastawiane jest płynnie od 0 do 30 V, maksymalny prąd wyjściowy zmieniany jest skokowo od 10 mA do 1 A w siedmiu podzakresach. Opór wyjściowy zasilacza nie przekracza 30 miliomów. Wyjście jest całkowicie zabezpieczone przed przeciążeniem lub zwarcieniem. Zasilacz przechodzi w takim przypadku od stabilizacji

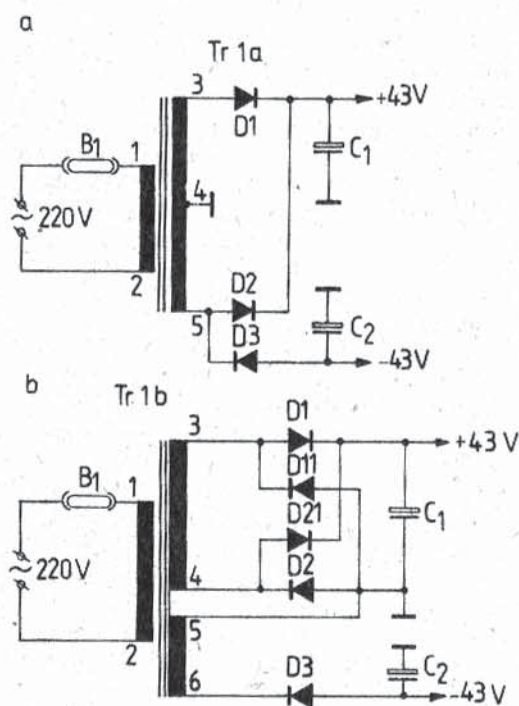


napięcia do stabilizacji prądu wyjściowego, zaś stan ten jest sygnalizowany za pomocą diody elektroluminescencyjnej. Układ stabilizatora zaprojektowano pod kątem bardzo niskiego poziomu tętnień oraz dobrej stabilności czasowej i termicznej w całym zakresie napięć wyjściowych. Pod względem funkcjonalnym urządzenie składa się z dwóch części: bloku zasilacza sieciowego i stabilizatora napięcia.

### Zasilacz sieciowy

Powinien dostarczyć wyprostowanego i wstępnie wygładzonego napięcia dodatkowo 36–43 V (zależnie od obciążenia) przy natężeniu do 1,1 A, oraz pomocniczego napięcia ujemnego względem masy o wartości 43 V, 13 mA do zasilania źródła napięcia odniesienia i układów stabilizatora. Radioamator o pewnym doświadczeniu jest w stanie samodzielnie zaprojektować transformator i układ prostowniczy o wymaganych parametrach. W rozwiązaniach modelowych

Rys. 1. Schemat ideowy bloku prostowniczego: a – wersja I, b – wersja II. Diody D1, D2, D3 (D11, D21) – BYP 401–100  
 $C_1$  – 2200  $\mu\text{F}/63\text{ V}$ ,  $C_2$  – 470  $\mu\text{F}/63\text{ V}$ ,  $B_1$  – 250 mA zwłoczny



wykorzystano dwa alternatywne układy zasilacza (rys. 1 a, b).

Układ z rys. 1 b wymaga dwóch dodatkowych diod prostowniczych w układzie Greata, odznacza się jednak nieco korzystniejszymi własnościami pod pełnym obciążeniem z uwagi na użycie na uzwojenie wtórne grubszego drutu. W efekcie daje to mniejsze nagrzewanie transformatora oraz mniejszy spadek napięcia pod obciążeniem.

Po zwiększeniu pojemności kondensatora filtrującego  $C_1$  do 4700 mikrofaradów i powiększeniu radiatora tranzystora wykonawczego stosując układ z rys. 1b można skonstruować zasilacz o prądzie wyjściowym do 1,5 A.

Zastosowanie prostownika półkresowego w zasilaczu napięcia ujemnego podyktowane zostało małym poborem prądu z tego zasilacza.

Transformatory w obu wersjach (Tr 1a, Tr 1b) wykonano na rdzeniu o przekroju 8,5 cm<sup>2</sup> złożonym z kształtek EI 84. Uzwojenie pierwotne w każdym z transformatorów miało 1150 zwojów przewodu nawojowego w emalii  $\varnothing$  0,35 mm. Na przykładki międzywarstwowe wykorzystano papier kondensatorowy, uzyskany z rozebranego kondensatora. W celu zmniejszenia poziomu zakłóceń sieciowych między uzwojeniem pierwotnym, a wtórnym wykonano ekran w postaci zwoju folii aluminiowej. Wyprowadzenie ekranu w postaci paska folii połączono z rdzeniem transformatora. Ekran trzeba starannie odizolować od uzwojeń.

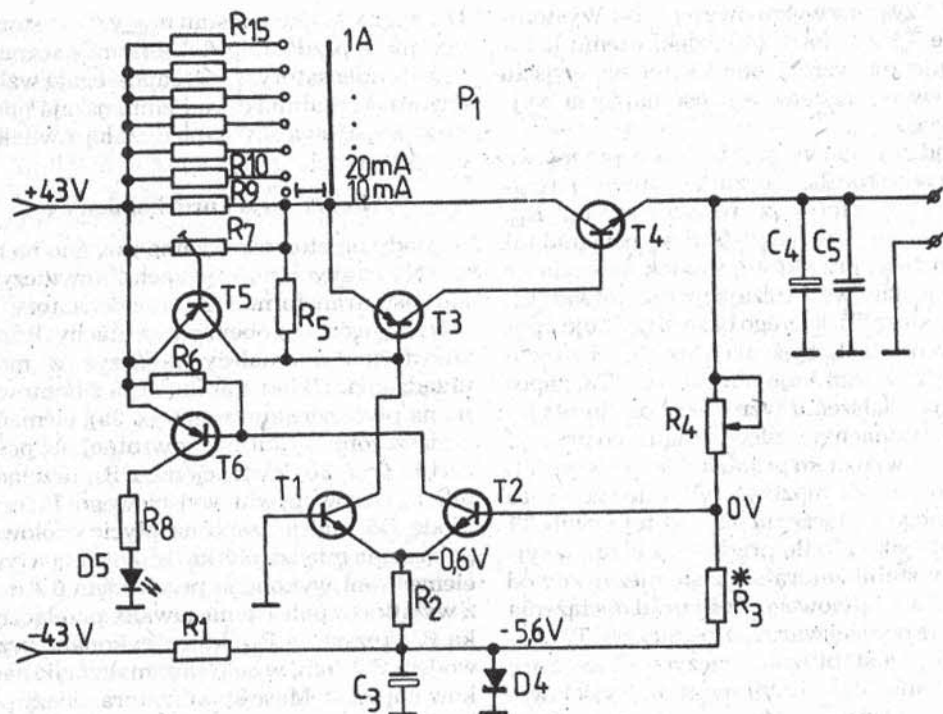
Uwaga! Zwój ekranujący nie może być zwarty!

Z ekranu międzyuzwojeniowego można zrezygnować, należy się liczyć wtedy jednak z przenikaniem pewnych zakłóceń z sieci energetycznej. W ogromnej większości przypadków poziom tych zakłóceń jest jednak pomijalny.

Uzwojenie wtórne dla Tr 1a składa się z dwóch połówek po 165 zwojów nawiniętych drutem  $\varnothing$  0,7 mm. Uzwojenia te najlepiej nawinąć bifilarnie, nie jest to jednak konieczne. W przypadku Tr 1b uzwojenie 3–4 nawinięto drutem  $\varnothing$  0,9 mm – liczba zwojów 186. Na uzwojenie 5–6 składa się 165 zwojów drutu  $\varnothing$  0,15 mm.

Transformator zaprojektowano z pewnym zapasem mocy z myślą o ewentualnym zwiększeniu obciążalności. Możliwe jest użycie





Rys. 2. Schemat ideowy stabilizatora napięcia

rdzenia o mniejszym przekroju (od  $7 \text{ cm}^2$ ). Należy wtedy jednak przeliczyć liczbę zwojów i grubość drutu odpowiednio do przekroju rdzenia i wielkości okna.

### Stabilizator napięcia

Układ składa się z następujących bloków funkcjonalnych: wzmacniacza błęd z tranzystorami T1, T2, regulatora szeregowego z tranzystorem sterującym T3 i wykonawczym T4, ogranicznika prądu wyjściowego (T5) i sygnalizatora pracy podczas ograniczania prądu (T6) z diodą elektroluminescencyjną D5. Napięcie odniesienia wytwarzane jest przez diodę Zenera D4. Dioda ta pracuje ze stałym (niezależnym od obciążenia) prądem, co wpływa na polepszenie stabilizacji i redukcję oporu wyjściowego. Wartość napięcia stabilizacji  $5,6 \text{ V}$  wybrano pod kątem stabilności termicznej – stabilizatory na to napięcie cechują się zbliżonym do 0 współczynnikiem temperaturowym. Różnicowy układ wzmacniacza błęd także wpływa na zwiększenie stabilności termicznej – zmiany napięcia baza – emitor oraz współczynnika wzmocnienia prądowego w obu

tranzystorach (T1, T2) kompensują się. Do ustawiania żądanej wartości napięcia wyjściowego stabilizatora służy zmienny rezystor  $R_4$ . W stanie równowagi na bazie tranzystora T2 występuje napięcie zbliżone do  $0 \text{ V}$ . Wynika stąd liniowa zależność napięcia wyjściowego od wartości rezystancji  $R_4$ :

$$\frac{U_{wy}}{U_{odn}} = \frac{R_4}{R_3}, \quad U_{wy} = R_4 \cdot \frac{U_{odn}}{R_3}$$

Założmy, że wskutek np. wzrostu prądu obciążenia, wyjściowe napięcie stabilizatora zmalało. Poprzez dzielnik napięcia złożony z rezystorów  $R_3, R_4$  spadek napięcia pojawia się też na bazie T2, powodując w konsekwencji zmniejszenie prądu emitera tego tranzystora, oraz napięcia na połączonych emiterach obu tranzystorów stopnia różnicowego. Ponieważ baza T1 znajduje się na stałym potencjale  $0 \text{ V}$ , zmniejszenie napięcia emitera oznacza wzrost napięcia baza-emiter, czemu towarzyszy wzrost prądu kolektora. W obwód kolektora T1 włączona jest baza tranzystora sterującego T3, nastąpi więc wzrost prądu kolektorowego tego tranzystora, który jest równocześnie prądem ba-



zy tranzystora wykonawczego T4. Występowanie T4 zwiększy się, dzięki czemu kompensuje on wzrost obciążenia na wyjściu i przywróci zadaną wartość napięcia wyjściowego.

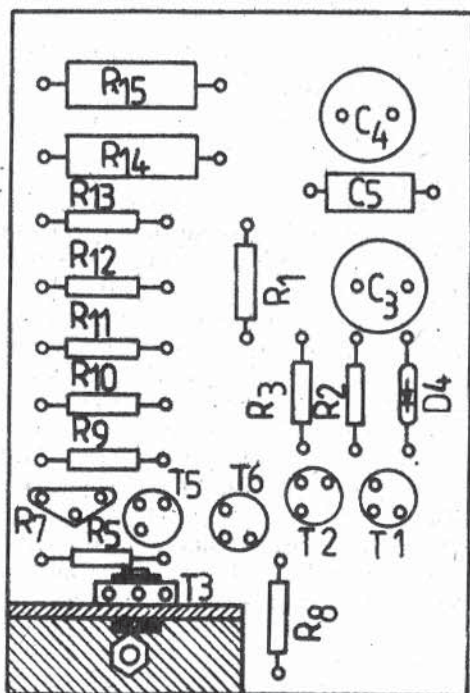
Prąd wyjściowy stabilizatora przepływa przez rezystor  $R_9$ , zbocznikowany ewentualnie przez któryś z rezystorów  $R_{10}$ - $R_{15}$ . Przyjmijmy, że prąd wyjściowy osiągnął taką wartość, przy której spadek napięcia na  $R_9$  stał się wystarczający do „otwarcia” tranzystora T5, którego baza otrzymuje z potencjometru  $R_7$  część tego spadku. Przewodzący T5 bocznikuje obwód bazy T3, zapobiegając dalszemu wzrostowi prądu obciążenia. Wzmacniacz błędów reaguje co prawda dalszym wzrostem prądu kolektorowego T1, jest to jednak możliwe tylko do momentu zupełnego wyłączenia T2. Od tej chwili T1 pracuje jako źródło prądowe, zaś prąd wyjściowy stabilizatora staje się niezależny od napięcia wyjściowego. Jeśli prąd obciążenia spadnie poniżej wartości granicznej, T5 „zatyka” się a stabilizator zaczyna znów pracować w systemie stabilizacji napięcia wyjściowego. Ponieważ w układzie ograniczania prądu wyjściowego T2 nie przewodzi, wyłącza się też tranzystor T6 i przestaje świecić dioda

D5, sygnalizując ten stan pracy. Rezystor  $R_8$  ogranicza prąd diody elektroluminescencyjnej. Kondensatory  $C_4$ ,  $C_5$  zapobiegają wzbudzeniu się stabilizatora i zmniejszają oporność wyjściową dla napięć małej i wielkiej częstotliwości.

### Konstrukcja i uruchomienie

Diody prostownicze zamontowano na nie wykorzystanych końcówkach lutowniczych karkasu transformatora, kondensatory  $C_1$  i  $C_2$  zamocowano obejmami z blachy. Rdzeń transformatora należy połączyć z masą urządzenia. Układ stabilizatora zamontowano na płytce drukowanej (rys. 3a), elementy umieszczono po stronie odwrotnej niż połączenia (rys. 3b). Potencjometr  $R_4$ , przełącznik zakresów prądu wyjściowego  $P_1$  oraz diodę D5 umieszczono na płycie czołowej, połączenia między płytką drukowaną a tymi elementami wykonano przewodem 0,4 mm, z wyjątkiem połączenia suwaka przełącznika  $P_1$  i rezystora  $R_{15}$ , które wykonano przewodem  $\varnothing 1$  mm, w celu minimalizacji spadków napięcia. Masę stabilizatora należy połączyć z masą zasilacza tuż przy gnieździe wyjściowym „-”, zaś potencjometr  $R_4$  powinien być dołączony bezpośrednio do gniazda

Rys. 3. Płytki zasilacza: a – od strony druku, b – od strony elementów



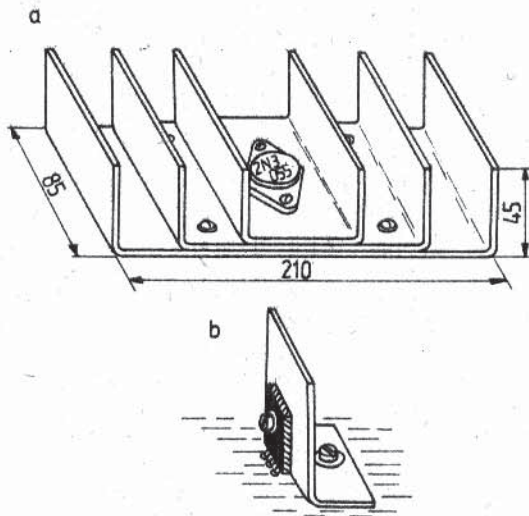


wyjściowego „+”. Ma to na celu minimalizację oporu wewnętrznego stabilizatora.

Nieco uwagi należy poświęcić tranzystorom T3 i T4, z uwagi na wydzielaną na nich moc. Moc wydzielana w T4 może w najmniej korzystnych warunkach (zwarcie na zakresie 1A) osiągnąć 40 W. Tranzystor ten musi być umieszczony na odpowiednim radiatorze. W rozwiązaniach modelowych zastosowano radiator własnej roboty (rys. 4a), wykonany z blachy aluminiowej grubości 2,5 mm. Można oczywiście użyć innego radiatora o zbliżonej lub większej powierzchni czynnej. Radiator należy umieścić w miejscu zapewniającym swobodny przepływ powietrza. W rozwiązaniach modelowych radiator umieszczono na tylnej ściance przyrządu. Powierzchnia radiatora w miejscu przykręcenia T4 powinna być równa i gładka w celu zapewnienia jak najlepszego kontaktu termicznego. Przed przykręceniem tranzystora wykonawczego wskazane byłoby pokryć miejsce styku warstewką smaru silikonowego. Smar taki można uzyskać m.in. z wnętrza starych tranzystorów germanowych, np. TG 72.

Tranzystor T3 także może się nagrzewać dość znacznie, zwłaszcza w przypadku małego wzmocnienia prądu T4. Aby polepszyć warunki chłodzenia, umieszczono go na niewielkim radiatorze z blachy aluminiowej grubości 1 mm (rys. 4b). Wymiary podstawy radiatora: 31 × 11, wysokość – 30 mm.

Uruchamianie urządzenia należy rozpocząć od zasilacza sieciowego po jego uprzednim odłączeniu od stabilizatora. Po upewnieniu się o obecności wyprostowanych napięć zbliżonych do 43 V (plus i minus!) można dołączyć stabilizator, najlepiej przez rezystor około 200 omów, w celu zapobieżenia ewentualnym uszkodzeniom w przypadku błędów montażowego lub niesprawności elementów. Sprawdzamy, czy na wyjściu występuje napięcie, i czy ulega ono zmianom przy kręceniu potencjometrem  $R_1$ . W jednym ze skrajnych położen powinno ono wynosić około 0 V, w drugim – 30 V. Jeśli druga ze skrajnych wartości znacznie odbiega od 30 V, dobieramy rezystor  $R_3$  – w przypadku za dużego napięcia na wyjściu należy rezystor zwiększyć, i na odwrót. Potencjometr  $R_4$  można zaopatrzyć teraz w podziałkę wyskalowaną bezpośrednio w wartościach napięcia wyjściowego.



Rys. 4. Radiatory: a – tranzystora wykonawczego T4, b – tranzystora T3

Po stwierdzeniu poprawnej pracy stabilizatora możemy zacząć regulację ogranicznika prądowego. W tym celu ustawiamy przełącznik  $P_1$  na zakres 20 mA (włączony rezystor  $R_{10}$ ), ślizgacz  $R_1$  ustawiamy w położenie środkowe, potencjometrem  $R_2$  nastawiamy napięcie wyjściowe około 10 V, po czym do wyjścia stabilizatora dołączamy przez opornik 200 omów amperomierz o zakresie 25–50 mA. Rezystorem (potencjometrem montażowym)  $R_3$  ustawiamy płynący prąd na wartość 22 mA – około 10% większą od znamionowej wartości zakresu. Wynika to stąd, że w przypadku prądów wyjściowych zbliżonych do progu zadziałania ogranicznika może wystąpić pewne pogorszenie współczynnika

Rys. 5. Przykładowe charakterystyki prądowo-napięciowe zasilacza

