

# Regulowany zasilacz wysokiego napięcia zmiennego



*Opisy konstrukcji zasilaczy warsztatowych, różnego typu i przeznaczenia, są stałym tematem w literaturze dla elektroników. Niestety publikacji zawierających opisy zasilaczy napięcia przemiennego o częstotliwości elektroenergetycznej sieci zasilającej nie ma zbyt dużo.*

**Rekomendacje:** *opisany zasilacz zainteresuje z pewnością dotychczasowych użytkowników autotransformatorów.*

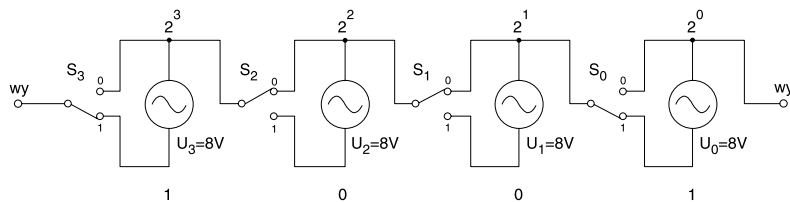
*Oferuje łatwość nastawiania napięcia i jednocześnie izolację galwaniczną od sieci elektrycznej.*

*Może być stosowany do prac związanych z naprawami, uruchamianiem lub testowaniem rozmaitych urządzeń, a także przyda się do zasilania silników elektrycznych lub regulacji oświetlenia.*

W artykule autor proponuje budowę właśnie takiego zasilacza. Jego zasadniczym elementem jest odpowiedniej konstrukcji transformator sieciowy z przełącznikowym układem przełączającym. Zasilacz jest źródłem napięcia przemiennego, regulowanego w zakresie 0...255 V z rozdzielczością 1 V i obciążalności zróżnicowanej w zależności od nastawionego napięcia wyjściowego. Proponowane rozwiązanie, przy założonym zakresie i założonej rozdzielczości regulacji napięcia, zdecydowanie upraszcza sposób regulacji oraz do minimum redukuje liczbę uzwojeń lub odczepów transformatora sieciowego i połączeń wewnętrznych zasilacza. Zastosowanie mikrokontrolera do sterowania tym urządzeniem wydatnie podnosi jego walory użytkowe.

Nie znam odpowiedzi na pytanie, dlaczego podjęty temat nie cieszy się większą popularnością.

Przecież zasilacz potrafiący dostarczyć regulowanego w szerokich granicach napięcia przemiennego jest urządzeniem bardzo przydatnym w warsztacie elektronika amatora (i nie tylko), a obszar jego zastosowań jest bardzo szeroki. Ponadto może być on wygodnym i tanim źródłem zasilania posiadanych elektronarzędzi, takich jak: miniwierarka, lutownica, dodatkowe oświetlenie itp. W swej praktyce konstruktorskiej niejednokrotnie spotkałem się z potrzebą dysponowania źródłem zasilania napięcia przemiennego o wyrażeniu określonym lub regulowanym napięciu wyjściowym. Korzystałem wtedy z ciężkiego i nieporęcznego autotransformatora regulacyjnego lub w „łżejszych” przypadkach z różnych posiadanych w swoich „zapasach” transformatorów sieciowych. Konfigurując na różne sposoby układ połączeń ich uzwojeń wtórnych otrzymywałem pożądane



Rys. 1. Sposób regulacji napięcia wyjściowego

napięcie zasilające. Jak dalece prymitywny i niewygodny był to sposób nie muszę przekonywać nikogo, kto trzymał lutownicę w ręku. Opracowałem wtedy i wykonałem prezentowane w niniejszym artykule urządzenie. W przyjętych założeniach zasilacz powinien dostarczać napięcia przemiennego, ustawianego z rozdzielczością 1 V w zakresie od 0 do 250 V i mocy 100...150 W. Ponadto, co jest sprawą bardzo istotną z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy, powinien zapewniać galwaniczną separację od elektroenergetycznej sieci zasilającej. Założenia te jednoznacznie wskazywały, że sercem tej konstrukcji powinien być transformator sieciowy. Pozostał do rozwiązania sposób regulacji napięcia wyjściowego. Na samym wstępie odrzuciłem w miarę proste i powszechnie stosowane regulatory oparte na technice tyrystorowej. Oczywistym powodem były zniekształcenia kształtu sinusoidy napięcia wyjściowego oraz zakłócenia radioelektryczne, jakie te układy generują. Tradycyjny sposób, wykorzystujący odczepy wykonane na uzwojeniu wtórnym transformatora oraz wielopozycyjny przełącznik był również nie do przyjęcia z uwagi na znaczną (aż 250) liczbę potrzebnych odczepów. Zastosowałem zatem niekonwencjonalny sposób regulacji eliminujący opisane powyżej niedogodności. Prezentowany zasilacz jest konstrukcją stosunkowo prostą, ma jednak, moim zdaniem, jedną kapitalną zaletę. Zastosowane rozwiązanie układu regulacji napięcia, przy założonym zakresie i rozdzielczości regulacji, do minimum redukuje liczbę uzwojeń i odczepów transformatora sieciowego, jak również znakomicie upraszcza metodę regulacji.

### Metoda regulacji napięcia wyjściowego

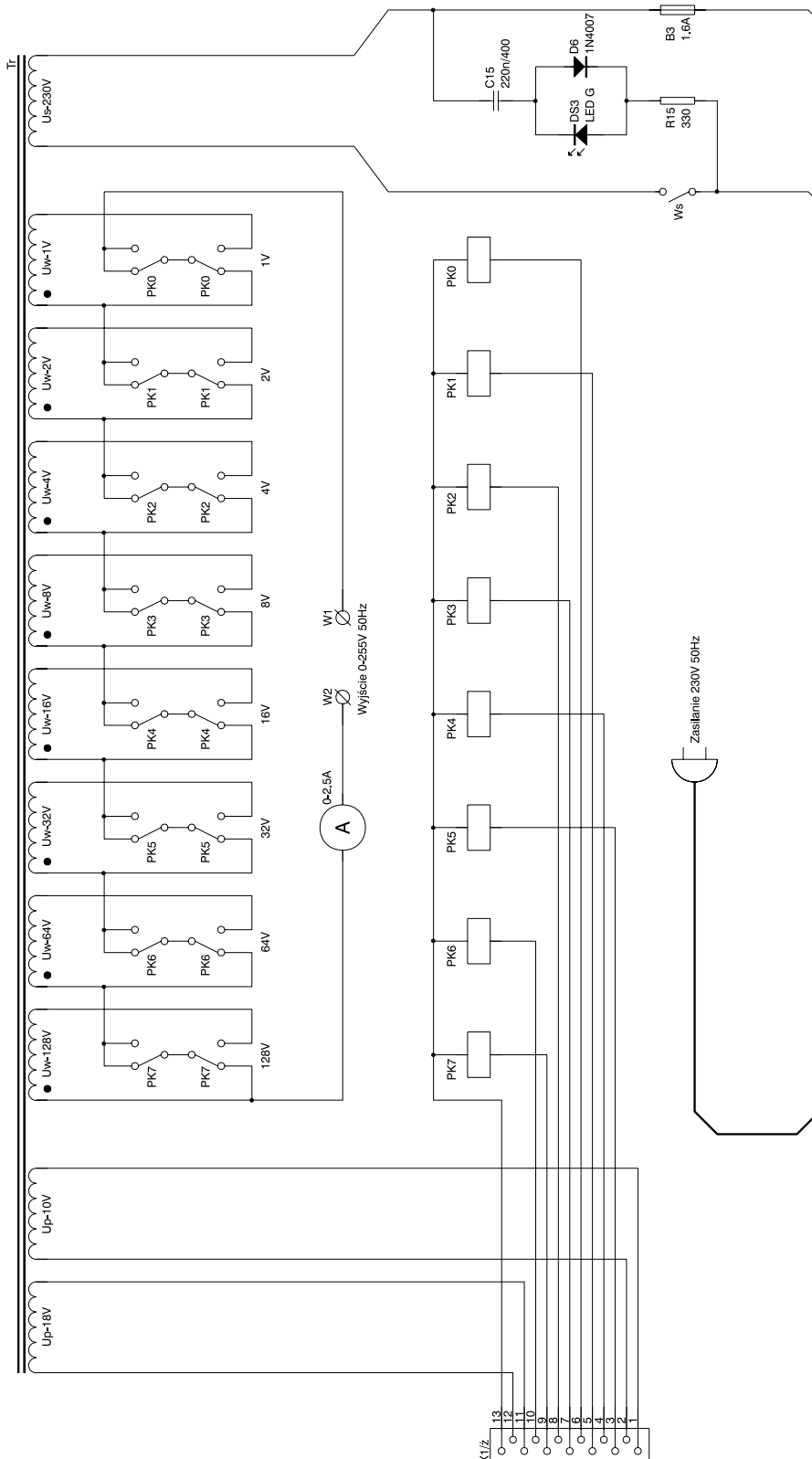
Przystępując do projektowania zasilacza, zadałem sobie zasadnicze pytanie: w jaki sposób wyeliminować olbrzymią liczbę od-

czepów na uzwojeniu wtórnym transformatora oraz jak uprościć jego układ połączeń wewnętrznych i montaż? Z pomocą przyszła technika cyfrowa. Dla potrzeb projektowanego urządzenia zaadaptowałem rozwiązania stosowane w niektórych typach kompensacyjnych przetworników analogowo-cyfrowych. Ideą tego rozwiązania przedstawiono na **rys. 1**. Jest to układ czterech źródeł napięcia oznaczonych symbolami  $U_0$  do  $U_3$ . Wartości napięć poszczególnych źródeł są kolejnymi wyrazami ciągu  $2^n$  i wynoszą 1 V, 2 V, 4 V i 8 V. Każde z tych źródeł posiada przynależny mu przełącznik (klucz), oznaczony  $S_0$  do  $S_3$ . Analizując działanie układu, nietrudno spostrzec, że napięcie na zaciskach wyjściowych tego układu zależne będzie od położenia poszczególnych kluczy. W przypadku gdy wszystkie ustawione będą w pozycji „0”, napięcie wyjściowe równe będzie 0 V. Przesłanie do pozycji „1”, np. przełącznika oznaczonego  $S_3$ , spowoduje pojawienie się na wyjściu napięcia 8 V, natomiast przełącznika oznaczonego  $S_1$ , napięcia 2 V. W sytuacji przedstawionej na rysunku, gdy w pozycji „1” znajdują się przełączniki  $S_0$  i  $S_3$ , a przełączniki  $S_1$  i  $S_2$  pozostają w pozycji „0”, napięcie wyjściowe będzie sumą napięć źródeł  $U_0$  oraz  $U_3$  i będzie miało wartość  $1\text{ V} + 8\text{ V} = 9\text{ V}$ . Dozwolona jest każda kombinacja położenia kluczy, zatem w drugim krańcowym przypadku, gdy wszystkie klucze znajdują się w pozycji „1”, napięcie wyjściowe przyjmie wartość  $1\text{ V} + 2\text{ V} + 4\text{ V} + 8\text{ V} = 15\text{ V}$ . Zakładamy naturalnie, że wszystkie napięcia źródłowe mają tę samą fazę. W dolnej części rysunku przedstawiony jest binarny zapis położenia poszczególnych przełączników reprezentowany liczbą 1001. Należy zwrócić uwagę na fakt, że liczba 1001 w zapisie binarnym to liczba 9 w zapisie dziesiętnym, a to oznacza, że przedstawiony układ

niejako bezpośrednio konwertuje binarny zapis położenia poszczególnych kluczy na wartość napięcia wyjściowego. Ten fakt miał zasadnicze znaczenie przy realizacji układu odpowiedzialnego za sterowanie kluczy przełączających oraz wizualną prezentację wartości zaprogramowanego napięcia wyjściowego. Omawiany układ może zatem realizować funkcję przełącznika wartości napięcia na jego zaciskach wyjściowych, a napięcie to zależne jest od położenia poszczególnych kluczy i może przyjmować wartości z przedziału od 0 V do 15 V z rozdzielczością 1 V. Ponadto wartość napięcia wyjściowego wyrażona jest liczbą binarną, która odzwierciedla położenie poszczególnych kluczy. W praktycznym zastosowaniu wyżej omówionego układu, źródła napięcia zastąpiłem uzwojeniami wtórnymi transformatora sieciowego, zwiększyłem ich liczbę do 8, a rolę kluczy powierzyłem przekaźnikom o stosownej wytrzymałości prądowej. Uzwojenia wtórne transformatora wykonałem tak, aby dostosować się do zasad omówionych powyżej, tzn. napięcia znamionowe uzwojeń tworzą ciąg: 1 V, 2 V, 4 V, 8 V, 16 V, 32 V, 64 V, 128 V. Tak rozbudowany układ realizuje funkcję regulacji napięcia wyjściowego zasilacza w granicach od 0 V do 255 V z założoną rozdzielczością 1 V.

### Opis konstrukcji zasilacza

Schemat elektryczny zasilacza pokazano na **rys. 2** (sekcja przełączników) i **rys. 3** (sekcja sterownika). Zasadniczym elementem zasilacza jest transformator sieciowy i od jego wykonania rozpoczynamy budowę urządzenia. Gruntowna znajomość transformatorów jest stosunkowo rzadkim zjawiskiem, nawet wśród doświadczonych konstruktorów. Jest nieomal regułą, że zarówno początkujący hobbysta, jak i wieloletni praktyk posługujący się uproszczonymi wzorami matematycznymi pozwalającymi dobrać dane nawojowe potrzebnego transformatora. Przytoczę zatem te wzory dla mniej doświadczonych Czytelników. Transformator  $Tr$  naszego zasilacza powinien posiadać uzwojenie sieciowe, inaczej zwane pierwotnym, które dostosowane jest do napięcia elektroenergetycz-



Rys. 2. Schemat elektryczny zasilacza (sekcja przełączników)

nej sieci zasilającej, standardowo 230V/50Hz. Ponadto powinien posiadać 8 odrębnych, izolowanych od siebie uzwojeń wtórnych o napięciach znamionowych 1 V, 2 V, 4 V, 8 V, 16 V, 32 V, 64 V, 128 V. Obciążalność prądowa poszczególnych uzwojeń wtórnych może być

różna, trzeba jednak pamiętać, aby iloczyn napięcia i prądu obciążenia tych uzwojeń nie przekroczył mocy znamionowej transformatora. Dodatkowo transformator powinien posiadać dwa pomocnicze uzwojenia wtórne, o napięciach: 10 V oraz 18 V o stosunkowo niewiel-

kiej obciążalności prądowej przeznaczone do zasilania obwodów pomocniczych.

Gotowego transformatora, spełniającego powyższe wymagania, z całą pewnością nie kupimy. Pozostaje zatem wykonanie go samodzielnie. Może się zdarzyć, że w swych zapasach będziemy mieli transformator z rdzeniem o odpowiednim przekroju i nawiniętymi już uzwojeniami. Wprawdzie istniejące uzwojenia wtórne będą dla nas bezużyteczne, ale możemy przecież wykorzystać gotowe i na pewno dobrze nawinięte uzwojenie sieciowe przystosowane do napięcia 230 V. Należy podkreślić, że przezwójowanie transformatora jest łatwiejsze oraz mniej pracochłonne od wykonania go niejako od nowa.

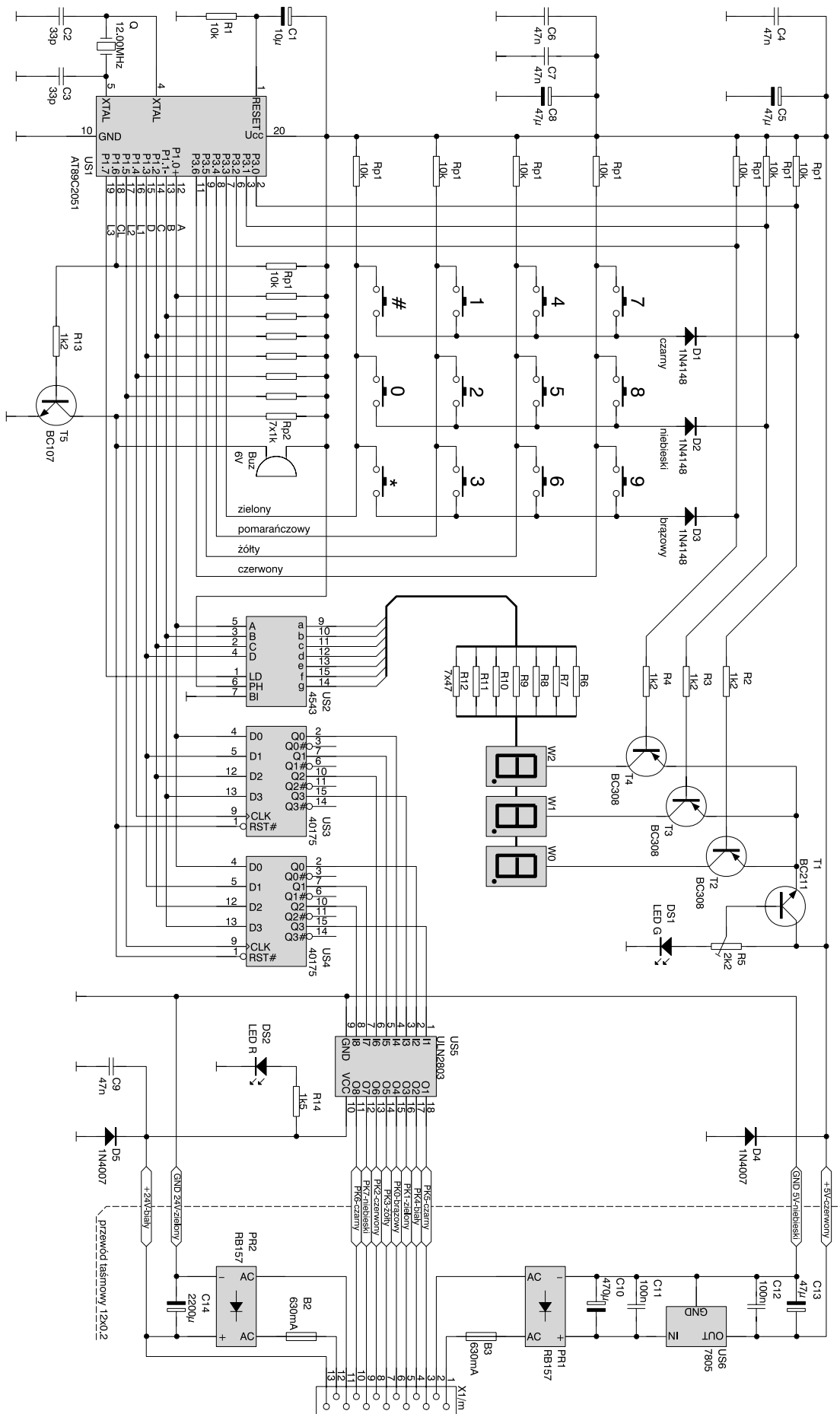
Co należy zrobić w takiej sytuacji? W pierwszej kolejności, dla posiadanego transformatora, należy wyznaczyć parametr, który określa liczbę zwojów przypadających na 1 V napięcia (w skrócie  $l_z/1V$ ). Wykorzystamy go w obliczeniach dla nowych uzwojeń. Możemy to zrobić na dwa sposoby. Metoda pierwsza to prowizoryczne nawinięcie, na nierozzebranym jeszcze transformatorze, uzwojenia kontrolnego, np. 10 zwojów. Następnie do uzwojenia sieciowego podłączamy napięcie 230 V i wykonujemy dokładny pomiar napięcia zaindukowanego na uzwojeniu kontrolnym. Z poniższej zależności obliczymy wartość interesującego nas parametru:

[1.1]

$$\frac{\text{liczba zwojów}}{\text{zmierzone napięcie 1 V}} = l_z$$

Ale tu uwaga! W czasie wykonywania tych czynności zachowajmy szczególną ostrożność. Trzeba zawsze pamiętać, że praca w pobliżu napięcia sieci elektroenergetycznej 230 V jest niebezpieczna dla zdrowia i życia człowieka.

Drugim sposobem liczbę zwojów przypadających na 1V możemy określić w trakcie usuwania zbędnych uzwojeń. Odwijając jedno z nich, najlepiej o małej liczbie zwojów, trzeba dokładnie policzyć ich liczbę. Następnie, wiedząc na jakie napięcie to uzwojenie było wykonane, należy obliczyć interesujący nas parametr ze wzoru:



Rys. 2. Schemat elektryczny zasilacza (sekcja sterownika)

[1.2]

$$\frac{\text{liczba zwojów}}{\text{napięcie uzwojenia}} = \frac{I_z}{1 \text{ V}}$$

Po ustaleniu parametru  $I_z/1V$ , należy odwinąć wszystkie niepotrzebne uzwojenia, pozostawiając tylko sieciowe. Czynność tę należy wykonać bardzo starannie, aby nie uszkodzić izolacji pokrywającej to uzwojenie.

Jak wspomniałem, w mojej konstrukcji wykorzystałem posiadany transformator typu TS180/5 o mocy 180 VA. Celowo wybrałem rdzeń o większej mocy, aby tą drogą zyskać więcej przestrzeni na pomieszczenie w karkasie dosyć dużej liczby uzwojeń wtórnych. Liczbę zwojów przypadających na 1 V napięcia wyznaczyłem metodą uzwojenia kontrolnego i dla tego typu transformatora wynosi ona 3,44 zw/1 V. Dopuszczalną obciążalność prądową zasilacza, z uwagi na moc zastosowanego transformatora, zróżnicowałem w zależności od napięcia wyjściowego:

- W zakresie napięć od 1 V do 63 V przyjąłem obciążenie prądem do 2 A. Wartość maksymalnej pobieranej mocy (dla maksymalnego napięcia wyjściowego i maksymalnego prądu) sprawdzamy według zależności przedstawionej poniżej. W tym przedziale napięć wyjściowych zasilacz wykorzystuje uzwojenia o napięciu 1 V, 2 V, 4 V, 8 V, 16 V oraz 32 V, zatem średnicę drutu nawojowego tych uzwojeń dobrałem do założonego obciążenia prądem 2 A.

[1.3]

$$2 \text{ A} \cdot 63 \text{ V} = 126 \text{ VA} < 180 \text{ VA}$$

- W przedziale napięć wyjściowych od 64 V do 127 V obciążalność jest mniejsza i wynosi 1 A. Maksymalny pobór mocy wyznaczamy z poniższego wzoru. Tutaj zasilacz wykorzystuje uzwojenia sprawdzone powyżej oraz uzwojenie o napięciu znamionowym 64 V, tak więc średnicę drutu nawojowego dla tego uzwojenia dostosowałem do prądu 1 A.

[1.4]

$$1 \text{ A} \cdot 127 \text{ V} = 127 \text{ VA} < 180 \text{ VA}$$

- Dla napięć wyjściowych od 128 V do 255 V przyjęta obciążalność prądowa wynosi 0,5 A, a maksymalna pobiera-

na moc wynika z zależności przedstawionej poniżej. Podobnie jak poprzednio i tutaj zasilacz wykorzystuje uzwojenia obliczone powyżej oraz uzwojenie o napięciu znamionowym 128 V, zatem średnicę drutu nawojowego tego uzwojenia dostosowałem do prądu 0,5 A.

[1.5]

$$0,5 \text{ A} \cdot 255 \text{ V} = 127,5 \text{ VA} < 180 \text{ VA}$$

Liczbę zwojów poszczególnych uzwojeń wtórnych wyznaczyłem, korzystając ze wzoru:

[1.6]

$Z_w = U_{zn} \cdot \text{liczba zwojów}/1V$   
natomiast średnicę drutu nawojowego opisuje zależność:

[1.7]

$$d [\text{mm}] = 0,7 \cdot \sqrt{I[\text{A}]}$$

W **tab. 1** zebrano wszystkie wyniki dokonanych obliczeń. Zastosowany w moim zasilaczu transformator posiada rdzeń zestawiony z blach w kształcie litery L. Cechą charakterystyczną rdzenia tego typu jest to, że posiada dwa karkasy, na których nawinięte są jego uzwojenia. Teoria mówi, że każde uzwojenie takiego transformatora powinno być symetrycznie rozdzielone na oba karkasy (po połowie na każdy z nich). Dla nowych uzwojeń wtórnych odstępiałem od tej zasady i rozmieściłem uzwojenia tak, aby wypełnić równomiernie dostępną przestrzeń w karkasie. Podczas nawijania nowych uzwojeń nie można dopuścić do uszkodzenia izolacji drutu. Zwój powinien być ułożony równo obok siebie, nie mogą pozostać luzne. Gorąco polecam oznaczenie końcówek wykonywanych uzwojeń. Założone kolorowe koszulki izolacyjne z pewnością ułatwią ich późniejsze rozpoznanie. Po nawinięciu nowych uzwojeń, a przed nałożeniem ich na rdzeń, należy koniecznie sprawdzić izolację pomiędzy poszczególnymi uzwojeniami. Zakończeniem tego etapu powinno być staranne złożenie rdzenia i sprawdzenie wyników dokonywanego przezwojenia transformatora.

Jako przełączniki (klucze) przełączające poszczególne uzwojenia transformatora Tr zastosowałem popularne, ogólnie dostępne i sprawdzone w praktyce przełączniki typu R15. Wybrałem typ w wykonaniu bez obudowy z potrójnym układem styków przełączających i cewkami

sterującymi przystosowanymi do napięcia 24 VDC. Gorąco go polecam z uwagi na szereg zalet, jakimi się charakteryzuje. Ma prostą konstrukcję, odpowiednią dla naszych celów obciążalność prądową zestyków i stosunkowo duże przerwy izolacyjne pomiędzy nimi. Ta ostatnia cecha ma duże znaczenie, gdyż w ekstremalnych przypadkach napięcie pomiędzy zestykami może osiągać wartość 255 VAC. Uważnego Czytelnika może zastanowić pokazana na rys. 2 konfiguracja połączeń uzwojeń transformatora Tr z przełącznikami przełączającymi Pk0...Pk7, w której wykorzystane są dwa zespoły zestyków każdego z nich. Wybrałem ten układ nieprzypadkowo. W chwili zmiany położenia styków przełącznika generuje on dwie przerwy izolacyjne pomiędzy stykami, a to wydatnie poprawia warunki gaszenia łuku elektrycznego, który pojawia się w tym momencie. Dodatkowo eliminuje konieczność stosowania elastycznych połączeń dla styków ruchomych przełącznika. Wystarczy „na sztywno” połączyć dwa sąsiadujące ze sobą wyprowadzenia styków ruchomych, a pozostałe przewody będą wymagały podłączenia wyłącznie do jego styków stałych. Znacząco upraszcza to montaż urządzenia. W trakcie prac nad tą częścią zasilacza należy zwrócić uwagę na sposób podłączenia każdego z uzwojeń wtórnych transformatora Tr z przynależnym przełącznikiem. Istotny jest kierunek nawinięcia uzwojenia, a zatem jego połączenie z przełącznikiem nie może być przypadkowe. Generalną wskazówką jest informacja, że w trakcie załączania kolejnych przełączników Pk0...Pk7 napięcia z tych uzwojeń powinny się sumować. Z całą pewnością pomocne będą tu oznaczenia ich początku i końca, o których wspominałem wcześniej. Pozostała aparatura tej części naszego zasilacza nie wymaga komentarza.

Centralnym elementem sterownika zasilacza jest zaprogramowany mikrokontroler US1 typu AT89C2051. Zastosowanie mikrokontrolera wynika ze złożonych funkcji, jakie pełni sterownik. Na bieżąco odczytuje on i przetwarza parametry nastaw zasilacza wprowadzane przez użytkownika z klawiatury, zajmuje się obsługą 3-dekadowego, 7-segmentowego

Tab. 1. Zestawienie wyników wykonanych obliczeń

Oznaczenie uzwojenia	Napięcie znamionowe	Prąd znamionowy	Liczba zwojów	Średnica drutu
$U_{w1}$	1 V	2 A	4	1,00 mm
$U_{w2}$	2 V	2 A	7	1,00 mm
$U_{w3}$	4 V	2 A	14	1,00 mm
$U_{w4}$	8 V	2 A	27	1,00 mm
$U_{w5}$	16 V	2 A	55	1,00 mm
$U_{w6}$	32 V	2 A	110	1,00 mm
$U_{w7}$	64 V	1 A	220	0,75 mm
$U_{w8}$	128 V	0,5 A	440	0,50 mm
$U_{p1}$	10 V	0,2 A	34	0,30 mm
$U_{p2}$	18 V	0,5 A	62	0,50 mm
$U_s$	230 V	Uzwojenie fabryczne		

wyświetlacza LED, na którym eksponuje aktualne położenie przełącznika oraz steruje jego przełącznikami wykonawczymi.

Za zerowanie procesora w chwili włączenia zasilania układ odpowiadają elementy C1 i R1. Sygnał zegarowy potrzebny do jego pracy generuje wewnętrzny oscylator mikrokontrolera, a jego częstotliwość 12,000 MHz ustalają elementy Q, C2, C3. Linie portu P3 przeznaczone są do czytania stanu przycisków matrycowej klawiatury sterującej i aktywowania anod wskaźników LED podczas ich sekwencyjnego wyświetlania. Trzy młodsze bity tego portu pracują jako wyjścia, a pozostałe jako wejścia. Port P1 jest wyjściem danych dla dekodera BCD/7segm (US2), który steruje wskaźnikiem LED oraz dla rejestrów US3 i US4. Rejestry te pełnią rolę bufora, w którym procesor zapisuje 4 młodsze i 4 starsze bity 1-bajtowej liczby określającej aktualne położenie „przełącznika zaczepów”. Odpowiednie dane procesor wystawia na cztery młodsze bity portu P1, a następnie generuje sygnał zapisu tych danych; na linii P1.4 dla rejestru US3, na linii P1.5 dla rejestru US4 oraz na linii P1.7 dla dekodera US2. Linia P1.6 wykorzystywana jest do zerowania rejestrów US3 i US4 podczas startu układu, do zerowania tych rejestrów w procesie załączenia lub wyłączenia napięcia z zacisków wyjściowych zasilacza, jak również uruchamia „buzzer” informujący użytkownika o pewnych stanach zasilacza. Zastosowanie takiego rozwiązania podyktowane zostało

ograniczoną liczbą portów „małego” procesora. Za wyjątkiem linii P1.7 portu P1, wszystkie pozostałe linie są podciągnięte do plusa zasilania za pomocą rezystorów Rp1 i Rp2. Układ scalony US5 jest wzmacniaczem prądowym, umożliwiającym bezpośrednie sterowanie cewkami przełączników „przełącznika zaczepów” ustalającego napięcie wyjściowe zasilacza. Zawiera on w swej strukturze osiem wzmacniaczy o maksymalnym prądzie wyjściowym 500 mA. Struktura zawiera również diody zabezpieczające wyjścia wzmacniaczy przed przepięciami, co umożliwia bezpośrednie sterowanie elementami indukcyjnymi, w tym przypadku cewkami przełączników. Elementy C4, C5, C6, C7, C8, C9 zapewniają blokowanie ścieżek zasilania systemu, a tranzystor T1 z potencjometrem montażowym R5 pozwala na dostosowanie intensywności świecenia wskaźnika LED do indywidualnych upodobań użytkownika. Napięcia zasilającego 5 VDC dostarcza prostownik Pr1 z elementami C10, C11, C12, C13 i stabilizatorem scalonym US6. Napięcie 24 VDC wykorzystywane do zasilania cewek przełączników Pk0...Pk7 pobierane jest z prostownika Pr2. Oba układy prostownicze zasilane są z uzwojeń pomocniczych transformatora Tr.

Program sterujący pracą mikrokontrolera, należącego do popularnej rodziny '51, napisany został w języku asemblera i zajmuje około 1,4 kB pamięci (publikujemy go na CD-EP10/2004B). W tym miejscu chciałbym wyrazić podziękowanie mojemu przyjacielowi Mi-

chałowi, autorowi programu, który znalazł czas i zajął się tą częścią projektu. Pomijając szczegóły programu sterującego mikrokontrolera, działanie sterownika jest następujące: po załączeniu napięcia zasilającego, procesor US1 zerowany jest za pomocą obwodu różniczkującego zestawionego z kondensatora C1 i rezystora R1. Równocześnie zerowane są rejestry US3 i US4 poprzez wymuszenie na ich wejściach RST poziomu niskiego oraz „zgłasza” się buzzer, informując akustycznie o załączeniu zasilacza pod napięcie. Za te operacje odpowiada tranzystor T5, a dzieje się tak dlatego, ponieważ w wyniku zerowania procesora wszystkie linie jego portów ustawione zostają w stan wysoki. Ta faza pracy sterownika trwa około 1 s, a procesor wykonuje kolejno czynności:

- ustawia wewnętrzne rejestry i komórki pamięci danych potrzebne do pracy programu,
- linie P3.0, P3.1, P3.2 portu P3 ustawia jako wyjścia, a linie P3.3, P3.4, P3.5, P3.7 jako wejścia,
- wchodzi w pętlę czasową, która trwa około 1s, po czym linie portu P1 ustawia jako wyjścia i wystawia na nich poziom niski,
- przechodzi do głównej pętli programu.

Po tej sekwencji milnie sygnał akustyczny, wyświetlacz wskazuje cyfrę 0, która jest aktualną pozycją „przełącznika zaczepów” zasilacza, a procesor, oczekując na reakcję użytkownika tzn. użycie klawiatury sterującej, cyklicznie czyta stan jej przycisków i zajmuje się obsługą wskaźnika LED.

W tym trybie pracy sterownika możliwa jest zmiana wartości napięcia wyjściowego zasilacza z krokiem 1 V oraz załączenie lub wyłączenie tego napięcia z zacisków wyjściowych. Przeznaczone są do tego klawisze klawiatury sterującej oznaczone [ # ], [ 0 ], [ - ], a ich działanie jest następujące:

- efektem naciśnięcia i zwolnienia klawisza [ # ] jest zwiększenie o 1 aktualnej pozycji „przełącznika zaczepów”, a tym samym napięcia wyjściowego zasilacza o 1 V, dłuższe przytrzymanie tego klawisza uruchamia mechanizm autorepeccji i procesor samoczynnie inkrementuje bieżącą pozycję

**WYKAZ ELEMENTÓW:****Rezystory:**

R1: 10k $\Omega$   
 R2, R3, R4, R13: 1,2k $\Omega$   
 R5: 2,2k $\Omega$   
 R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12: 47 $\Omega$   
 R14: 1,5k $\Omega$   
 R15: 33 $\Omega$   
 Rp1 (drabinka rezystorowa 8x): 1k $\Omega$   
 Rp2 (drabinka rezystorowa x): 10k $\Omega$

**Kondensatory:**

C1: 10 $\mu$ F  
 C2, C3: 33pF  
 C4, C6, C7, C9: 47nF  
 C5, C8, C13: 47 $\mu$ F  
 C10: 470 $\mu$ F/16V  
 C11, C12: 100nF  
 C14: 2200 $\mu$ F/25V  
 C15: 220nF/400V

**Półprzewodniki:**

US1: AT89C2051 (zaprogramowany mikrokontroler)  
 US2: 4543  
 US3, US4: 40175  
 US5: ULN 2803  
 US6: 7805  
 T1: BC211  
 T2, T3, T4: BC308  
 T5: BC107  
 D1, D2, D3: 1N4148  
 D4, D5, D6: 1N4007  
 Pr1, Pr2 (prostownik): RBI157  
 Ds1: LED-g (LED zielona)  
 Ds2: LED-r (LED czerwona):  
 Ds3: LED-g (LED zielona):  
 W1-W3: E10562 (wyświetlacz 7-segmentowy):

**Inne:**

Tr: Transformator wg opisu  
 Pk0-Pk7: Przekładnik R15 24V DC  
 Ws: Wyłącznik zasilania  
 B1, B2: Bezpiecznik radiowy 630mA  
 B3: Bezpiecznik radiowy 1,6A  
 W1, W2: Zacisk laboratoryjny  
 A: Amperomierz elektrodynamiczny 0-2,5A  
 Key: Klawiatura 12-tylkowa  
 Q: 12.000 MHz  
 Buz: Buzzer z generatorem 6V  
 X1m, X1z: Złącze CANON 13-tylkowe

na, z tym że bieżąca pozycja przełącznika, a tym samym napięcia wyjściowego zasilacza jest zmniejszana o 1 V, tutaj pozycją końcową, w której następuje blokowanie procesu dekrementacji, jest stan 0,

- klawisz [ 0 ] pełni funkcję wyłącznika napięcia na zaciskach wyjściowych zasilacza; w reakcji na jego użycie procesor zeruje rejestry US2 i US3, czego efektem jest wyłączenie przekaźników Pk0...Pk7, stan ten jest sygnalizowany wskaźnikiem LED, który eksponuje aktualną pozycję „przełącznika zaczepów”, pulsując w „wolnych” odstępach czasowych (około 500 ms), ponowne użycie tego klawisza przywraca poprzedni stan.

Sterownik umożliwia również zaprogramowanie dowolnej wartości napięcia wyjściowego, oczywiście ograniczonego zakresem, jaki pokrywa nasz zasilacz. Proces ten inicjuje naciśnięcie jednego z klawiszy [ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ] klawiatury sterującej, a zachowanie sterownika jest następujące:

- zerowane są rejestry US2 i US3, co powoduje wyłączenie napięcia na wyjściu zasilacza,
- wskaźnik LED przechodzi w tryb pulsowania „szybkiego” (co około 200 ms) i eksponuje numer użytego klawisza, który jest pierwszą cyfrą programowanej wartości napięcia wyjściowego, zgłasza się również buzzer, informując akustycznie użytkownika, że sterownik jest w trybie programowania napięcia wyjściowego,

- ewentualne kolejne naciśnięcia klawiszy wprowadzają drugą i trzecią cyfrę programowanej wartości napięcia,
- działają mechanizmy blokujące wprowadzenie liczby spoza zakresu 0...255,
- błędnie wprowadzoną wartość można wykasować klawiszem [ - ],
- zakończenie procesu programowania umożliwia klawisz [ # ].

Użycie klawisza [ # ] niejako akceptuje wprowadzoną wartość, miłknie sygnał akustyczny, wskaźnik LED przechodzi w tryb pulsowania „wolnego”, informując o wyłączeniu napięcia z zacisków wyjściowych zasilacza. Teraz wystarczy nacisnąć klawisz [ 0 ], aby załączyć zaprogramowaną wartość napięcia na zaciski wyjściowe zasilacza i powrócić do trybu, w którym sterownik realizuje funkcję zmiany napięcia wyjściowego z krokiem 1 V.

**Uwagi końcowe**

Na zakończenie kilka uwag, o których warto pamiętać podczas użytkowania zasilacza:

- napięcie wyjściowe może osiągać wartości niebezpieczne dla zdrowia i życia człowieka,
- pozycja „przełącznika zaczepów” prezentowana wskaźnikiem LED nie odzwierciedla rzeczywistej wartości napięcia wyjściowego zasilacza, a jest tylko jej przybliżoną wartością,
- napięcie na zaciskach wyjściowych nie posiada zabezpieczenia przed skutkami zwarcia.

**Edward Ogórek**

- o 1, stan 255 jest pozycją końcową, w której następuje blokowanie procesu inkrementacji, wskaźnik LED wyświetla bieżącą pozycję przełącznika,
- reakcja sterownika na użycie klawisza [ - ] jest podob-