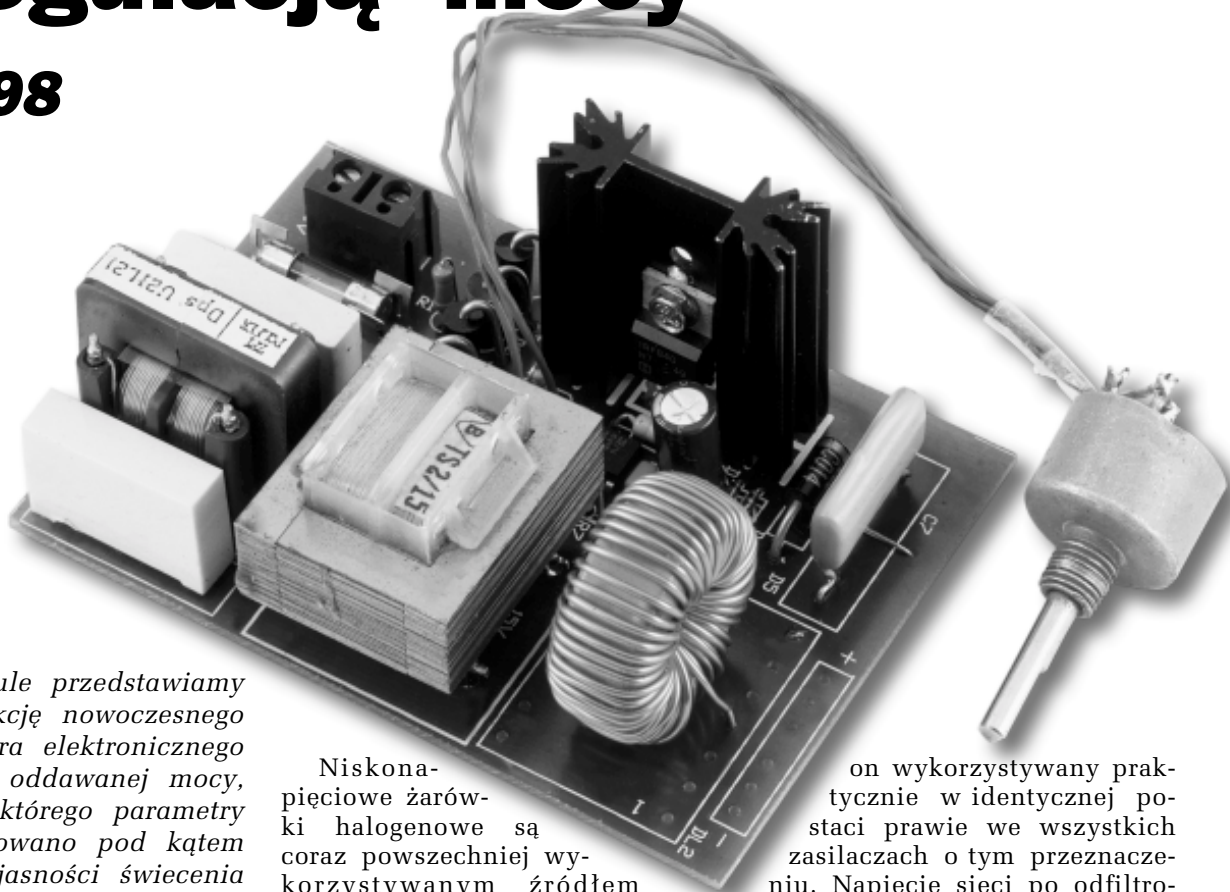


# Transformator elektroniczny z regulacją mocy

## AVT-898



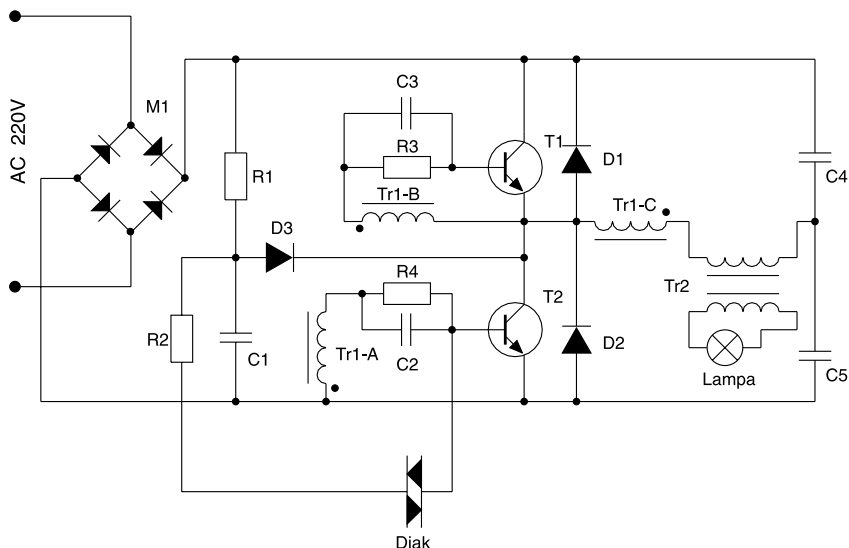
*W artykule przedstawiamy konstrukcję nowoczesnego transformatora elektronicznego z regulacją oddawanej mocy, którego parametry zoptymalizowano pod kątem regulacji jasności świecenia żarówek halogenowych.*

Niskonapięciowe żarówki halogenowe są coraz powszechniej wykorzystywanym źródłem światła. Do ich zasilania początkowo wykorzystywano klasyczne transformatory sieciowe, a obecnie przede wszystkim zasilacze impulsowe. Klasyczny impulsowy zasilacz do żarówki halogenowej, zwany popularnie "transformatorem elektronicznym", jest układem genialnie prostym, choć nie wolnym od ograniczeń. Jednym z nich jest brak możliwości regulacji jasności świecenia żarówki.

### Dlaczego nie da się regulować jasności?

Uproszczony schemat elektryczny typowego zasilacza żarówek halogenowych (bez układów zabezpieczeń i filtra przeciwzakłócenieniowego) przedstawiony jest na rys. 1. Niezwykła prostota struktury układu sprawia, iż jest

on wykorzystywany praktycznie w identycznej postaci prawie we wszystkich zasilaczach o tym przeznaczeniu. Napięcie sieci po odfiltrowaniu przez klasyczny układ filtra przeciwzakłócenieniowego jest prostowane w mostku M1. Zasilane ono (bez odfiltrowania) układ samowzbudnego falownika półmostkowego, który tworzą bipolarne tranzystory T1 i T2 sterowane za pomocą transformatora TR1 po stronie aktywnej oraz kondensatory C4 i C5 po stronie pasywnej. Na wyjściu układu mostkowego włączony został transformator impulsowy obniżający wyjściowe napięcie mostka do wartości nominalnej dla żarówki. Dodatkowo sprzężenie zwrotne zapewniające oscylacje jest realizowane za pomocą włączonego szeregowo z wyjściem mostka uzwojenia pierwotnego sterującego transformatora Tr1. Układ jest zasilany wyprostowanym i nieodfiltrowanym napięciem sieci,



Rys. 1. Klasyczny transformator elektroniczny.

przede wszystkim dla zachowania dużej wartości współczynnika mocy. Częstotliwość pracy jest rzędu 30..40kHz.

Po włączeniu zasilania układ niestety nie wzbudza się automatycznie i drgania oscylatora muszą zostać zainicjowane w sposób wymuszony. Układ startowy składa się z dwójnika R1, C1 oraz diaka. W miarę jak rośnie napięcie zasilające falownik, rośnie też napięcie na pojemności C1. W chwili, gdy osiągnie ono próg przełączania diaka, kondensator C1 rozładowuje się poprzez złącze B-E tranzystora T2 zakłócając na chwilę symetrię mostka i rozpoczynając generację drgań. Po starcie falownika dioda D2 nie pozwala na naładowanie pojemności C1, co skutecznie blokuje układ startowy.

Należy zauważyć, iż proces uruchamiania powtarza się w każdym półokresie napięcia sieci, a więc 100 razy na sekundę. Ponieważ falownik jest zasilany napięciem nieodfiltrowanym, co 10ms jego chwilowe napięcie zasilania osiąga wartość zero, co powoduje zerwanie drgań i konieczność ponownego startowania. Napięcie progowe diaka (w 95% konstrukcji jest to DB3 STMicroelectronics) wynosi 32V. Uwzględniając opóźnienie wnoszone przez obwód R1 i C1, próg napięcia zasilania, przy którym układ uruchamia się wynosi około 40V.

Teraz jest oczywiste, że to właśnie prostota tej konstrukcji

nie pozwala na poprawną i wygodną regulację jasności świecenia żarówki, gdyż próby manipulacji stałą czasu obwodu startowego R1, C1 pogarszają współczynnik mocy zasilacza i nigdy nie doprowadzą do regulacji w wystarczająco szerokim zakresie, a rozwiązanie polegające np. na wykonaniu odczepów na uzwojeniu pierwotnym Tr2 trudno obecnie uznać za eleganckie i wygodne.

### Jak zatem wykonać regulację?

Regulację jasności świecenia żarówki można przeprowadzić za pomocą układu o schemacie przedstawionym na rys. 2. Nietrudno zauważyć, iż jest to nieco zmodyfikowany układ stabilizatora obniżającego napięcie (ang. buck regulator), sterowany za pomocą popularnego układu modulatora szerokości impulsów. Modyfikacja układu polega na znacz-

nym obniżeniu wartości pojemności C7, dla zachowania dużej wartości współczynnika mocy układu, regulator w działaniu powinien bowiem przypominać autotransformator.

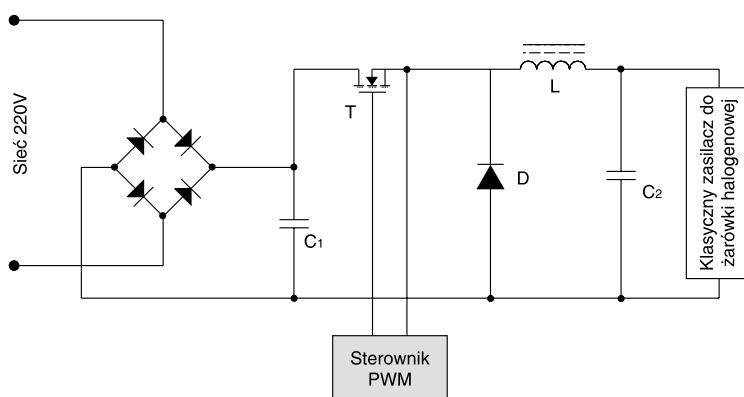
### Opis działania regulatora

W zamyśle autora regulator powinien być urządzeniem autonomicznym, to znaczy takim, do którego można dołączyć jeden lub kilka fabrycznych zasilaczy impulsowych o stałym napięciu wyjściowym. Zadaniem tego układu byłaby płynna regulacja napięcia wyjściowego zasilacza, w szerokich granicach i bez pogarszania współczynnika mocy. Można oczywiście wbudować regulator do wnętrza zasilacza impulsowego. Czytelnik, który zdecyduje się na takie rozwiązanie będzie musiał jedynie uporać się z problemem zasilania układu regulatora.

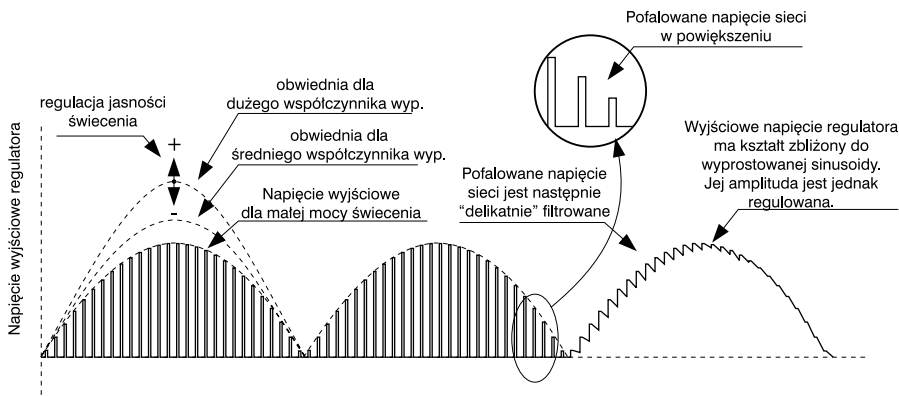
Praca autonomiczna regulatora wymaga zdublowania na wejściu układu filtra przeciwzakłóceniewego oraz prostownika. Na szczęście fakt, iż elementy te istnieją już w gotowych transformatorach nie ma wpływu na pracę regulatora.

Jak wspominałem, układ jest zasilany wyprostowanym i nieodfiltrowanym napięciem sieci, a na jego wyjściu występuje napięcie o takim samym kształcie, ale o mniejszej i regulowanej amplitudzie.

Regulator jest układem pośrednim między zasilaczem obniżającym napięcie a układem źródła prądowego zasilającego falownik półmostkowy. Układ źródła prądowego w tym zastosowaniu, a więc przy układzie samowzbu-



Rys. 2. Regulator mocy w transformatorze elektronicznym.



Rys. 3. Zasada działania układu regulatora mocy.

nym falownika półmostkowego, stosowanym w zasilaczu żarówkowym, byłby kłopotliwy w wykonaniu, dlatego taka koncepcja regulatora wydaje się autorowi optymalna.

Napięcie wyjściowe z mostka D1..D4 jest „siekanie” z częstotliwością około 40kHz na szereg impulsów o amplitudzie równej chwilowej wartości napięcia sieci i współczynnika wypełnienia regulowanym płynnie za pomocą potencjometru w zakresie od około 25% do blisko 97% (rys. 3). Tak ukształtowane impulsy podawane są na wyjściowy filtr dolnoprzepustowy LC (DL2, C7 - rys. 4), który usuwa składowe wysokoczęstotliwościowe z sygnału wyjściowego. Charakterystyczną cechą układu, odróżniającą go od typowego regulatora obniżającego, jest mała wartość pojemności C7. Nie może ona być duża, gdyż wtedy napięcie wyjściowe zostałoby odfiltrowane i wypadkowy współczynnik mocy układu uległby znacznemu pogorszeniu. Z kolei za mała wartość tej pojemności powodowałaby złe odfiltrowanie wysokoczęstotliwościowych składowych sygnału wyjściowego.

Sterowanie jasnością odbywa się poprzez zmianę współczynnika wypełnienia impulsu sterującego tranzystorem kluczującym T1. Do sterowania tranzystora można wykorzystać jeden z wielu dostępnych na rynków scalonych sterowników PWM. Ważne jest jedynie, aby charakteryzował się on dużą wartością maksymalnego współczynnika wypełnienia impulsu, co jest

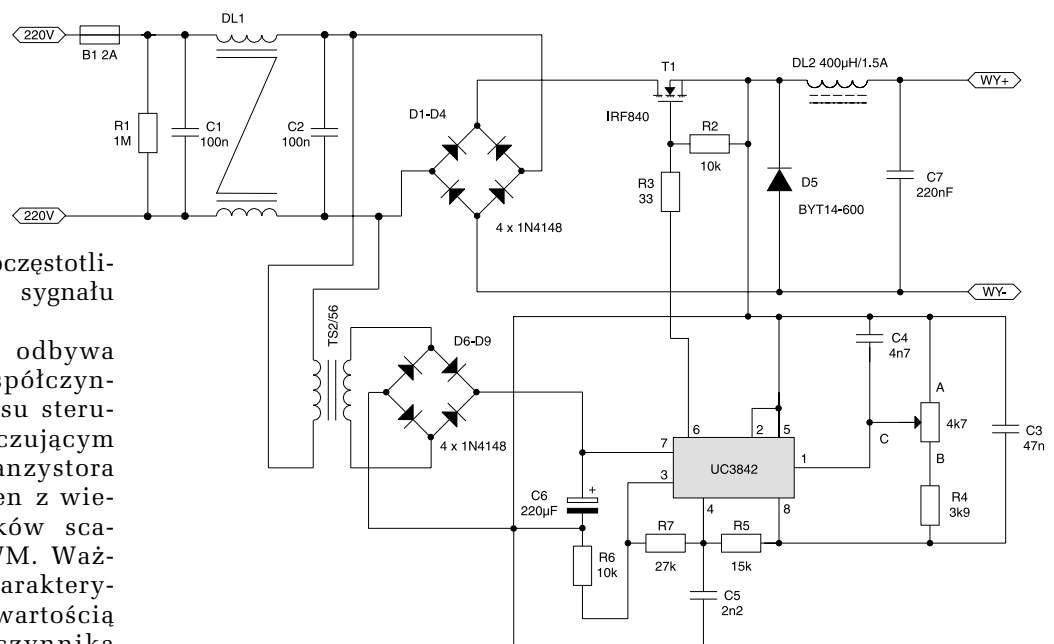
istotne z uwagi na możliwość uzyskania maksymalnej jasności świecenia żarówki. W układzie modelowym zastosowany został tani i popularny sterownik UC3842, w którym dokonano przełączenia trybu pracy na napięciowy za pomocą dzielnika R7, R6 (chip ten nie jest „typowym” układem PWM). Zaletą wybranego sterownika jest wysoka wydajność prądowa zawartego w strukturze drivera (rzędu 1A), co pozwala na użycie w charakterze klucza praktycznie większości popularnych MOSFET-ów mocy na napięcie 500V. Elementy R5 i C5 ustalają częstotliwość pracy układu, a R4 ogranicza dolny zakres regulacji współczynnika wypełnienia.

Do pracy kontrolera PWM potrzebne jest zasilanie. W opisywanym układzie dodany został

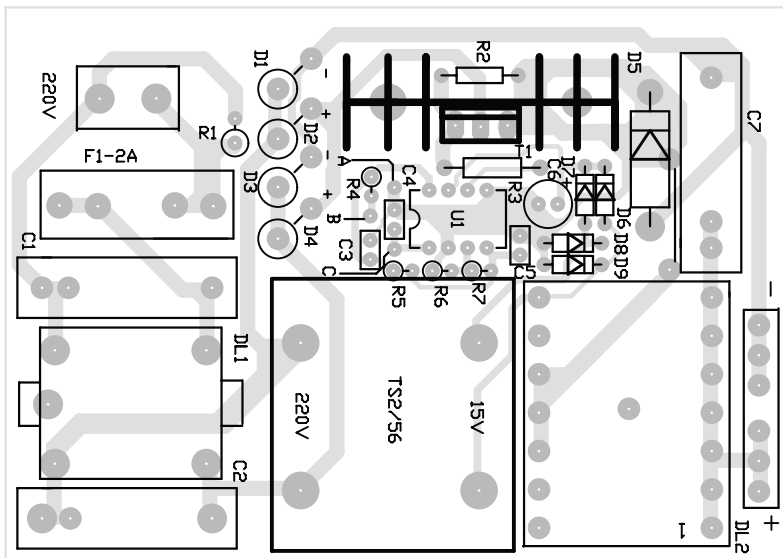
popularny dwuwatowy transformator sieciowy, co jest z pewnością rozwiązaniem prostym, ale może nie najelegantszym. Z zasilaniem, szczególnie w przypadku urządzenia autonomicznego, jest pewien kłopot, gdyż niestety nie można zrealizować go dokładając do dławika DL2 dodatkowe uzwojenie. Przy współczynniku wypełnienia impulsu bardzo bliskim jedności (jasność maksymalna) nie będzie ono w stanie dostarczyć dostatecznej energii kontrolerowi.

### Montaż i uruchomienie

Układ regulatora jest prosty, montaż typowy i z pewnością nie sprawi kłopotów. Schemat montażowy płytki drukowanej jest widoczny na rys. 5. Jedynym problemem jest, jak zwykle, dławik. Jeśli uda się go kupić (nawet o zbliżonej wartości indukcyjności) można użyć go w układzie regulatora. Jeśli nie - dławik trzeba wykonać samodzielnie. Do wykonania dławika potrzebny będzie rdzeń typu ETD34 z materiału 3C8 lub 3F3 ze szczeliną powietrzną 0,5mm (Al=260), drut nawojowy o średnicy 1mm i nieco folii poliestrowej do izolowania nawiniętych warstw. Ponieważ dławik ma jedno uzwojenie (40 zwojów), nie ma problemu z początkami i końcami, a końce drutu wystarczy przylutować do karkasu zgodnie z rys. 6. Istotne jest, aby



Rys. 4. Schemat elektryczny regulatora.



Rys. 5. Rozmieszczenie elementów na płycie drukowanej.

uzwojenie nawijać starannie, zwój przy zwoju, izolując starannie każdą warstwę folią. Dobre rezultaty dają też lakierowanie każdej z warstw lakierem uretanowym w aerozolu (oczywiście plus do tego folia!). Niestaranność pracy może objawić się przebiciami międzywarstwowymi, co z pewnością nie wniesie nic dobrego do pracy układu.

Po nawinięciu należy przewizorycznie włożyć do karkasu połówki rdzenia i skontrolować indukcyjność. Gdy zmierzona wartość będzie się zawierała pomiędzy 350 a 500 mikrohenrów, nawijanie można uznać za zakończone i rdzeń trzeba skleić (żywica epoksydowa itp. klej).

Ponieważ handlowcy zajmujący się magnetykami wyjątkowo rzadko wpadają na pomysł, aby mieć w ofercie magnetyki ze

szczeliną powietrzną, istnieje prawdopodobieństwo, że poza pewną znaną firmą wysyłkową (znaną m.in. z opasłego katalogu), trudno będzie nabyć kształtkę ETD34 ze szczeliną. W takiej sytuacji dławik DL2 należy wykonać na rdzeniu kubkowym.

Potrzebny będzie rdzeń M30/19 z materiału F2001 (lub 3C8 w przypadku zagranicznego) i stałej  $Al=630$ . Na karkasie nawijamy wtedy 25 zwojów drutu o średnicy 1mm. Po założeniu koszulek izolujących na końce uzwojenia dławik będzie można uznać za gotowy do sprawdzenia.

Zmontowany układ obciążamy transformatorem do żarówek halogenowych (z żarówką - maksymalne dopuszczalne obciążenie regulatora wynosi 200W) lub w przypadku braku tego elementu zwykłą żarówką 220V/100W i włączamy do sieci. Świecenie żarówki powinno być bez drżenia i migotania, a próby manipulacji potencjometrem powinny skutkować zmianami jasności.

Przy braku świecenia trzeba sprawdzić wartość napięcia zasilania kontrolera (16..24V), obecność impulsów sterujących na bramce T1, aż wreszcie sam klucz i napięcie na C6. Na zakończenie można dobrać wartość rezystancji R4 tak, aby uzyskać pożądaną minimalną jasność świecenia (przy finalnym obciążeniu).

Na koniec drobna uwaga. Z powodu specyficznej konstrukcji „transformatora elektronicznego” można go tylko obciążać

**WYKAZ ELEMENTÓW**

wersja 200W

**Rezystory**

- R1: 1M $\Omega$
- R2, R6: 10k $\Omega$
- R3: 33 $\Omega$ /0,5W
- R4: 3,9k $\Omega$
- R5: 15k $\Omega$
- R7: 27k $\Omega$

**Kondensatory**

- C1, C2: 100nF/250VAC (400VDC)
- C3: 47nF/63V
- C4: 4,7nF/63V
- C5: 2,2nF/63V poliestrowy
- C6: 220 $\mu$ F/25V
- C7: 220nF/400V

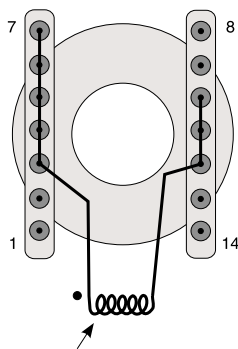
**Półprzewodniki**

- U1: UC3842
- T1: STP8N50

- D1..D4: 1N5406
- D5: BYT 13-600
- D6..D9: 1N4148

**Różne**

- DL1: DpsU21L21/3 (ZEI Polfer) lub podobny
- DL2: rdzeń ETD34 3C8, szczelina 0,5mm plus karkas, uzwojenia wg opisu w tekście lub M30/19 F2001/Al=630
- Tr: TS2/56
- radiator dla T1
- złączki ARK
- oprawka bezpiecznika
- bezpiecznik zwłoczny 2A
- potencjometr liniowy 4,7k $\Omega$



Uzwojenie dławika  
Początek na końcówkach 3-7, koniec na 10-12. 40 zwojów drutem DNE 0.9mm w czterech warstwach.

Rys. 6. Podłączenie wyprowadzeń dławika

czystą rezystancją. Prostowanie napięcia wyjściowego, a w szczególności próba jego odfiltrowania jest w zasadzie równoznaczna ze spalaniem zasilacza. Ta sama uwaga dotyczy duetu regulator-transformator. Uprowadzając pytania czytelników odpowiadam, że nie da się zrobić w ten sposób zasilacza napięcia stałego.

**Ponieważ regulator jest połączony galwanicznie z siecią energetyczną, przy wszelkich próbach i uruchamianiu należy zachować wyjątkową ostrożność.** Oś potencjometru regulującego również musi zostać wyposażona w pokrętkę z tworzywa sztucznego.

**Robert Magdziak, AVT**

Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: <http://www.ep.com.pl/pcb.html> oraz na płycie CD-EP01/2001 w katalogu PCB.