
**AVT  
5302**

# „Cyfrowy” zasilacz żarzenia lamp



*W praktyce elektronika zajmującego się techniką lampową często zachodzi konieczność sprawdzenia stanu lampy. Podstawowym warunkiem do osiągnięcia wiarygodnych wyników pomiaru jest zapewnienie dokładnego i stabilnego napięcia lub prądu zasilania żarzenia. Stało się to przyczynkiem do skonstruowania zasilacza przeznaczonego specjalnie do żarzenia lamp elektronowych. Dwa osobne wyjścia: stałonapięciowe i stałoprądowe, pozwalają na korzystanie z napięć 2,5 V/5,0 V/6,3 V/12,6 V i prądów 100 mA/150 mA/300 mA.*

**Rekomendacje:** Zasilacz ze stabilizowanym prądem wyjściowym przyda się w warsztacie każdego elektronika, nie tylko do zasilania lamp, ale również np. diod LED.

Zasilanie żarzenia lamp typu „E” o żarzeniu zasilanym napięciem 6,3 V lub 12,6 V nie stanowi większego problemu. Do tego celu wystarczy typowy transformator przeznaczony do układów lampowych. Niestety, żarzenie lamp innych typów wymaga albo stabilizowania prądu (lampy typu „P”), albo niskiego napięcia przy stosunkowo dużym prądzie. Do zasilania niektórych lamp typowe zasilacze laboratoryjne mają zbyt małą obciążalność.

Prezentowany zasilacz w trybie stabilizacji napięcia można obciążyć prądem do 5 A. W trybach stałoprądowych, maksymalne napięcie wyjściowe sięga 55 V. Te parametry za-

**W ofercie AVT płytki drukowane dla:**  
 AVT-5302/2A – zasilacza w wersji rozbudowanej  
 AVT-5302/1A – zasilacza w wersji uproszczonej

**Podstawowe informacje:**

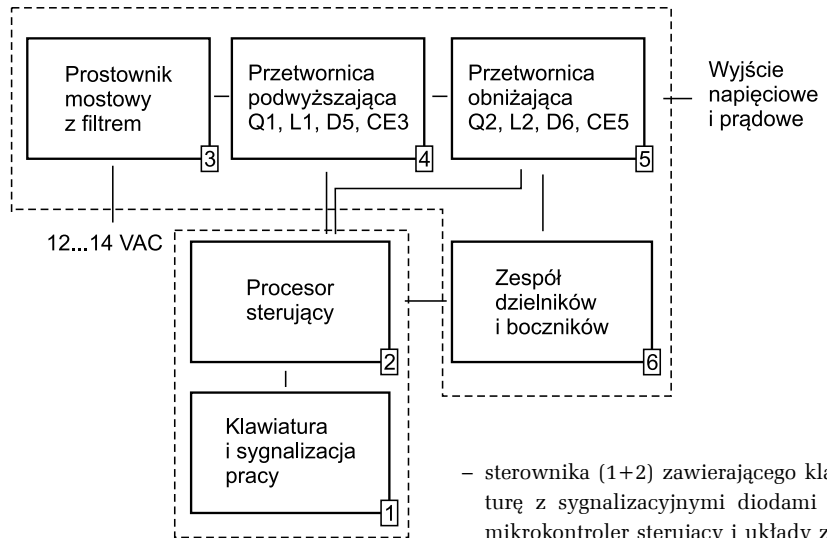
- Wyjście stałonapięciowe (IOBC.MAKS.=5 A)
- Napięcia wyjściowe: 2,5 V (np. lampa typu 2A3), 5,0 V (300B, 5Ux, 5Yx), 6,3 V (lampa typu „E”), 12,6 V (lampy typu 12xx)
- Wyjście stałoprądowe (UOBC.MAKS.=55 V): 100 mA (dla lamp typu „U”), 150 mA (lampy 12xx), 300 mA (lampy typu „P”)
- Zabezpieczenie przeciwzwarciowe
- Układ powolnego narastania napięcia wyjściowego
- Zasilanie z typowego transformatora do lamp halogenowych

**Dodatkowe materiały na CD/FTP:**  
<ftp://ep.com.pl>, user: 16732, pass: 630v2nfb

- wzory płytek PCB
- karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w Wykazie elementów kolorem czerwonym

**Projekty pokrewne na CD/FTP:**  
 (wymienione artykuły są w całości dostępne na CD)

AVT-5229 Miernik lamp elektronowych (EP 4-5/2010)  
 AVT-1512 Kieszonkowy tester lamp NIXIE (EP 1/2009)



Rysunek 1. Schemat blokowy zasilacza

stwarzają kłopoty związane z przenikaniem przydźwięku 50 Hz przy żarzeniu napięciem przemiennym. Zasilacz rozwiązuje też problemy zasilania lamp pobierających duży prąd przy napięciu nominalnym 6,3 V np. 6080, 6S41S i 6S33S. Zasilacz można również zastosować jako gotowy blok w mierniku lamp elektronowych. Ta uproszczona wersja zostanie opisana na końcu artykułu.

**Budowa**

Schemat blokowy zasilacza zaprezentowano na **rysunku 1**. Układ zasilacza składa się z dwóch głównych bloków funkcjonalnych:

– sterownika (1+2) zawierającego klaviaturę z sygnalizacyjnymi diodami LED, mikrokontroler sterujący i układy z nim współpracujące, np. źródło napięcia odniesienia. Schemat tego modułu przedstawiono na **rysunku 2**.

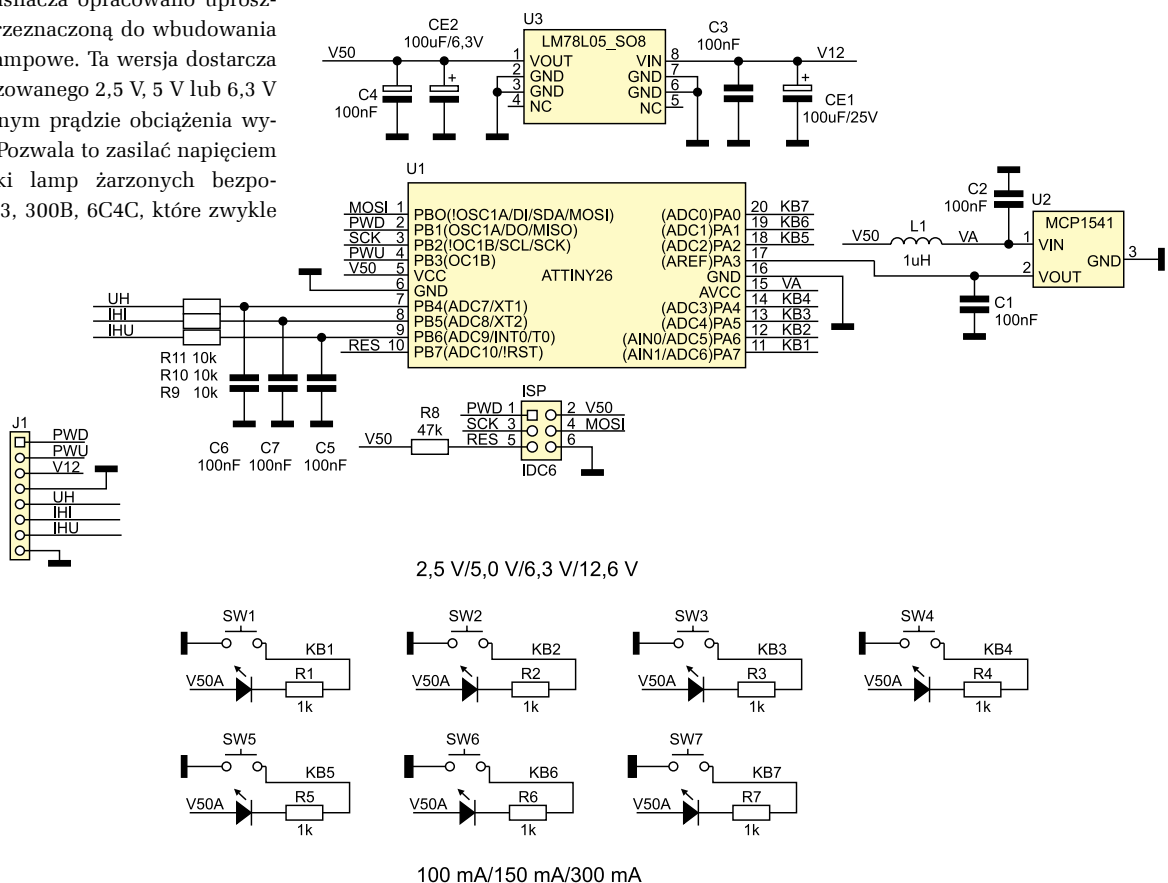
– modułu wykonawczego (4..6), na który składa się prostownik i filtr napięcia przemiennego, przetwornica podwyższająca i przetwornica obniżająca wraz z driverami tranzystorów kluczujących. Schemat tego modułu pokazano na **rysunku 3**.

Sercem zasilacza jest mikrokontroler ATtiny26. Jego bogate wyposażenie pozwoliło znacznie uprościć budowę zasilacza. Procesor jest taktowany sygnałem z wewnętrznego oscylatora RC. Do pomiaru napięć i prądów wyjściowych służy wbudowany przetwornik A/C. Dla osiągnięcia najlepszej dokładności przetwornik

zasilacza oznaczają, że można nim zasilac grzejniki większości stosowanych obecnie lamp.

Zasilacz ma zabezpieczenie przeciwzwarciowe, układ powolnego narastania napięcia wyjściowego i łagodnego załączania prądu. Pozwala to na ograniczenie udaru prądowego, który towarzyszy dołączeniu zimnego włókna żarnika lampy. Zasilacz może być wykorzystany do zasilania innych odbiorników o charakterze rezystancyjnym: żarówek (również halogenowych) i grzałek.

Na bazie zasilacza opracowano uproszczoną wersję przeznaczoną do wbudowania w urządzenie lampowe. Ta wersja dostarcza napięcia stabilizowanego 2,5 V, 5 V lub 6,3 V przy maksymalnym prądzie obciążenia wynoszącym 5 A. Pozwala to zasilac napięciem stałym grzejniki lamp żarzonych bezpośrednio np.: 2A3, 300B, 6C4C, które zwykle



Rysunek 2. Schemat płytki sterownika z klaviaturą

uzupełniono zewnętrznym źródłem napięcia odniesienia 4,096 V z układem MCP1541.

Jeden z wewnętrznych timerów generuje dwa przebiegi o zmiennym wypełnieniu

**Wykaz elementów  
Płytką główną**

**Rezystory:** (SMD 1206 1%)

- R1...R4: 10 kΩ 1%
- R5, R16, R17: 10 Ω
- R6...R15, R18...R26: 1 Ω

**Kondensatory:**

- C1...C3: 100 nF (SMD 1206)
- CE1, CE2: 4700 μF/25 V
- CE3...CE6: 470 μF/63 V
- CE7: 22 μF/25 V (SMD, tantalowy „B”)

**Półprzewodniki:**

- D1...D4: MBR745 (TO-220D)
- D5, D6: MUR820 (TO-220D)
- F7: UF4003 (SMB)
- D8: P6SMB68A (transil)
- Q1, Q2: IRF640 (TO-220)
- U1: IR2101 (SO-8)

**Inne:**

- F1: bezpiecznik 5 A, zwłoczny, 5×20
- J1: ARK2-7,5 mm
- J2: ARK3-5,0 mm
- J3: złącze proste KK 2,54 mm
- L1, L2: dławik 1 mH/5 A

**Płytką klawiatury**

**Rezystory:** (SMD 1206 1%)

- R1...R7: 1 kΩ
- R8: 47 kΩ
- R9...R11: 10 kΩ

**Kondensatory:**

- C1...C7: 100 nF (SMD 1206)
- CE1: 100 μF/25 V
- CE2: 100 μF/6,3 V

**Półprzewodniki:**

- U1: ATtiny26 (SO20W)
- U2: MCP1541 (SOT-23)
- U3: LM78L05

**Inne:**

- ISP: IDC6
- J1: złącze kątowe 2,54 mm
- L1: dławik 1 μH
- SW1...SW7: przycisk Multimec MEC-2 z podświetleniem (żółte 3 szt., zielone 4 szt.)

**Zasilacz uproszczony:**

**Rezystory:** (SMD 1206)

- R1...R4, R16...R18: 10 kΩ
- R5: 10 Ω
- R6...R15: 1 Ω
- R24: 47 kΩ

**Kondensatory:**

- C1...C8: 100 nF (SMD 1206)
- CE1: 4700 μF/25 V
- CE2: 22 μF/25 V
- CE3: 1000 μF/25 V
- CE4: 100 μF/6,3 V

**Półprzewodniki:**

- D1...D4: MBR745 (TO-220D)
- D5: SUF4003 (SMB)
- D6: MUR820 (TO-220D)
- Q1: IRF640
- U1: IR2101 (SO-8) U2: LM78L05
- U3: ATtiny26 (SO-20W)
- U4: MCP1541 (SOT-23)

**Inne:**

- F1: bezpiecznik 5 A, zwłoczny, 5×20
- J1, J2: ARK2-5,0 mm
- J3: złącze proste KK 2,54 mm
- L1: dławik 1 mH/5 A
- L2: dławik 1 μH (1206)

(PWU i PWD). Przebiegi zasilają wejścia układu IR2101, który zawiera dwa niezależne drivery tranzystorów MOSFET. Sygnał PWU po przejściu przez driver „dolnej strony” steruje tranzystorem Q1, który jest kluczem w przetwornicy podwyższającej napięcie (L1, Q1, D5, CE3, CE4). Napięcie wyjściowe z tej przetwornicy zasilają przetwornicę obniżającą.

Sygnał PWD dociera na wejście drivera „górnej strony” w układzie IR2101 i steruje bramką tranzystora Q2, który jest kluczem dla przetwornicy obniżającej (Q2, D6, L2, CE5, CE6). Dzięki zasilaniu „górnego” drivera IR2101 z układu bootstrap (D7, C2, C3), również tutaj kluczem może być MOSFET typu N. Wprowadzić takie rozwiązanie wymaga cyklicznego wyłączenia tranzystora kluczującego dla podładowania pojemności bootstrapu, ale przy sterowaniu programowym nie stanowi to problemu.

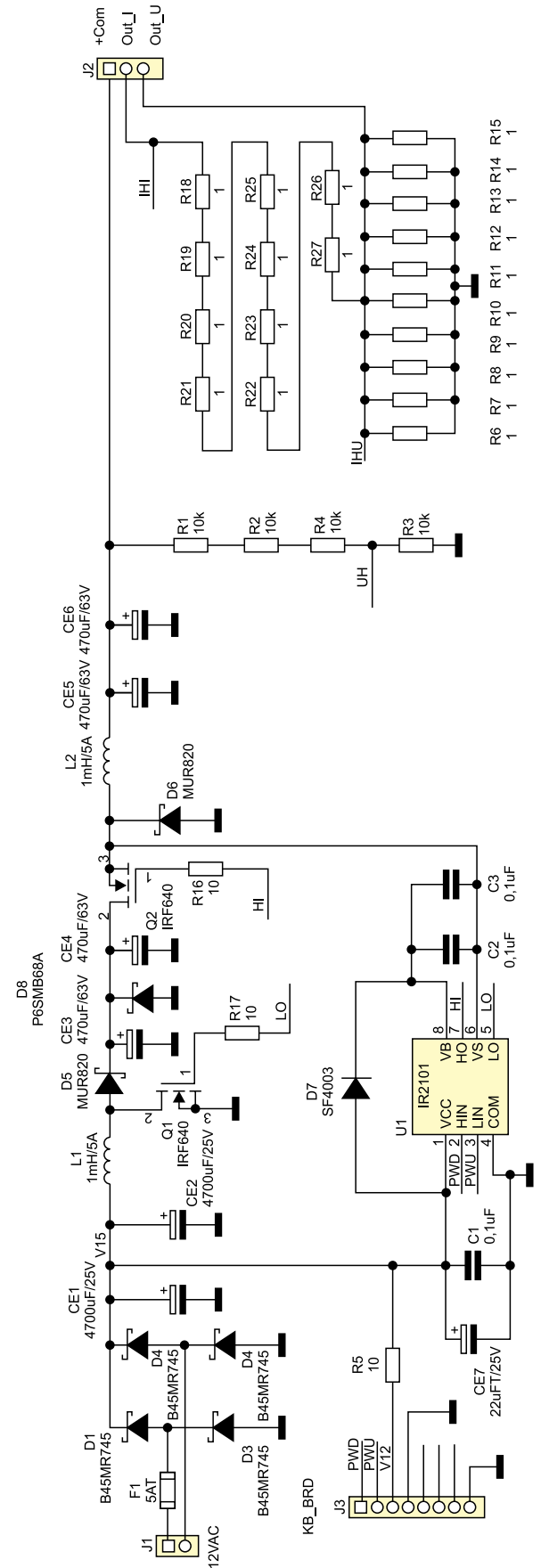
Znaczna liczba przycisków (SW1...SW7) i skojarzonych z nimi diod LED przy równocześnie mocno ograniczonej liczbie wyprowadzeń procesora wymusiła połączenie tych elementów w zespoły i wspólne podłączenie ich do jednej linii portu.

Jeśli procesor zaświeca diodę LED, konfiguruje linię portu jako wyjście na poziomie niskim. W momentach odczytu klawisza ta sama linia jest konfigurowana jako wejście z wewnętrznym podciąganiem do dodatniego biegunu zasilania.

Dzięki niewielkiemu poborowi prądu ze źródła +5 V do uzyskania tego napięcia zastosowano stabilizator małej mocy typu 78L05 (U3).

Dodatni potencjał wyjściowy zasilacza (J2 +COM) jest pobierany z kondensatorów CE5, CE6. To samo napięcie po 4-krotnym zredukowaniu w dzielniku rezystorowym (R1...R4) i odfiltrowaniu przez filtr RC (R11, C6) jest podawane na wejście ADC7 mikrokontrolera. Tą drogą procesor dostaje informację o napięciu na wyjściu przetwornicy, które może w tym miejscu przekroczyć nawet

50 V. Wprowadzić dzielnik umożliwi pomiar tylko do 16,4 V (4×4,096 V), ale istotne są tylko wyniki do 13,1 V (12,6 V na obciążeniu plus 0,5 V tj. maksymalny spadek napięcia na boczniku o rezystancji 0,1 Ω).



Rysunek 3. Schemat płytki przetwornic

Na CD: karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w wykazie elementów kolorem czerwonym



Zależnie od tego, czy zasilacz ma pracować jako źródło stałonapięciowe, czy stałoprądowe, ujemnym biegunem wyjściowym jest styk *OUT\_U* lub *OUT\_I* złącza J2.

Wyjście *OUT\_U* jest połączone z masą przez bocznik o rezystancji 0,1 Ω zbudowany z rezystorów R6...R15. Napięcie z tego bocznika przez filtr R9/C5 jest podane na wejście ADC9. Dzięki temu procesor może sprawdzić, czy nie został przekroczony dopuszczalny prąd wyjściowy.

Dla wyjścia *OUT\_I* wprowadzono dodatkowy bocznik pomiarowy o rezystancji 10 Ω zbudowany z rezystorów R18...R27. Sumaryczny spadek napięcia na obu bocznikach po przejściu przez R10/C7 jest podany na wejście ADC8 i służy do pomiaru prądu wyjściowego. Informacja o wielkości napięcia na bocznikach jest ponadto wykorzystywana przez program do wprowadzenia poprawki, dzięki której napięcie na obciążeniu ma wartość nominalną, niezależną od obciążenia.

Dzięki zastosowaniu dwóch różnych boczników ograniczono moc traconą przy dużych prądach na wyjściu w trybie stałonapięciowym i równocześnie uzyskano wystarczająco duży spadek napięcia, aby precyzyjnie stabilizować niewielkie prądy w trybach stałoprądowych.

Jako transformator sieciowy wykorzystano stosunkowo tani transformator toroidalny o mocy 70 VA i napięciu wtórnym 11,5 V przeznaczony do zasilania żarówek halogenowych.

Napięcie przemienne z transformatora po przejściu przez bezpiecznik F1 jest prostowane w mostku diodowym D1...D4 i wygładzane kondensatorami CE1, CE2 o znacznej pojemności.

### Oprogramowanie

Program zasilacza został napisany w języku C w środowisku ICCAVR. Stan przycisków jest sprawdzany cyklicznie co około 5 ms. Poziom niski na wejściu procesora musi trwać co najmniej 20 ms (4 kolejne próbki), aby został zinterpretowany jako naciśnięcie klawisza.

Przyciski są programowo traktowane jako bistabilne i współzależne. Oznacza to, że naciśnięcie jednego przycisku zmienia jego stan na przeciwny i równocześnie powoduje wyłączenie wszystkich pozostałych.

Mikrokontroler co 5 ms odczytuje napięcia na wejściach ADC7 (UH), ADC8 (IHI) i ADC9 (IHU). Wynik pomiaru na wejściu IHU jest porównywany ze stałą odpowiadającą prądowi 5,5 A. Jeśli prąd przekroczy tę wartość, następuje natychmiastowe wyłączenie obu przetwornic i wyzerowanie nastawy. Tak samo dzieje się, jeśli napięcie na wejściu IHI przekroczy wartość odpowiadającą 400 mA (co może wskazywać na nieprawidłowe dołączenie obciążenia) lub spadnie poniżej 2 mA, co oznacza odłączenie obciążenia.

Jeśli zasilacz ma utrzymywać na wyjściu stałe napięcie, to w kolejnym kroku wynik przetwarzania IHU jest dzielony przez 4, odejmowany od UH i ta różnica jest porównywana ze stałą odpowiadającą nastawionemu napięciu. W zależności od wyniku porównania modyfikowane są wypełnienia przebiegów PWU i PWD.

W przypadku nastaw stałoprądowych jedynym kryterium sterowania przetwornicami jest napięcie na wejściu IHI.

Zasilacz nie jest wyposażony w mierniki, które pozwoliłyby na wizualną kontrolę napięcia i prądu wyjściowego. Dlatego jeśli napięcie lub prąd wyjściowy obniży się o 5% w stosunku do wartości znamionowej, dioda LED wskazująca aktualną nastawę zaczyna migać w wolnym rytmie. Analogicznie przekroczenie wartości nastawionej o 5% jest sygnalizowane szybkim miganiem LED.

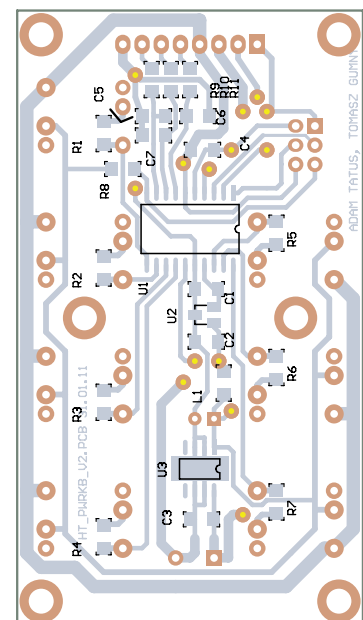
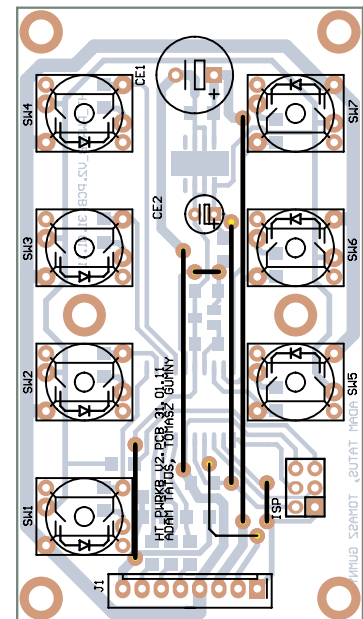
Program ogranicza wypełnienie na wyjściu PWU do 205/256, dzięki czemu napięcie na wyjściu przetwornicy podwyższającej nie powinno przekroczyć dopuszczalnego napięcia pracy kondensatorów CE3 i CE4 ( $12 V \times 256 / (256 - 205)$ ). Maksymalne wypełnienie przebiegu PWD taktującego przetwornicę obniżającą wynosi 224/256 i jest ograniczone ze względu na konieczność doładowywania pojemności bootstrapu C2 i C3.

Po podłączeniu obciążenia pomiędzy +COM i *OUT\_U* oraz naciśnięciu jednego z przycisków trybów stałonapięciowych (2,5 V/5,0 V/6,3 V/12,6 V) procesor zaczyna zwiększać wypełnienie przebiegu na wyjściu PWD, co powoduje powolne narastanie napięcia wyjściowego. Przy niskim napięciu na

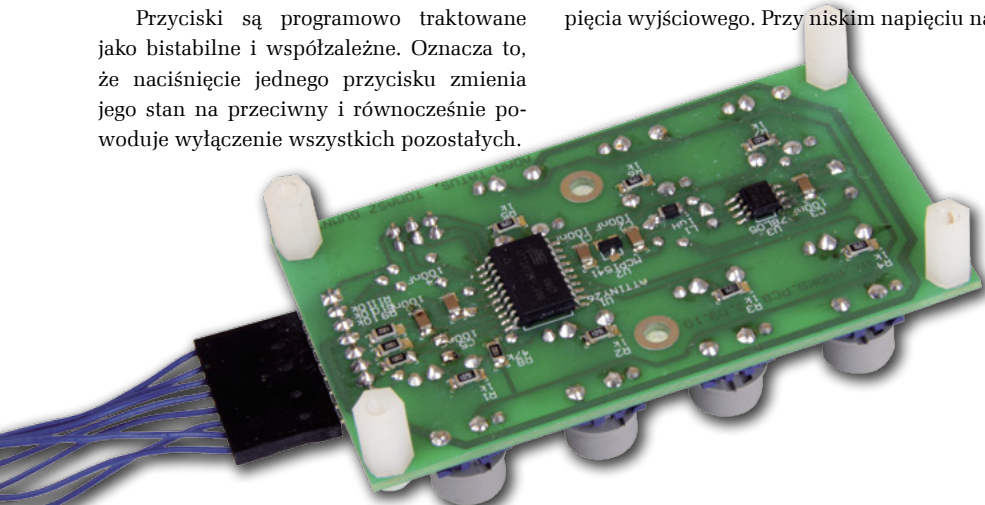
wejściu zasilacza i nastawie 12,6 V napięcie na wyjściu zasilacza może być za niskie pomimo osiągnięcia maksymalnego (dopuszczalnego ze względu na bootstrap) wypełnienia PWD. W takim wypadku procesor zaczyna stopniowo zwiększać wypełnienie przebiegu PWU, powodując uruchomienie przetwornicy podwyższającej i dalszy wzrost napięcia wyjściowego.

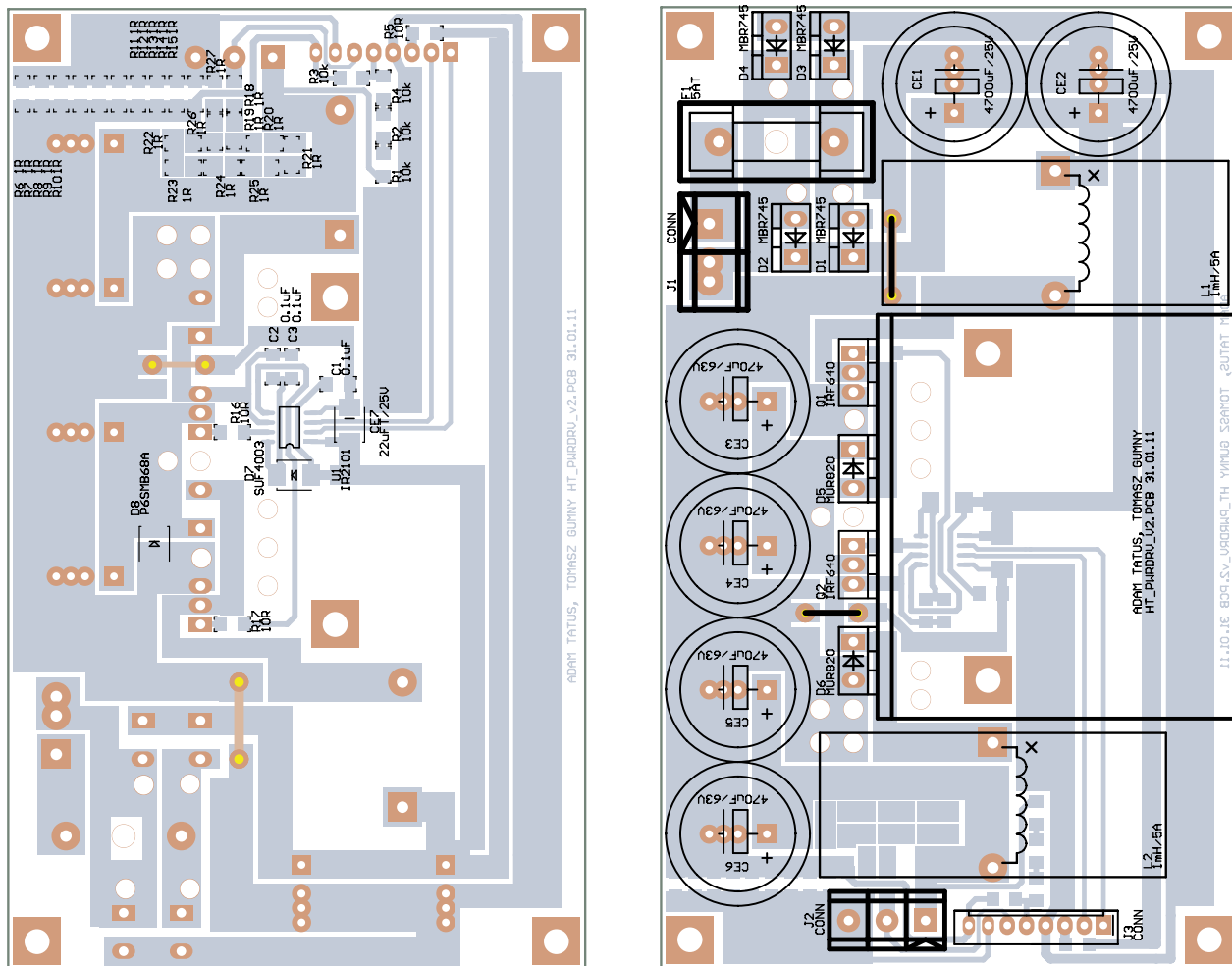
Po osiągnięciu zadanej wartości napięcia program przechodzi w tryb jego stabilizacji, korygując odchylenia spowodowane zmianą rezystancji rozgrzewającego się grzejnika. Czas narastania napięcia do wartości nominalnej wynosi około 30 sekund, niezależnie od wybranego napięcia wyjściowego.

Podobnie dzieje się po podłączeniu obciążenia do +COM i *OUT\_I* oraz naciśnięciu jednego z trzech przycisków ustawiających prąd (100 mA/150 mA/300 mA). W tym wy-

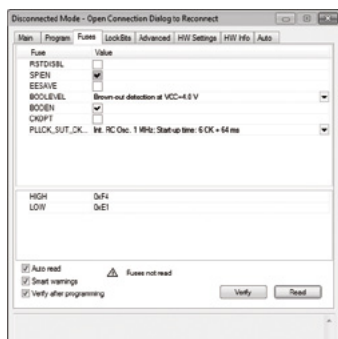


Rysunek 4. Rozmieszczenie elementów na płytce sterownika





Rysunek 5. Rozmieszczenie elementów na płytce wykonawczej



Rysunek 6. Ustawienie bitów konfiguracyjnych

padku również uruchamiana jest przetwornica obniżająca, a w razie potrzeby podwyższająca. Przy stabilizowaniu prądu wyjściowego nie ma ryzyka udaru prądowego, dlatego prąd osiąga nominalną wartość w ciągu kilku sekund.

Na wypadek zakłóceń w pracy mikrokontrolera program uruchamia wbudowany watchdog, który po upływie 16 ms od zawieszenia się programu zrestartuje mikrokontroler.

### Montaż

Układ podzielono na dwie jednostronne, płytki drukowane. Rozmieszczenie elementów na poszczególnych płytkach przedsta-

wiono na rysunku 4 (płytką główną) i rysunku 5 (płytką klawiatury). W pierwszej kolejności montujemy elementy SMD, zwracając uwagę na elementy polaryzowane, następnie zwoje, złącza, mniejsze elementy przewlekane. Przygotowujemy radiatory z zamontowanymi diodami i tranzystorami (pamiętając o izolacji od radiatora). Do poprawnego chłodzenia elementów potrzebny jest radiator o powierzchni kilkudziesięciu cm<sup>2</sup>. W modelu wykorzystano kawałek blachy zagiętej w profil „C”. W miarę możliwości warto tę powierzchnię powiększyć, co ułatwi chłodzenie elementów mocy. Na płytce klawiatury przełączniki typu MEC3 należy doposażyć w diody LED. Polecam takie rozwiązanie ze względu na możliwość zróżnicowania kolorów dla zakresów napięciowych i prądowych oraz łatwość zastosowania nowoczesnych energooszczędnych LED. Zróżnicowanie kolorów ułatwia użytkowanie zasilacza. Montaż pierwszej diody LED wymaga precyzji przy kształtowaniu wyprowadzeń, ale przygotowanie i montaż kolejnych odbywa się już błyskawicznie. W pierwszej kolejności należy lutować wyprowadzenia przełącznika. Następnie po założeniu klawisza sprawdzić, czy przycisk pracuje bez zacięć i ewentualnie dogięć wyprowadzenia i je przylutować.

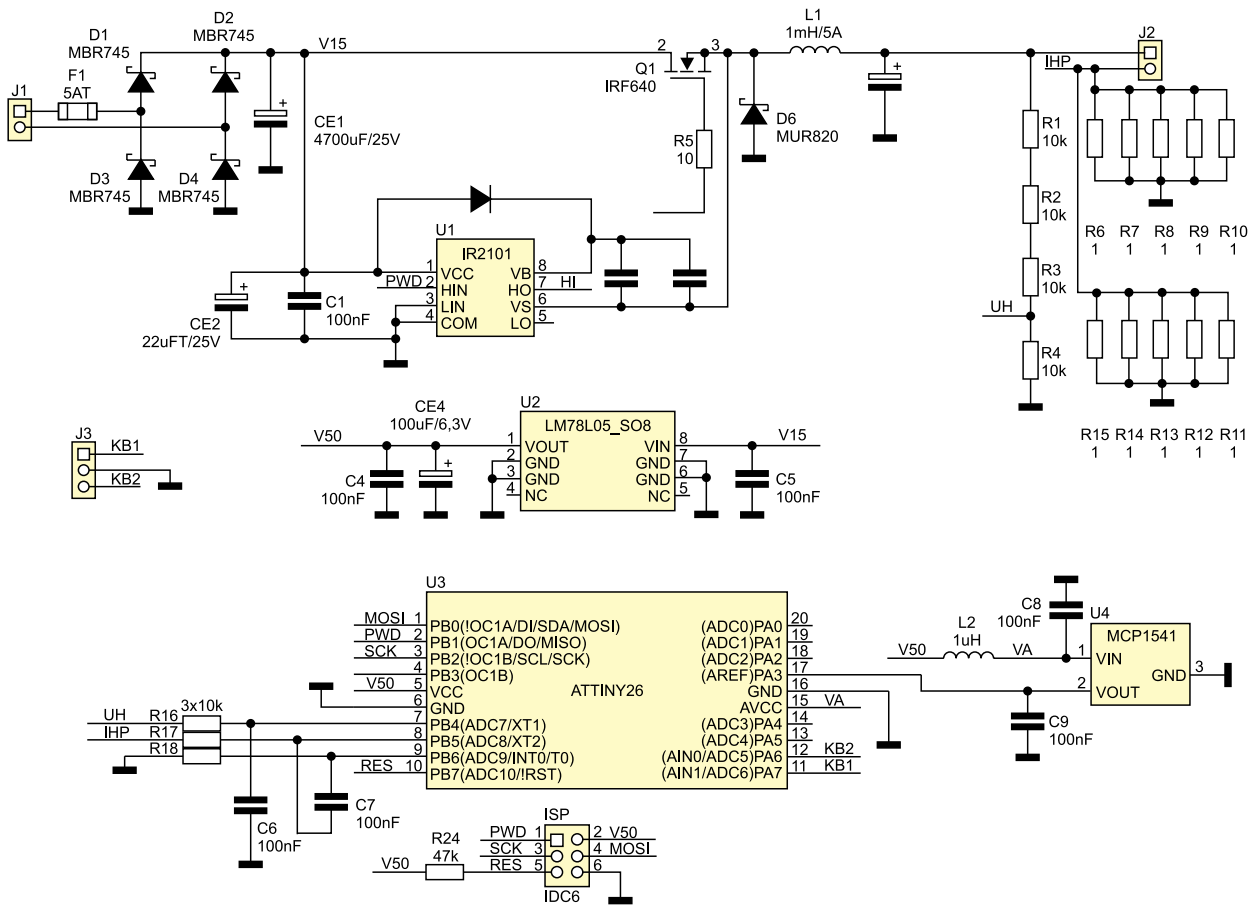
### Programowanie mikrokontrolera

**Przed dołączeniem programatora, na czas programowania mikrokontrolera, należy odłączyć dławik L1.** W przeciwnym wypadku może ulec uszkodzeniu tranzystor Q1. Procesor należy zaprogramować plikiem HEATHEX. Ustawienie bitów konfiguracyjnych przedstawia rysunek 6.

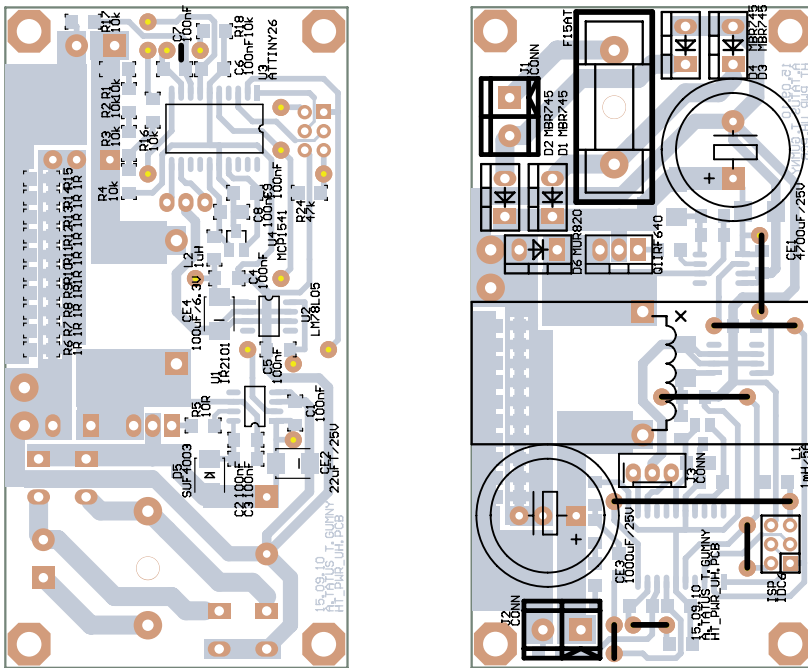
### Uruchomienie i obsługa

Prawidłowo zmontowany zasilacz nie wymaga uruchamiania. Sprawdzenie zasilacza sprowadza się do pomiarów napięć i prądów wyjściowych dla każdej zadanej wartości przy możliwie szerokim zakresie obciążeń.

W trybie napięciowym obciążenie należy włączyć pomiędzy zaciski wyjściowe COM+ i OUT\_U. Równocześnie do zacisków obciążenia należy dołączyć woltomierz napięcia stałego. Przełącznikami SW1...SW4 trzeba kolejno sprawdzić stabilizację napięć i działanie rampy załączania. Dioda LED przy ostatnio wybranym przycisku sygnalizuje powolnym miganiem narastanie napięcia. Po osiągnięciu wartości nominalnej zaświeca się na stałe. W przypadku przeregulowania lub przekroczenia wartości zadanej, np. po nastawieniu niższego napięcia, dioda LED będzie migać szybko.



Rysunek 7. Schemat zasilacza w wersji uproszczonej



Rysunek 8. Rozmieszczenie elementów na płycie zasilacza w wersji uproszczonej

Sprawdzenie zasilacza w trybie stabilizacji prądu wymaga włączenia obciążenia pomiędzy zaciski COM+ i OUT\_I. W szereg z obciążeniem włączamy amperomierz i po naciśnięciu jednego z przycisków SW5... SW7 sprawdzamy dokładność stabilizacji prądu. Sposób sygnalizacji za pomocą diod LED jest identyczny, jak w trybie napięciowym.

Dokładność stabilizowanego napięcia i prądu zależy od jakości elementów użytych do budowy boczników i dzielnika napięcia na wyjściu zasilacza. W wypadku rozbieżności większych niż 3% warto skorygować ww. elementy poprzez nalutowanie na odpowiednie rezystory dodatkowych rezystorów korekcyjnych. Wartości tych elementów najlepiej ustalić doświadczalnie w czasie uruchamiania

zasilacza, gdyż w praktyce znaczący wpływ mają nawet rezystancje ścieżek.

### Zasilacz w wersji mini

W większości wypadków, szczególnie gdy chcemy wbudować zasilacz do wzmacniacza lub miernika, warto rozpatrzyć budowę jego „okrojonej” wersji. Funkcjonalność zasilacza została ograniczona do dostarczania napięć 2,5 V, 5 V, 6,3 V (5 A/3 A) w zależności od zastosowanego dławika. Napięcia są wybierane zworą lub przełącznikiem 3-pozycyjnym podłączonym do złącza J3. Pominięcie układu podwyższającego umożliwia znaczące obniżenie kosztu i zmniejszenie urządzenia. Schemat uproszczonego zasilacza przedstawia **rysunek 7**. Wszystkie jego elementy są umieszczone na jednej płycie drukowanej pokazanej na **rysunku 8**. Kolejność montażu elementów jest typowa. Tranzystor Q1 i dioda D6 wymagają radiatora o powierzchni kilkunastu cm<sup>2</sup>. W zależności od przewidywanego obciążenia należy zastosować dławik 1 mH/3 A dla maksymalnego prądu wyjściowego 3 A lub droższy 1mH/5 A dla pełnej wydajności prądowej. Wybór napięcia wyjściowego następuje poprzez zwarcie J3 (1-2) dla 2,5 V, pozostawienie J3 rozwartego dla 5 V lub zwarcie J3 (2-3) dla uzyskania 6,3 V. Istnieje możliwość wyłączenia zasilacza poprzez zwarcie styków J3 (1-2-3). Funkcja ta jest przydatna w przypadku zastosowania zasilacza np. w mierniku lamp.

**Tomasz Gumny, tgumny@ep.com.pl**  
**Adam Tatuś, atatus@op.pl**