


**AVT  
5229**

# Miernik lamp elektronowych (1)



*Od kilkunastu lat widać, że wzmacniacze lampowe przeżywają renesans. Niestety, z jakością lamp bywa różnie, zwłaszcza tych zalegających od wielu lat na półkach. Prezentowany tester nie tylko pozwoli sprawdzić lampy, ale również jest bardzo ciekawą kombinacją techniki mikroprocesorowej i stosunkowo wysokich napięć.*

Od kilku lat konstrukcje elektroniczne oparte o lampy elektronowe, a w szczególności lampowe układy audio, przeżywają swoją drugą młodość. Podstawowym elementem układu jest lampka elektronowa, której parametry bezpośrednio rzutują na jakość konstruowanego urządzenia. Najlepszym rozwiązaniem jest stosowanie nieużywanych lamp ze starej produkcji, potocznie określanych „NOS”. Niestety, często zmuszeni jesteśmy do stosowania lamp używanych lub produkowanych współcześnie. Lampy po wielu latach pracy narażone są na zmniejszenie emisji katody, pogorszenie lub wręcz

utratę próżni, zatrucie katody i wiele innych niebezpieczeństw. Z kolei firmy, które wznowiły produkcję lamp, nie mają na razie dostatecznego doświadczenia lub nie potrafią zachować rygorystycznych reżimów technologicznych, bo ich wyroby rzadko osiągają parametry z dawnych katalogów. Wszystko to powoduje, że obecnie pomiar parametrów lamp jest ważniejszy niż w czasie, gdy lampy były powszechnie dostępne.

Poza nielicznymi, kosztownymi wyjątkami nie produkuje się już mierników lamp, a dostęp do starych konstrukcji jest mocno ograniczony. Potwierdzeniem tego są ceny,

**AVT-5229 w ofercie AVT:**  
AVT-5229A – płytka drukowana

#### Podstawowe informacje:

- Pomiar lamp w typowych i nietypowych punktach pracy
- Wbudowany katalog z danymi 100 najpopularniejszych lamp
- Możliwość wykorzystania miernika jako niezależnych zasilaczy (żarzenia, anodowego)
- Pomiar wszystkich istotnych napięć i prądów na elektrodach mierzonej lampy
- Automatyczny pomiar podstawowych parametrów z wyliczaniem parametrów pochodnych: nachylenia  $S$  [mA/V], wzmocnienia napięciowego  $K$  [V/V], rezystancji wewnętrznej w punkcie pracy  $R$  [kΩ]
- Prezentacja danych na wyświetlaczu LCD
- Transmisja wyników pomiaru do komputera PC poprzez interfejs RS232.

**Dodatkowe materiały na CD i FTP:**  
<ftp://ep.com.pl>, user: 16489, pass: 1xh8b8t1

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

**Projekty pokrewne na CD i FTP:**  
(wymienione artykuły są w całości dostępne na CD)  
AVT-1512 Kieszonkowy tester lamp NIXIE (EP 1/2009)  
Przyrząd do badania lamp elektronowych (EP 10/2005)



Fot. 1. Miernik P507

jakie osiągają mierniki produkcji polskiej typu P-507 (fot. 1) i P-508 lub czechosłowackie BM-215A (fot. 2). Nawet jeśli uda się zdobyć taki przyrząd z niezbędnym kompletem kart, to miarodajne wyniki pomiarów można uzyskać na tych kilkudziesięcioletnich przyrządach dopiero po dokładnym przeglądzie i kalibracji.

Największe problemy czekają nas jednak przy próbie dokonania pomiarów tak wiekowym sprzętem. Setki kart zawierające nastawy dziesiątek przełączników i potencjometrów mogą skutecznie zniechęcić współczesnego pasjonata lamp elektronowych i taki sposób obsługi zupełnie nie przystaje do XXI wieku.

Wzorem funkcjonalnym dla opracowywanej konstrukcji był tester lamp elektronowych BM-215A. Umożliwiał on pomiar emisji lamp i nachylenia charakterystyki. Obsługa tego przyrządu polegała na wyborze karty pomiarowej lampy z katalogu miernika, ułożeniu jej na specjalnym polu pomiarowym, „zaprogramowaniu” zasilacza i zakresu pomiarowego wskaźnika na podstawie oznaczeń z karty lampy oraz wykonaniu pomiarów poprzez wybór odpowiednich położeń przełącznika pomiaru. Główne wady miernika to brak stabilizacji napięć zasilających lampę i niemożność płynnego ustawiania napięć zasilaczy, co często powoduje konieczność dokonania pomiaru w punkcie pracy niezgodnym z katalogiem. Dodatkowym „urozmaiceniem” są gabaryty miernika – 230×240×340 mm i ciężar 15 kg!

Wszystko to spowodowało, że na forum miłośników lamp i retro radiotechniki „Trioda” ([www.trioda.com/forum](http://www.trioda.com/forum)) narodził się pomysł opracowania nowoczesnego miernika lamp elektronowych. Przy konstruowaniu przyrządu główny nacisk położono na uproszczenie obsługi, obniżenie kosztów i jak największą uniwersalność.

## Parametry lamp elektronowych

Współcześnie asortyment dostępnych lamp uległ znacznemu okrojeniu w porównaniu ze „złotą epoką” lamp elektronowych przypadającą na lata 50.–60. Lampy stosuje się głównie przy renowacji starych radiodiodników i telewizorów. W nowo konstruowanych urządzeniach znajdują raczej zastosowanie lampy z produkcji współczesnej lub wspomniane

wcześniej NOS. Szczególnie te drugie cieszą się zasłużeniem dobrą opinią ze względu na wysoką jakość wykonania i przystępną cenę.

W urządzeniach audio zastosowanie znajdują najczęściej podwójne triody małej mocy serii ECC81/82/83/88 i ich radzieckie odpowiedniki funkcjonalne 6N1/2/23P, 6H8/9S, pentody mocy serii EL34/84 6L6/6V6, KT66/88 oraz nieco rzadziej pentody małej mocy, takie jak EF86, 6SJ7.

Podstawowym parametrem, który musi być wyznaczony dla oceny jakości lampy, jest **prąd anodowy  $I_a$  [mA]**. Jest to prąd, który wpływa do anody przy określonych przez producenta lampy napięciach:  $U_a$ ,  $U_{g2}$ ,  $U_{g1}$ , przy nominalnym żarzeniu  $U_h/I_h$ . Wartość zmierzona porównujemy z danymi podanymi przez producenta. Znaczne zmniejszenie prądu anodowego w stosunku do wartości nominalnej wskazuje na pogorszenie własności emisyjnych katody. Z kolei zbyt duża wartość może wskazywać na pogorszenie próżni. Prąd anodowy jest mierzony bez żadnych dodatkowych obliczeń.

**Nachylenie charakterystyki  $S$  [mA/V]** jest parametrem szczególnie ważnym przy doborze lamp w pary i kwadry, które będą pracować równolegle lub przeciwsobnie. Wartość nachylenia  $S$  wyliczamy na podstawie pomiarów w dwóch punktach leżących w otoczeniu punktu pracy. Po założeniu żarzenia i odczekaniu kilku minut ustawiamy napięcie siatki pierwszej  $U_{g1}$  na wartość z katalogu. Następnie ustawiamy napięcie anodowe  $U_a$  na wartość katalogową i mierzymy prąd anodowy  $I_a(1)$ . W kolejnym kroku zwiększamy napięcie siatki pierwszej o 1 V i ponownie mierzymy wartość prądu anodowego  $I_a(2)$ . Po podstawieniu do wzoru:

$$S(U_a = \text{const}) = \frac{I_a(2) - I_a(1)}{\Delta U_{g1}} \left[ \frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$$

otrzymujemy wartość nachylenia.



Fot. 2. Miernik BM-215

W starych miernikach napięcie siatki pierwszej  $U_{g1}$  zazwyczaj ustawiało się w pierwszym kroku na wartość nominalną, a następnie dodatkowym przełącznikiem dodawano 1 V. Dzięki temu unikano dzielenia ( $\Delta U_{g1} = 1$ ). Opisany miernik używa napięcia nominalnego pomniejszonego i powiększonego o 0,4 V. Tak wykonany pomiar wskazuje nachylenie dokładnie w punkcie zalecanym przez producenta, a mniejsza  $\Delta U_{g1}$  jest bezpieczniejsza dla lamp pracujących przy małych napięciach  $U_{g1}$ , np. ECC81.

Do wyznaczenia **oporności wewnętrznej  $R$  [kΩ]** lampy również należy dokonać pomiaru w dwóch punktach. Dla wartości katalogowych  $U_{g1}$  i  $U_a$  mierzymy  $I_a(1)$ . Następnie zwiększamy napięcie anodowe  $U_a$  o 10 V i ponownie mierzymy  $I_a(2)$ . Po podstawieniu do wzoru:

$$R(U_{g1} = \text{const}) = \frac{\Delta U_a}{I_a(2) - I_a(1)} \text{ [k}\Omega\text{]}$$

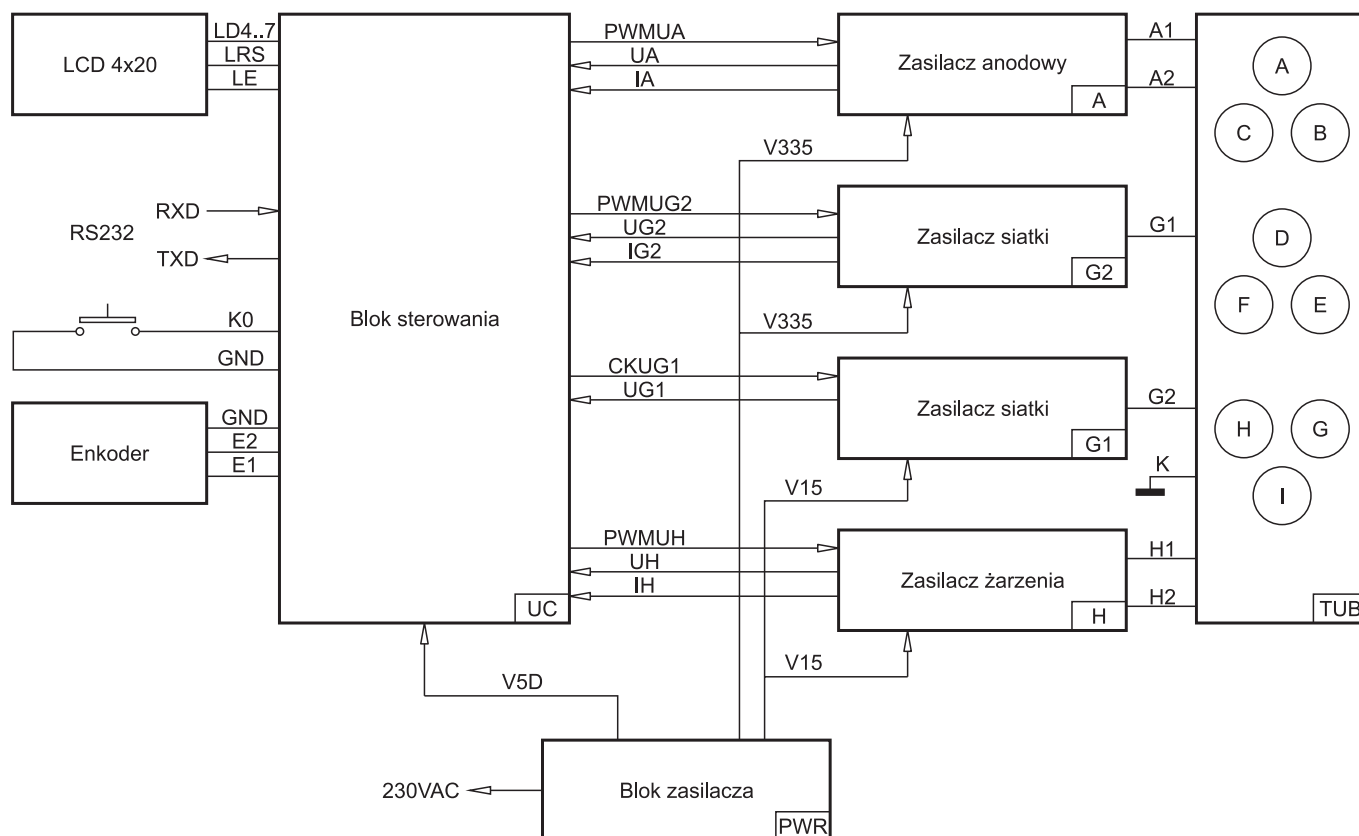
otrzymujemy wartość rezystancji wewnętrznej.

**Wzmocnienie napięciowe  $K$  [V/V]** otrzymujemy metodą czysto obliczeniową ze wzoru:  $K = R \times S$ , gdzie  $R$  i  $S$  to nachylenie charakterystyki i rezystancja wewnętrzna wyznaczone na podstawie poprzednich pomiarów.

## Parametry miernika

Parametry techniczne miernika są kompromisem pomiędzy ceną a liczbą lamp możliwych do zbadania. Na podstawie analizy parametrów lamp, które są obecnie dostępne i często stosowane, zostały sprecyzowane zakresy napięć i prądów dla zasilaczy:

- żarzenie: 0..15 V/2,5 A (chwilowo do 3 A),
- siatka pierwsza 0..–24 V / 2 mA,
- siatka druga 0..300V/40 mA,
- anoda 0..300 V/200 mA, pomiar prądu dla zwiększenia dokładności w dwóch podzakresach 20 mA/200 mA.



Rys. 3. Schemat blokowy miernika

### Budowa miernika

Schemat blokowy miernika pokazano na rys. 3, a ideowy na rys. 4. W jego skład wchodzi siedem bloków:

- zasilacz żarzenia (H),
- zasilacz siatki pierwszej (G1),
- zasilacz anodowy (A),
- zasilacz siatki drugiej (G2),
- blok sterowania (UC) z LCD, enkoderem, przyciskiem i RS232C,
- blok zasilania (PWR),
- blok podstawek testowych (TUB).

Sercem jest mikrokontroler jednokładowy ATmega16. Oprogramowanie ustawia odpowiednio napięcia odniesienia dla zasilaczy: anodowego A i siatkowego G2. Natomiast zasilacze: żarzenia H i siatki pierwszej G1, zrealizowano programowo. Poza tym procesor za pośrednictwem wbudowanego przetwornika analogowo-cyfrowego mierzy napięcia  $U_h$ ,  $U_{g1}$ ,  $U_a$  i  $U_{g2}$ , prądy  $I_h$ ,  $I_a$  i  $I_{g2}$  i w przypadku przekroczenia maksymalnych wartości dokonuje awaryjnego wyłączenia z jednoczesną sygnalizacją. Po zakończeniu cyklu pomiarowego procesor oblicza pozostałe parametry i komplet wyników wyświetla na wbudowanym wyświetlaczu LCD oraz wysyła przez port szeregowy.

W pamięci mikrokontrolera zapisano bazę parametrów 100 najczęściej spotykanych lamp elektronowych

**Zasilacz żarzenia.** Zasilacz żarzenia odpowiada za dostarczenie napięcia zasilającego grzejnik katody badanej lampy. Miernik umożliwia wyłącznie pomiar lamp żarzonych pośrednio, tzn. takich, w których

grzejnik jest elektrycznie odizolowany od katody. Nie jest to dużym ograniczeniem, bo obecnie, poza diodami prostowniczymi, rzadko stosuje się lampy żarzone bezpośrednio.

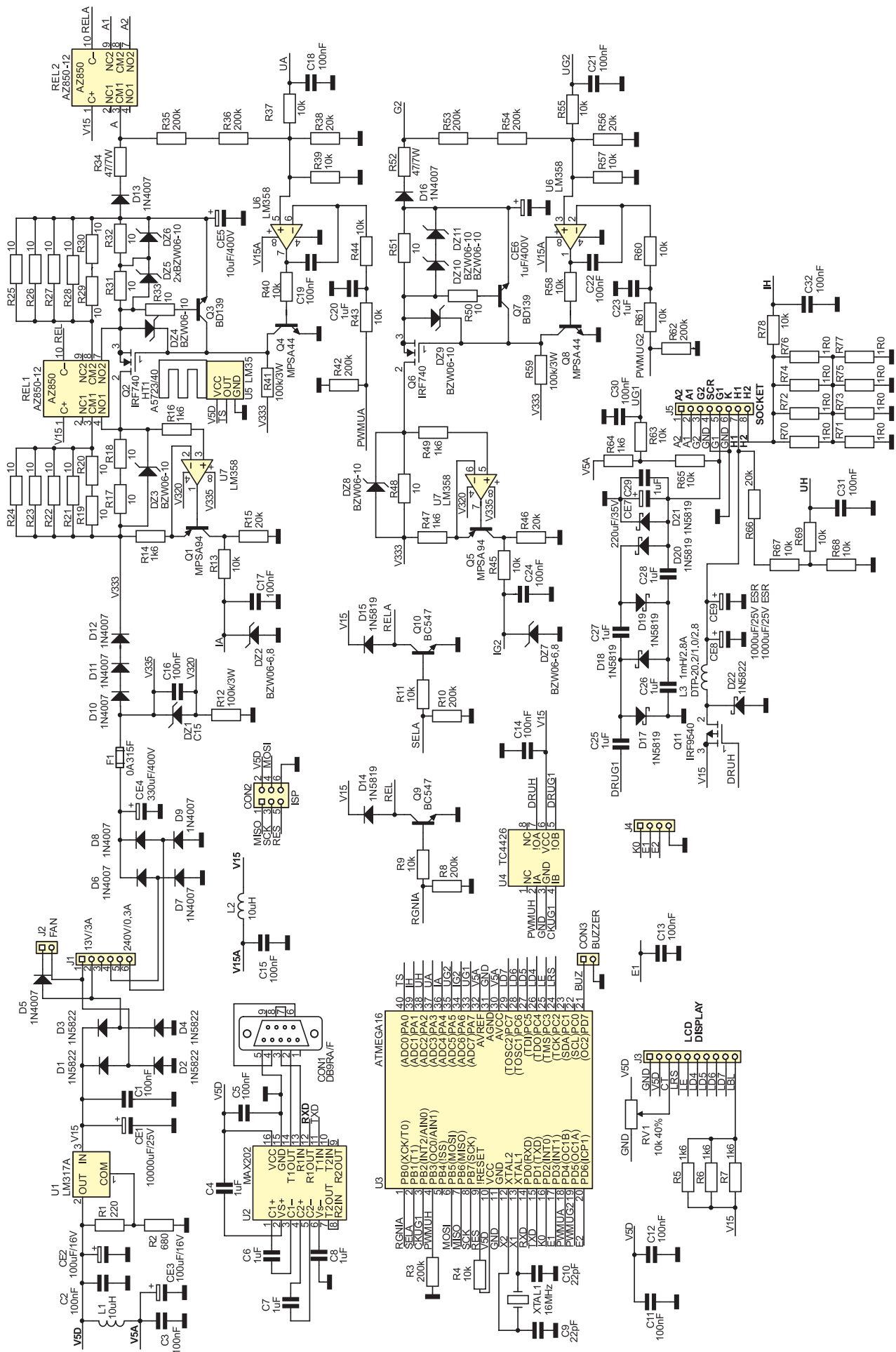
W zależności od typu mierzonej lampy zasilacz żarzenia może pracować w trybie, stabilizacji napięcia, np. dla lamp typu E, lub stabilizacji prądu np. dla lamp typu P.

Zasilacz żarzenia musi dostarczyć znacznego prądu w szerokim zakresie napięć wyjściowych. Dla ograniczenia strat mocy zdecydowano się na zasilacz impulsowy. Zasilacz żarzenia to przetwornica przepustowa (*buck converter*) obniżająca napięcie, pracująca ze zmiennym wypełnieniem. Dla zapewnienia wysokiej sprawności jako element kluczujący zastosowano tranzystor MOSFET (Q11) typu IRF9540 o niskiej rezystancji kanału ( $R_{dsON}=0,2\ \Omega$ ). Bramka tranzystora jest sterowana przez bufor typu TC4426 (U4), zapewniający bardzo szybkie przeładowywanie pojemności wejściowej. Elementem magazynującym energię jest dławik  $1\text{mH}/2,6\text{A}$  (L3). Kondensatory CE8, CE9 zapewniają filtrację napięcia wyjściowego. Z racji impulsowego charakteru pracy oraz dla zapewnienia wysokiej trwałości kondensatorów, konieczne jest stosowanie elementów o możliwie małej wartości rezystancji szeregowej ESR.

Sterowanie przetwornicą żarzenia zrealizowano programowo z maksymalnym wykorzystaniem zasobów sprzętowych mikrokontrolera. Przebieg PWMUH sterujący tranzystorem kluczującym jest tworzony

w wewnętrznym liczniku mikrokontrolera i dostępny na wyjściu OC0 (4-U4). Timer jest taktowany zegarem 16 MHz. Przy 256 możliwych stopniach wypełnienia dało to częstotliwość 62,5 kHz. Przebieg PWM o takiej częstotliwości nie powoduje słyszalnych efektów w dławiku oraz umożliwia zastosowanie dławika o „rozsądnej” wielkości. Indukcyjność 1 mH zapewnia przetwornicy przepustowej tryb pracy ciągłej w pełnym zakresie napięć wyjściowych, już przy obciążeniu rzędu 40 mA.

Przetwornica żarzenia jest zasilana niestabilizowanym napięciem o wartości około 15V. Napięcie to (V15) jest pobierane z kondensatora CE1 ładowanego z prostownika pełnokresowego złożonego z diod D1..D4. Przy takim napięciu zasilającym i 8-bitowej rozdzielczości przebiegu PWM uzyskano możliwość ustawiania napięcia żarzenia z krokiem wynoszącym około 60 mV. Prąd żarzenia jest mierzony pośrednio przez pomiar spadku napięcia na boczniku zbudowanym z rezystorów R70..R77. Spadek napięcia na tych rezystorach, po odfiltrowaniu w układzie R78/C32, jest doprowadzony do wejścia ADC1 procesora. Napięcie na wyjściu przetwornicy żarzenia jest dzielone w stosunku  $R68/(R66+R67)$  i po filtracji w układzie R69/C31 podane na wejście ADC2 procesora. Rzeczywiste napięcie zasilające grzejnik lampy jest równe napięciu wyjściowemu przetwornicy pomniejszonemu o spadek napięcia na boczniku do pomiaru prądu. Oprogramowanie miernika na bieżąco uwzględnia tę poprawkę.



Rys. 4. Schemat ideowy miernika

Zasilacz żarzenia może pracować w trybie stabilizacji napięcia lub prądu. W obu wypadkach pętla stabilizacji jest zrealizowana programowo. W trybie stabilizacji napięcia program stara się utrzymywać na grzejniku lampy wartość napięcia zadaną przez użytkownika. Grzejniki katod lamp większej mocy charakteryzują się stosunkowo niską rezystancją zimnego włókna i dużą bezwładnością cieplną. Dlatego po załączeniu żarzenia napięcie narasta liniowo z szybkością około 0,6 V/s. W trybie stabilizacji prądu żarzenia również natężenie liniowo narasta do zadanej wartości, po czym – niezależnie od rezystancji obciążenia – program stara się utrzymywać nastawiony prąd żarzenia.

Program sterujący wylacza przetwornicę, jeśli prąd wyjściowy przekroczy 3,8 A. Takie wylaczenie jest sygnalizowane dźwiękiem i odpowiednim znacznikiem na wyświetlaczu LCD. Grzejniki niektórych lamp, np. popularnej triody 6N13S, potrafią pobierać w pierwszych sekundach ponad 3,5 A przy nominalnym prądzie żarzenia 2,5 A. Jeśli przy pierwszym włączeniu grzejnik takiej lampy spowoduje zadziałanie zabezpieczenia nadprądowego, to należy próbę ponowić. Zazwyczaj przy drugim lub trzecim załączeniu grzejnik jest już na tyle podgrzany, że nie przeciąża przetwornicy.

Przez kołki (igły) żarzenia płynie stosunkowo duży prąd, dlatego w tym miejscu zdarzają się problemy ze stykami w podstawkach. Odłączenie obciążenia w trybie stabilizacji prądu normalnie skutkuje narastaniem napięcia na wyjściu do maksymalnej wartości. Jeśli w takim stanie nastąpi ponowne połączenie, np. wskutek poruszenia lampy w podstawie, to grzejnik ulegnie natychmiastowemu przepaleniu. Dlatego w trybie stabilizacji prądu procesor nie zmienia wypełnienia przebiegu PWM, jeśli prąd wyjściowy spada poniżej 5 mA, co wskazuje na odłączenie obciążenia.

Należy jednak zwrócić uwagę, że kondensatory na wyjściu przetwornicy impulsowej pracującej bez obciążenia naładują się do kilkunastu woltów. Z tego powodu należy unikać odłączania i dołączania grzejnika lampy przy niezerowych nastawach napięcia i prądu żarzenia lub gdy miernik wskazuje obecność napięcia na zaciskach H1/H2.

**Zasilacz siatki pierwszej Ug1.** Siatka pierwsza wymaga ujemnego potencjału względem katody. Katoda lampy w mierniku jest zawsze połączona z masą przyrządu, dlatego konieczne było wytworzenie ujemnego napięcia o precyzyjnie regulowanej wartości w zakresie od 0 do -24 V.

Prąd pobierany przez siatkę pierwszą jest znikomy i dla sprawnej lampy nie przekracza kilkunastu mikroamperów. Dzięki temu można było zrezygnować z dodatkowego uzwojenia w transformatorze sieciowym i zbudować zasilacz Ug1 jako powielacz odwracający biegunowość napięcia. Źródłem impulsów dla powielacza jest wyjście CKUG1 procesora (3-U3).

Sygnał o stałej częstotliwości 5 kHz z wyjścia procesora jest podany na jeden z dwóch negujących buforów zawartych w układzie U4 (TC4426). Na wyjściu U4 impulsy osiągają amplitudę około 15 V i mają szybko narastające i opadające zbocza. Z wyjścia układu U4 przebieg prostokątny jest podawany na klasyczny układ powielacza zbudowanego z kondensatorów C25...C29 i diod D17...D20. Napięcie wyjściowe jest dodatkowo filtrowane przez kondensatory CE7. Napięcie siatki pierwszej jest bardzo ważnym parametrem podczas pomiaru lampy, zatem należało szczególnie starannie zadbać o jego stabilność i dokładność.

Pomiar napięcia zrealizowano na nieco nietypowym dzielniku R64/R65 opartym o napięcie referencyjne. Ten prosty zabieg umożliwił przeskalowanie z równoczesnym przeniesieniem napięcia pomiarowego do zakresu napięć dodatnich. To pozwoliło podać napięcie z dzielnika po odfiltrowaniu w R63/C30 od razu na wejście ADC7 (33U3).

Regulacja i stabilizacja napięcia wyjściowego jest zrealizowana programowo przez „politykanie” impulsów taktujących powielacz. Procesor cyklicznie odczytuje napięcie na wejściu ADC7, przelicza i porównuje wynik z zadaną przez użytkownika wartością. Jeśli ujemne napięcie przekracza wartość odniesienia, to najbliższy impuls nie jest wystawiany.

Największym zagrożeniem dla zasilacza siatki pierwszej jest zwarcie międzyelektrodowe w czasie pomiaru. Nawet w lampie sprawdzonej omomierzem przed pomiarem może nastąpić zwarcie spowodowane zmianą geometrii elektrod po nagraniu lampy. W przypadku zwarcia siatki pierwszej i drugiej przy pomiarze pentody lub siatki pierwszej i anody podczas pomiaru triody na wyjście zasilacza Ug1 dostaje się pełne napięcie Ua lub Ug2, którego wartość może dochodzić do 300 V. Dla zabezpieczenia zasilacza Ug1 zastosowano diodę D21, która zwiera dodatnie napięcie doprowadzone do wyjścia Ug1. Prąd zwarcia jest ograniczony do bezpiecznej wartości przez rezystory antyparazytowe o rezystancji około 10 kΩ montowane bezpośrednio przy podstawkach lamp.

**Zasilacz anodowy Ua.** Źródłem napięcia dla zasilacza anodowego i siatki drugiej jest uzwojenie wtórne transformatora sieciowego o napięciu znamionowym 240 VAC. Po wyprostowaniu w mostku złożonym z diod D6...D9 i wygładzeniu kondensatorem CE4 uzyskujemy napięcie około 335 V (linia V335). Stabilizator równoległy zbudowany na diodzie Zenera DZ1 i rezystorze R12 dostarcza potencjału niższego o 15 V (linia V320), który służy do zasilania wzmacniaczy U7A/B (LM358). Na tych elementach zbudowano obwody pomiaru prądu.

Układy typu LM358 są tanie i dostatecznie dobre w tym zastosowaniu, ale wymagają, aby napięcie na wejściach wzmacniacza było przynajmniej o 1,5 V niższe od dodatniego bieguna zasilania (linia V333). Konieczny spadek napięcia zapewniają diody D10...D12. Ostatnim

wspólnym elementem zasilacza anodowego i siatki drugiej jest filtr L2/C15. Uzyskanym na jego wyjściu napięciem V15A są zasilane wzmacniacze operacyjne U6A/B (LM358).

Zasilacz anodowy zbudowano jako liniowy stabilizator z szeregowym tranzystorem regulacyjnym Q2 typu MOSFET. Bramka tranzystora Q2 jest wstępnie polaryzowana przez rezystor R41. Wysokonapięciowy tranzystor Q4 umożliwia wzmacniaczowi błędu (7-U6) sterowanie potencjałem bramki. Napięciem odniesienia dla wzmacniacza błędu jest podwójnie scalaowany (R43/C20 i R44/C19) przebieg o zmiennym wypełnieniu PWMUA. Pomniejszone 61-krotnie w dzielniku R35+R36/R38||R39 wyjściowe napięcie zasilacza jest podane na nieodwracające wejście wzmacniacza błędu (5-U6). To samo napięcie po odfiltrowaniu w R37/C18 jest przez wejście ADC3 (37-U3) mierzone przez mikrokontroler i po przeliczeniu wyświetlane na LCD.

Pomiar prądu w linii o wysokim potencjale zawsze sprawia problemy, a tutaj mamy napięcie regulowane w zakresie 0...300 V! Inspiracją zastosowanego rozwiązania był układ scalony MAX471. Układ pomiarowy jest dyskretną, wysokonapięciową realizacją połówki tego układu. Dokładny opis można znaleźć w karcie katalogowej układu MAX471. W skrócie: spadek napięcia na boczniku pomiarowym (R17+R18) wywołuje proporcjonalny prąd kolektora Q1. Napięcie, jakie wytworzy ten prąd na rezystorze R15, jest filtrowane w R13/C17 i podane na wejście ADC1 (39-U3).

W mierniku układ pomiaru prądu anodowego przeniesiono przed regulator. Dzięki temu uproszczone zostało zasilanie i można z jednego napięcia zasilać układy pomiarowe dla kilku linii. Nie ma też problemów z pomiarem prądu przy niskich napięciach wyjściowych.

Obwód polaryzacji bramki R41/Q4 jest zasilany sprzed bocznika i nie wpływa na wynik pomiaru. Prąd bramki jest pomijalnie mały (max 0,1  $\mu$ A), zatem można założyć, że prąd wpływający do układu regulacji (który mierzymy) jest równy prądowi wypływającemu do anody. Niestety, prądu dzielnika do pomiaru napięcia wyjściowego nie da się pominąć, bo wynosi on prawie 0,74 mA przy 300 V i w dodatku zależy liniowo od napięcia anodowego. Dlatego procesor na bieżąco odejmuje prąd dzielnika i wyświetla na LCD dokładnie wartość prądu wypływającego do anody mierzonej lampy.

Podstawowy zakres pomiarowy wynosi 20,00 mA. Pomiar lamp większej mocy wymagał wprowadzenia dodatkowego zakresu pomiarowego 200,00 mA. Przełączenie zakresu polega na dołączeniu równoległe do bocznika 20  $\Omega$  (R17+R18) dodatkowej rezystancji 2,222  $\Omega$  (R19...R24) za pomocą przełącznika REL1. Przełącznik jest załączany przez pro-

cesor, gdy prąd anodowy przekroczy 19 mA i wyłączany, gdy spadnie poniżej 17 mA.

Na wyjściu zasilacza anodowego dodano przełącznik REL2, którego styki w lampach z podwójnym systemem elektrod podłączają napięcie anodowe do pierwszej (A1) lub drugiej (A2) anody. Dzięki temu możliwy jest pomiar lampy podwójnej bez wyciągania z podstawki lub przełączania kabli.

W zasilaczu anodowym zastosowano szereg rozwiązań, których zadaniem jest ochrona obwodów miernika przed uszkodzeniem. Pierwszym elementem jest szybki bezpiecznik F1 wspólny dla zasilacza anodowego i siatki drugiej. Kolejny to transil DZ3, którego zadaniem jest ochrona rezystorów bocznika pomiarowego. Dioda Zenera DZ4 nie pozwala na przekroczenie dopuszczalnej wartości napięcia U<sub>gs</sub> tranzystora Q2. Tranzystor Q3 z zestawem przełączanych boczników R31+R32 i R25...R30 ogranicza prąd zwarcia do około 350 mA. Transile DZ5 i DZ6 chronią boczniki zabezpieczenia nadprądowego. Dioda D13 uniemożliwia „wpływanie” prądu do wyjścia, co może się zdarzyć, jeśli anoda lampy zewrze się z siatką drugą. Rezystor R34 ogranicza prąd zwarcia, zanim zadziałają pozostałe zabezpieczenia. Należy zaznaczyć, że transile DZ3, DZ5 i DZ6 pracują nietypowo w kierunku przewodzenia. Różne inne typy diod nie sprawdziły się w tym miejscu. Transil DZ2 pracuje normalnie, w kierunku zaporowym i chroni wejście procesora w przypadku uszkodzenia tranzystora Q1.

Miernik jest w zasadzie przeznaczony do pomiaru lamp elektronowych w cyklach automatycznych, ale wprowadzono możliwość wykorzystania bloków miernika jako zasilacza: anodowego, siatkowego i żarzenia. W tym trybie moc wydzielana w tranzystorach wykonawczych (Q2, Q6) może spowodować ich przegrzanie. Dlatego na radiatorze jest zamontowany czujnik temperatury typu LM35DZ. Po przekroczeniu bezpiecznej temperatury radiatora działanie miernika jest blokowane do czasu ostygnięcia.

**Zasilacz siatki drugiej Ug2.** Regulowany zasilacz siatki drugiej jest zbudowany analogicznie jak zasilacz anodowy, z tym że pomiar prądu wyjściowego odbywa się na jednym zakresie 40,00 mA. Niezależnie od zabezpieczeń sprzętowych program sterujący wyłącza oba zasilacze, gdy prąd anodowy przekroczy 240 mA lub siatkowy wzrośnie ponad 48 mA. Zadziałanie zabezpieczenia jest sygnalizowane dźwiękiem oraz znacznikiem na wyświetlaczu LCD.

Napięcia wyjściowe obu zasilaczy są zadawane przez mikrokontroler, a stabilizację realizuje wzmacniacz błędów U6. Zbyt szybkie narastanie napięcia anodowego mogłoby spowodować zadziałanie zabezpieczenia nadprądowego. Dla uniknięcia zakłóceń w pracy miernika, program liniowo zwiększa

i zmniejsza napięcia referencyjne. Dzięki temu szybkość narastania i opadania napięcia na wyjściach zasilaczy jest ograniczona do około 180 V/s.

**Blok sterowania.** Mikrokontroler ATmega16 jest taktowany zewnętrznym rezonatorem kwarcowym o częstotliwości 16 MHz. Na płytce drukowanej znalazło się miejsce dla 6-stykowego złącza ISP, które umożliwia pierwsze zaprogramowanie i późniejszą aktualizację oprogramowania miernika.

Do zasilania układów miernika zastosowano popularny scalony stabilizator LM317A (U1). Napięcie zasilania jest równocześnie napięciem odniesienia dla wewnętrznego przetwornika analogowo-cyfrowego. Jako przetworniki cyfrowo-analogowe pracują dwa wyjścia PWM (PWMUA i PWMUG2). Ich dokładność również zależy od napięcia zasilającego, dlatego ważne jest ustawienie dokładnej wartości tego napięcia.

Napięcie na wyjściu LM317A jest ustalane rezystorami R1/R2 na 5,12 V. Tolerancja rezystorów i wewnętrznego napięcia odniesienia LM317A powoduje kilkudziesięciomiliwoltowy rozrzut napięcia wyjściowego. Najczęściej uzyskiwano 5,09 V i taka wartość została zadeklarowana w programie, zatem aby osiągnąć maksymalną dokładność miernika, należy ustawić linię V5D na takim potencjale. Napięcie wyjściowe LM317A zasila wszystkie cyfrowe układy miernika (V5D). Napięcie zasilające układy analogowe (V5A) jest dodatkowo filtrowane w L1/(C3+CE3).

Miernik wyposażono w 4-wierszowy wyświetlacz alfanumeryczny LCD, po 20 znaków w wierszu. Wyświetlane są na nim aktualne nastawy i wyniki pomiarów. Mikrokontroler steruje wyświetlaczem LCD poprzez cztery linie danych LD4...LD7 i dwie linie sterujące LE i LRS. Dla poprawnej pracy wyświetlacza konieczne jest ustawienie kontrastu rezystorem nastawnym RV1.

Miernik sygnalizuje dźwiękiem załączenie, zakończenie cyklu pomiarowego oraz awaryjne wyłączenie na skutek zadziałania zabezpieczeń. Źródłem dźwięku jest przetwornik piezoelektryczny podłączony do złącza CON3. Procesor generuje przebieg prostokątny o częstotliwości 500 Hz. Do złącza CON3 należy podłączać sygnalizatory **bez wbudowanego generatora**.

Komunikację z komputerem umożliwia dwukierunkowy port szeregowy. Układ U2 typu MAX202 z kondensatorami C5...C8 dokonuje konwersji napięć TTL/RS232C.

Do przeglądania katalogu lamp, ustawiania napięć i prądów służy enkoder obrotowy. Enkoder należy podłączyć do pinów E1, E2 i GND złącza J4. Miernik jest wyposażony w dodatkowy przycisk podłączany do pinów K0 i GND. Organizacja wyświetlacza, sposób użycia enkodera i przycisku zostaną szczegółowo omówione w instrukcji obsługi.

Miernik jest zasilany z 230 VAC przez gniazdo IEC z typowym przewodem kom-

puterowym zakończonym wtyczką sieciową. Zmniejszenia liczby przewodów i końcówek połączonych z siecią energetyczną osiągnięto przez zastosowanie gniazda zespolonego. W jednej obudowie oprócz gniazda zasilania znajduje się wyłącznik sieciowy z lampką sygnalizującą załączenie, oprawka bezpiecznikowa, czasem nawet z miejscem na zapasowy bezpiecznik. Najczęściej w gniazdach tego typu niemożliwa jest wymiana wkładki topikowej bez odłączenia przewodu zasilającego. Do zabezpieczenia obwodu pierwotnego transformatora przewidziano zwłoczną wkładkę topikową 800 mA. Dla zapewnienia bezpieczeństwa użytkowania w zasilaczu zastosowano sieciowy transformator separujący. Wprawdzie było możliwe zastosowanie zasilacza bez izolacji galwanicznej, wykorzystującego bezpośrednio napięcie sieciowe, ale zaważyły względy bezpieczeństwa użytkowania. Niewielkie wymiary obudowy wymusiły zastosowanie transformatora na rdzeniu toroidalnym. Bezpośrednio nad transformatorem znajdują się podstawki lamp wraz z okablowaniem. Dlatego przy zakupie transformatora należy zwrócić uwagę, aby jego średnica nie przekraczała 90 mm, a wysokość 40 mm.

Napięcie 13,3 VAC z uzwojenia wtórnego jest podawane na prostownik pełnookresowy zbudowany z diod Schottky’ego D1...D4. Takie rozwiązanie zmniejszyło spadek napięcia i ograniczyło moc rozpraszaną na diodach przy zasilaniu maksymalnym prądem żarzenia (2,5...3 A). Wyprostowane napięcie jest filtrowane przez kondensatory CE1 i C1. Niestabilizowane napięcie o wartości ok. 15 V (linia V15) zasila stabilizator +5 V (U1), bufor (U4), cewki przełączników (REL1, REL2) i podświetlenie wyświetlacza LCD.

To samo napięcie po filtracji w L2/C15 zasila wzmacniacze operacyjne (U6) w regulatorach napięcia anodowego i siatki drugiej (linia V15A).

**Tomasz Gumny, EP**  
**tomasz.gumny@ep.com.pl**  
**Adam Tatus**  
**atatus@poczta.onet.pl**