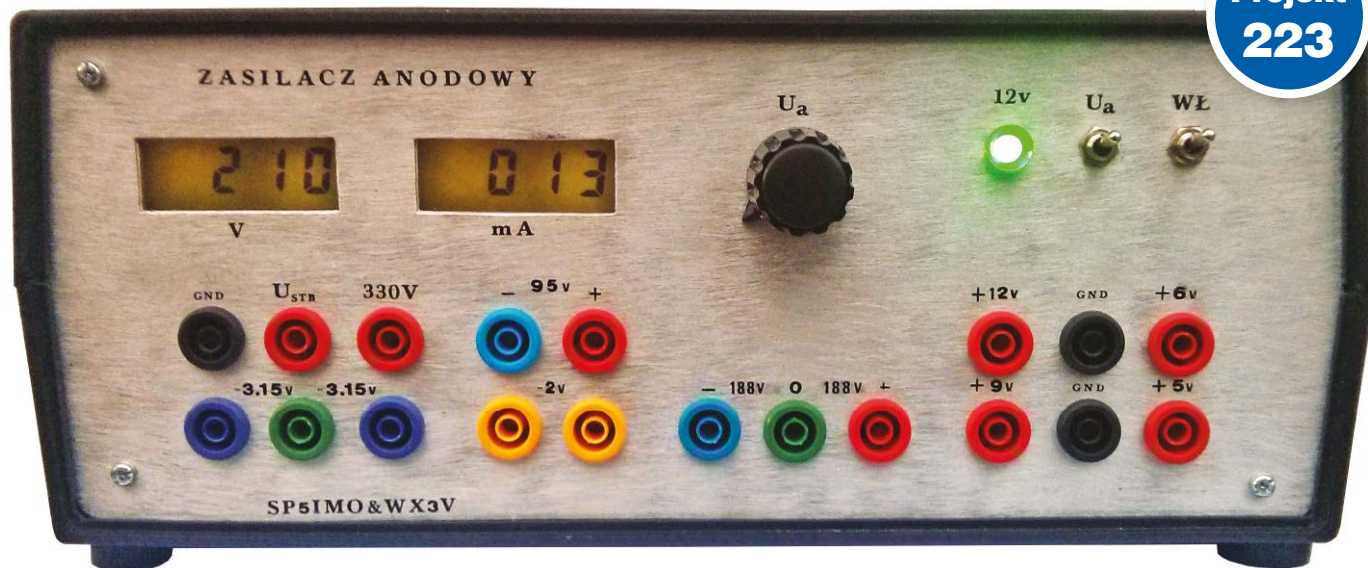


Dział „Projekty Czytelników” zawiera opisy projektów nadesłanych do redakcji EP przez Czytelników. Redakcja nie bierze odpowiedzialności za prawidłowe działanie opisywanych układów, gdyż nie testujemy ich laboratoryjnie, chociaż sprawdzamy poprawność konstrukcji. Prosimy o nadsyłanie własnych projektów z modelami (do zwrotu). Do artykułu należy dołączyć podpisane oświadczenie, że artykuł jest własnym opracowaniem autora i nie był dotychczas nigdzie publikowany. Honorarium za publikację w tym dziale wynosi 250,- zł (brutto) za 1 stronę w EP. Przesyłanych tekstów nie zwracamy. Redakcja zastrzega sobie prawo do dokonywania skrótów.

Projekt
223



Zasilacz anodowy

Współcześnie konstruowanie zasilacza laboratoryjnego jest przedsięwzięciem zupełnie nieuzasadnionym ekonomicznie chyba, że ma on być produkowany w tysiącach egzemplarzy. Jednak oprócz chęci bogacenia się, źródłem ludzkiego działania są również różnorodne pasje i żądze stanowiące formę rozładowania gromadzących się pozytywnych lub negatywnych emocji. Zatem chcąc zaspokajać indywidualną potrzebę konstruowania urządzeń lampowych, trzeba mieć zasilacz anodowy, a ten łatwiej jest wykonać samodzielnie, niż kupić i/lub wyremontować.

Przystępując do projektu w pierwszym rzędzie trzeba określić jego założenia, czyli sposób i/lub materiały użyte do jego realizacji oraz parametry budowanego urządzenia. Jeśli zdecydujemy się na konstrukcję lampową i będziemy chcieli, aby wydajność zasilacza przekraczała 300 mA, to pierwsze problemy pojawiają się już przy wyborze diody (w zasadzie duodiody) prostowniczej. Popularne lampy 5U4 lub GZ34 (5AR4) [1, 2] mają zbyt małą wydajność katody, aby sprostać poczynionym założeniom, a zastosowanie ich pary wymagałoby kuriozalnie dużej mocy (19...30 W) przeznaczonej na ich żarzenie. Poza tym, duodiody prostownicze wymagają indywidualnego obwodu żarzenia, ponieważ ich katody są silnie spolaryzowane dodatnio w stosunku do ujemnej masy zasilanych układów, a to stanowi istotne ograniczenie w wyborze dostępnych transformatorów.

W układzie lampowego, szeregowego stabilizatora [3] nie występują trudne

do zdobycia elementy, gdyż jako pentodę, na której jest regulowany spadek napięcia, można użyć lamp stosowanych w układach odchyłania telewizorów kolorowych CRT, np. EL509 [4] lub bardziej popularną 6П45С [5]. Niestety, również i te lampy wymagają indywidualnego obwodu żarzenia konsumując, odpowiednio: 12,6 i 15,8 W.

Reasumując – regulowany, lampowy zasilacz 330 V/300 mA (100 W) będzie zużywał „na własne potrzeby” 34...48 W i nawet, jeśli będzie źródłem takiej samej energii dostępnej do żarzenia zewnętrznego układu, to i tak 20...25% pozostanie „nieprzydatne” z punktu widzenia jego użytkownika. Ponadto, zastosowany transformator będzie musiał być wyposażony w aż cztery uzwojenia wtórne: uzwojenie anodowe i trzy uzwojenia żarzenia. A przecież podczas uruchamiania urządzeń lampowych zasilacz powinien być w stanie dostarczyć jeszcze co najmniej ujemnego napięcia do ustawiania punktów

pracy lamp stosowanych w stopniach mocy oraz napięcia symetrycznego „względem masy” do zasilania układów kaskadowych. Dla zaspokojenia potrzeb „techniki małej częstotliwości” przydałoby się również stałoprądowe źródło napięcia żarzenia dla lamp pracujących w przedwzmacniaczach. Uważam, że listę „potrzeb” trzeba zamknąć w tym miejscu, bowiem można ją dowolnie wydłużać, a jej kolejne, dodane punkty będą wykorzystywane coraz rzadziej i w coraz bardziej wysublimowanych układach.

Biorąc pod uwagę rodzaj i liczbę źródeł napięć, ich wydajność prądową oraz zakres regulacji, racjonalnym wydaje się wykorzystanie elementów półprzewodnikowych do konstrukcji zasilacza anodowego. Zastosowanie lamp byłoby związane ze znacznie niższą sprawnością energetyczną urządzenia oraz wyższymi kosztami budowy i eksploatacji. Poza tym bardzo trudnym byłoby skonstruowanie z ich pomocą niskonapięciowych źródeł posiadających sporą wydajność prądową (ok. 1,5 A).

Opisy układów

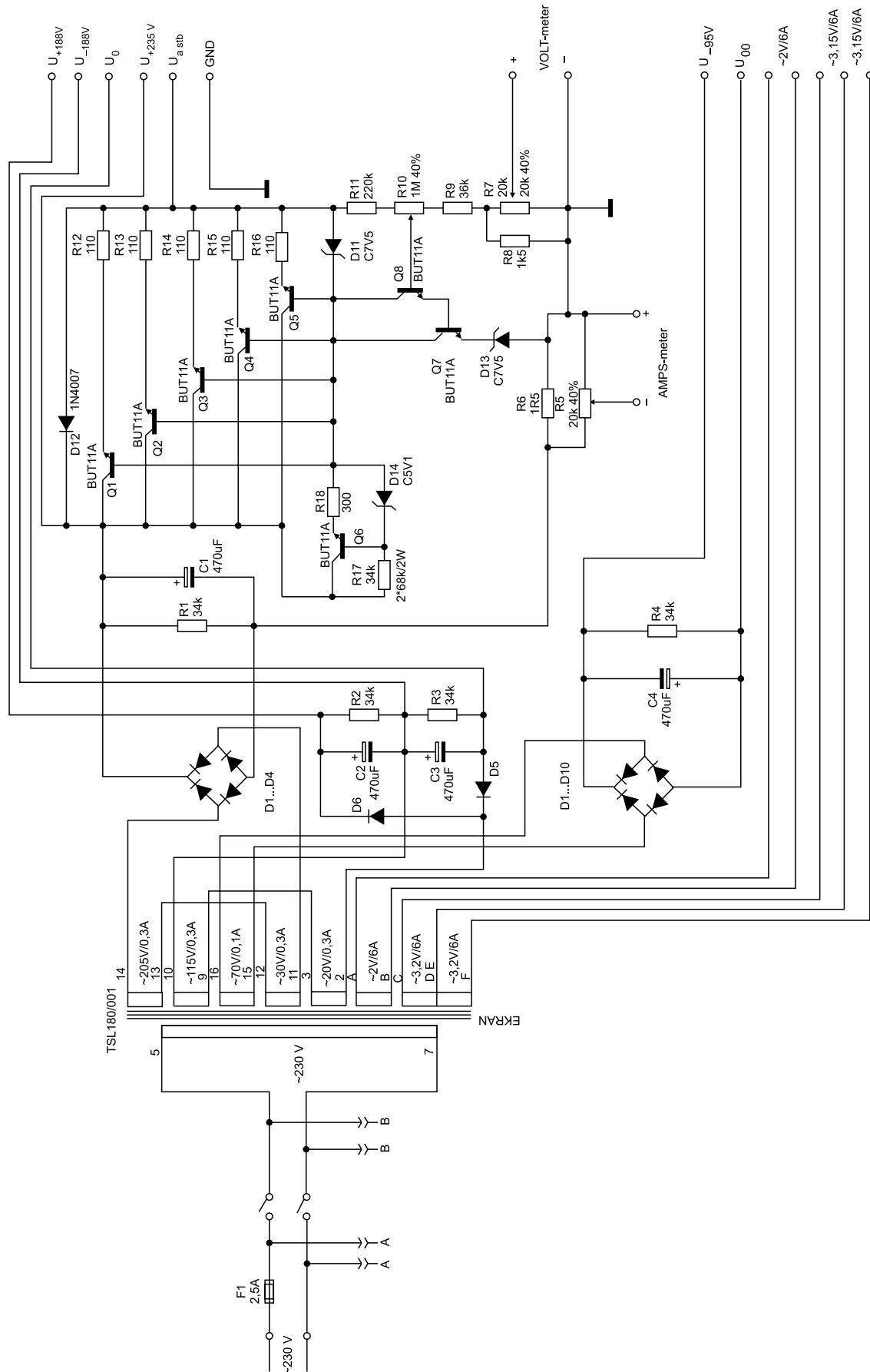
Zasilacz wysokiego napięcia

Konstrukcja tego fragmentu zasilacza jest ściśle związana z dostępnością możliwych najbardziej uniwersalnych transformatorów o wystarczająco dużej mocy. Wydaje się, że jednym z najlepszych jest TSL180/001 mający dość dużą liczbę uzwojeń wtórnych mających ten sam prąd znamionowy

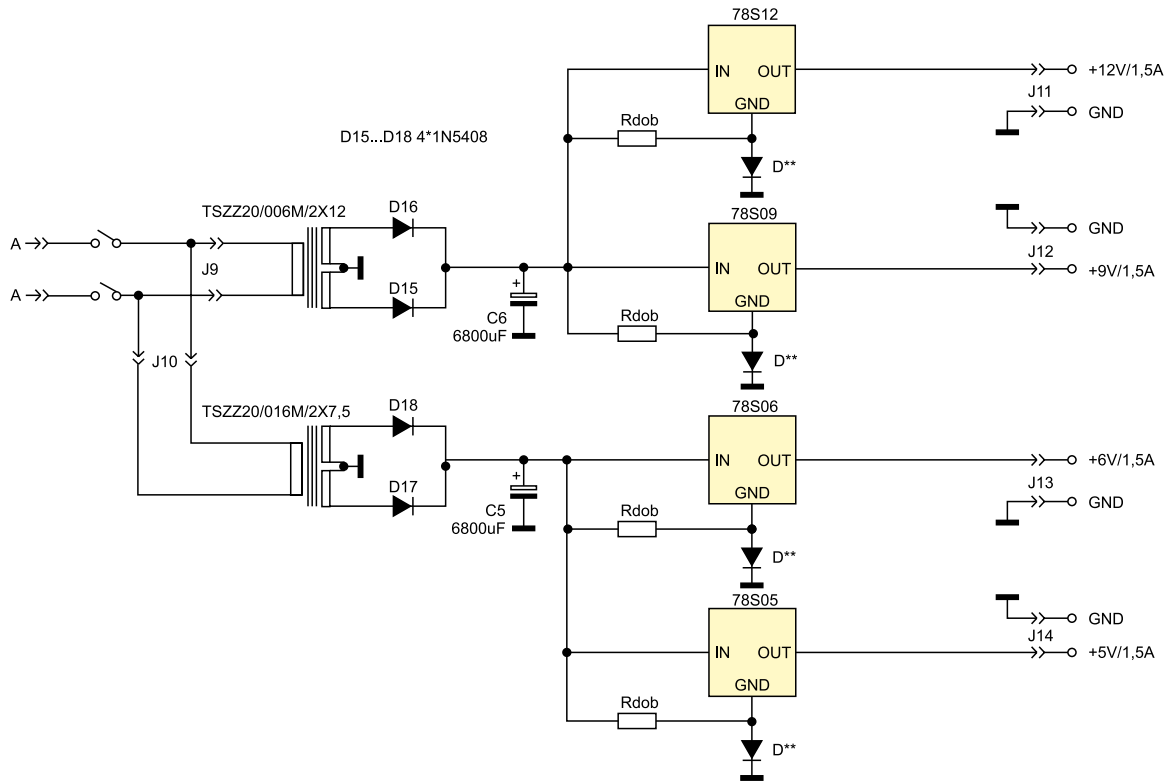
(300 mA), co umożliwia ich szeregowe łączenie, a przez to dobór pożądanego napięcia wyjściowego. W prezentowanym układzie (rysunek 1) uzwojenia wtórne połączone

w taki sposób, aby uzyskać napięcia zmienne 235 V (uzwojenia 205 i 30 V) oraz 135 V (uzwojenia 115 i 20 V), 70 V, 6,3 V i 2 V. Pierwsze i trzecie napięcie, wyprostowano

za pomocą mostka Graetza, a drugie z nich w układzie podwajacza napięcia. Do budowy każdego z nich zastosowano diody prostownicze 1N5408 (D1...D10). Do filtrowania



Rysunek 1. Schemat części wysokonapięciowej zasilacza



Rysunek 4. Schemat stałoprądowych zasilaczy napięcia żarzenia – zasilaczy niskiego napięcia

wykorzystanie prezentowanego zasilacza, a jedynym ograniczeniem jest możliwość przebicia izolacji między uzwojeniami transformatorów o miernej jakości. Należy zaznaczyć, że przy tego rodzaju połączeniach trudno jest mówić o stabilizowaniu tak wytworzonego napięcia, aczkolwiek wciąż realne jest jego regulowanie.

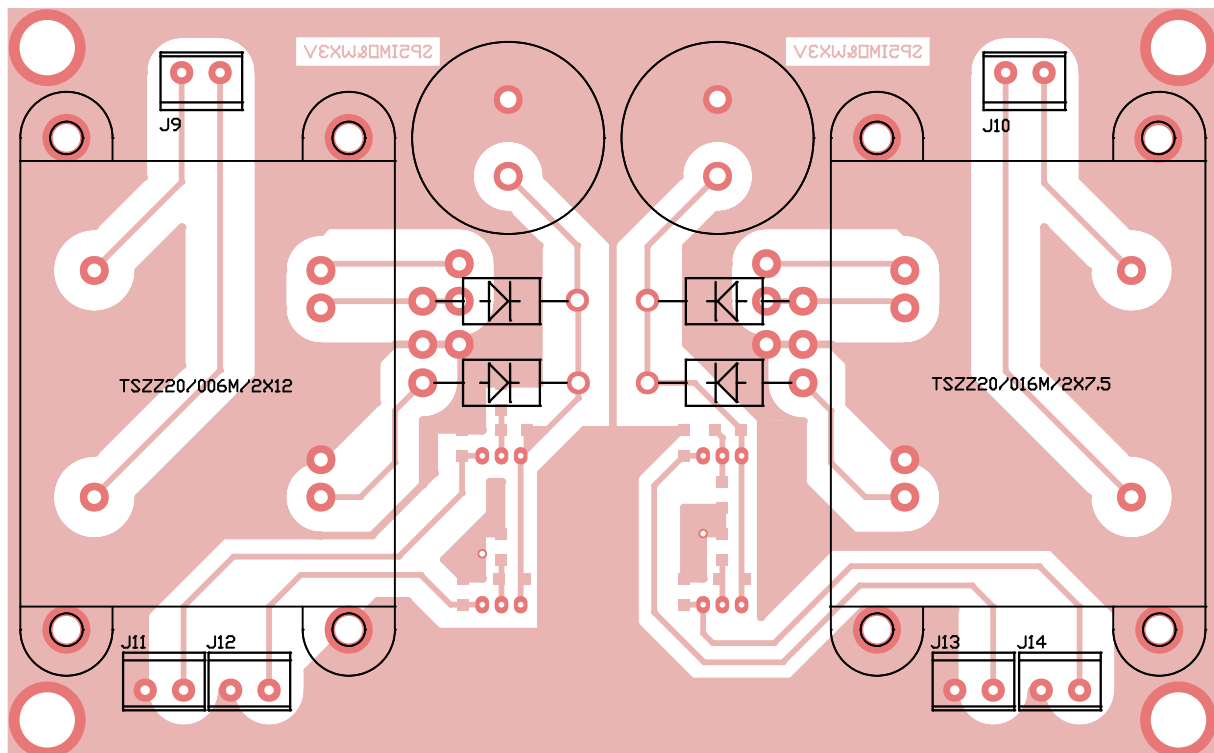
W prezentowanym układzie również napięcia żarzenia lamp nie są w jakikolwiek

sposób połączone z masą zasilacza, zatem można je pozostawić niepodłączone lub dowolnie łączyć z wybranymi biegunami w uruchamianym układzie. Cóż, owa dowolność jest ograniczona jedynie napięciem stałym, które może występować pomiędzy żarnikiem i katodą stosowanych lamp. „Środek” napięcia żarzenia ~6,3 V może być łączony z masą lub innym wybranym potencjałem w celu redukcji przydźwięku

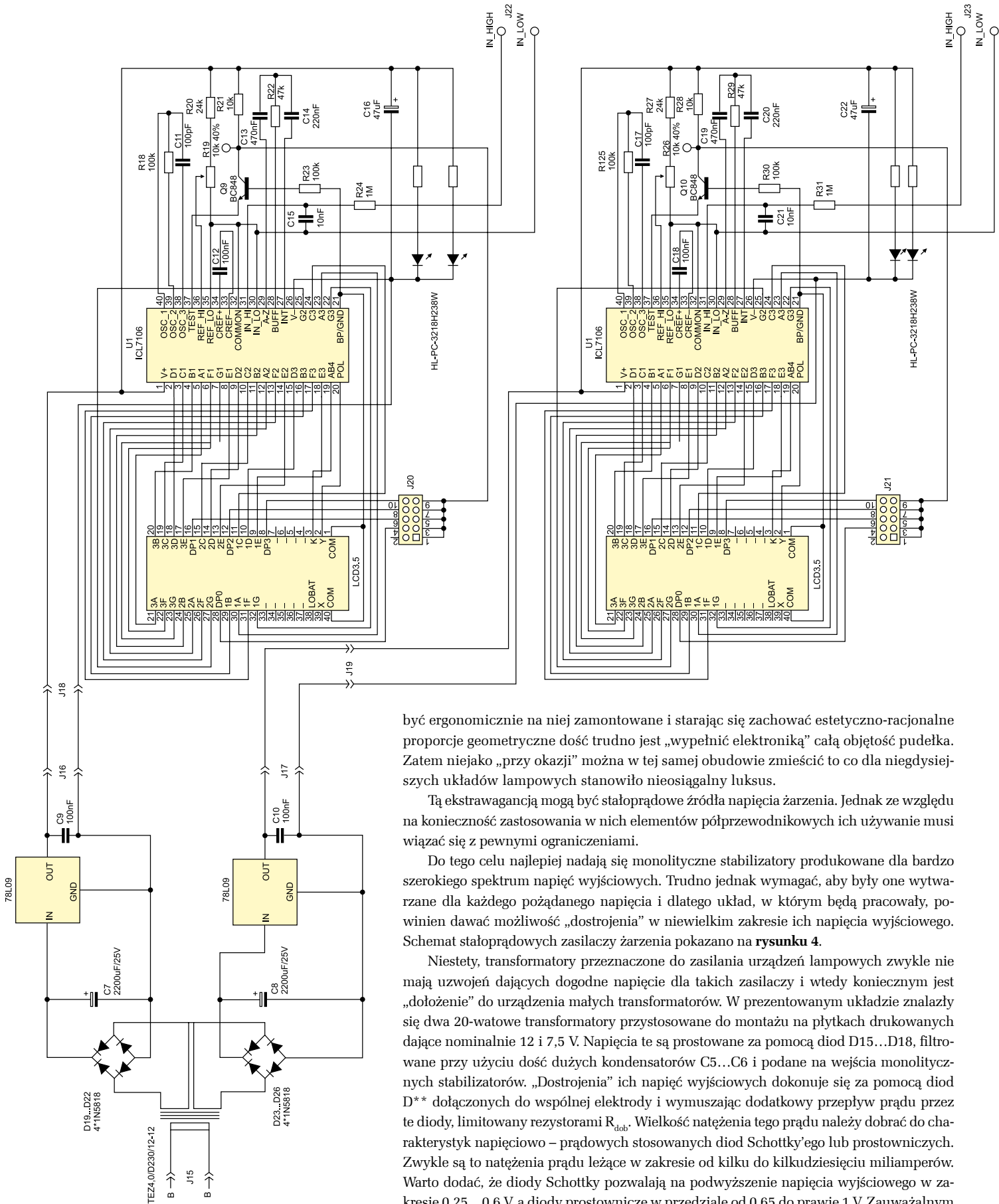
(„brum’u”) spowodowanego sprzężeniami występującymi podczas zmiennoprądowego grzania katod.

Zasilacz niskiego napięcia

Skutkiem wielkości transformatorów stosowanych w układach lampowych, zasilacze anodowe muszą być montowane w nieco „głębszych” obudowach. Chcąc zmieścić na płycie czołowej wszystko to co powinno



Rysunek 5. Płytki zasilacza niskich napięć



być ergonomicznie na niej zamontowane i starając się zachować estetyczno-racjonalne proporcje geometryczne dość trudno jest „wypełnić elektroniką” całą objętość pudełka. Zatem niejako „przy okazji” można w tej samej obudowie zmieścić to co dla niedysięszych układów lampowych stanowiło nieosiągalny luksus.

Tą ekstrawagancją mogą być stałoprądowe źródła napięcia żarzenia. Jednak ze względu na konieczność zastosowania w nich elementów półprzewodnikowych ich używanie musi wiązać się z pewnymi ograniczeniami.

Do tego celu najlepiej nadają się monolityczne stabilizatory produkowane dla bardzo szerokiego spektrum napięć wyjściowych. Trudno jednak wymagać, aby były one wytwarzane dla każdego pożądanego napięcia i dlatego układ, w którym będą pracowały, powinien dawać możliwość „dostrojenia” w niewielkim zakresie ich napięcia wyjściowego. Schemat stałoprądowych zasilaczy żarzenia pokazano na **rysunku 4**.

Niestety, transformatory przeznaczone do zasilania urządzeń lampowych zwykle nie mają uzwojeń dających dogodnie napięcie dla takich zasilaczy i wtedy koniecznym jest „dłożenie” do urządzenia małych transformatorów. W prezentowanym układzie znalazły się dwa 20-watowe transformatory przystosowane do montażu na płytkach drukowanych dające nominalnie 12 i 7,5 V. Napięcia te są prostowane za pomocą diod D15...D18, filtrowane przy użyciu dość dużych kondensatorów C5...C6 i podane na wejścia monolitycznych stabilizatorów. „Dostrojenia” ich napięć wyjściowych dokonuje się za pomocą diod D** dołączonych do wspólnej elektrody i wymuszając dodatkowy przepływ prądu przez te diody, limitowany rezystorami R_{dob} . Wielkość natężenia tego prądu należy dobrać do charakterystyk napięciowo – prądowych stosowanych diod Schottky’ego lub prostowniczych. Zwykle są to natężenia prądu leżące w zakresie od kilku do kilkadziesiąciu miliamperów. Warto dodać, że diody Schottky pozwalają na podwyższenie napięcia wyjściowego w zakresie 0,25...0,6 V, a diody prostownicze w przedziale od 0,65 do prawie 1 V. Zauważalnym ograniczeniem pokazanych stałoprądowych źródeł napięcia żarzenia jest to, że jeden z ich

Rysunek 6. Schemat układu pomiarowego regulowanego napięcia i natężenia prądu czerpanego z tego źródła

biegunów musi być dołączony do masy. W przeciwnym wypadku znaczne różnice napięć, jakie mogą występować pomiędzy katodą i żarzeniem (szczególnie w lampowych wzmacniaczach mocy) mogą być przyczyną uszkodzenia stabilizatorów monolitycznych.

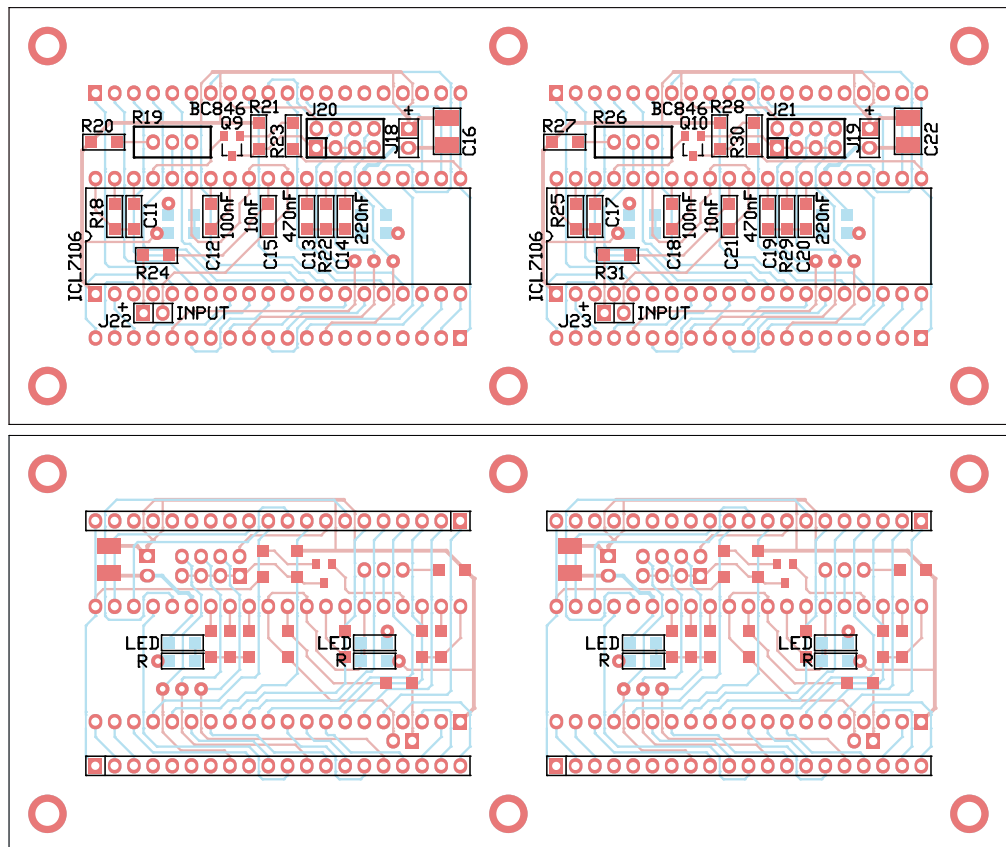
Dość istotnym jest to, że według danych katalogowych napięcie żarzenia lamp może wahać się w dość szerokim zakresie. Zatem mniej ortodoksyjni konstruktorzy mogą pominąć montaż rezystorów R_{dob} , a w miejsce diod włutować zwory (0 Ω). Płytkę zasilacza niskich napięć pokazano na **rysunku 5**.

Płytki zasilacza niskich i prostowników wysokich napięć mają te same wymiary i jednakowy rozstaw otworów mocujących. Zatem przy zastosowaniu wsporników mogą być one zamontowane jedna nad drugą. Ich wzajemna odległość jest bardziej uzależniona od wielkości radiatorów stosowanych do chłodzenia monolitycznych stabilizatorów niż od wielkości napięć występujących na płycie prostowników wysokiego napięcia, aczkolwiek daleko idąca „miniaturyzacja” nie jest wskazana.

Układ do pomiaru napięcia i natężenia prądu regulowanego zasilacza wysokiego napięcia

Chcąc mieć zasilacz wizualnie pasujący do stylu lat 50-tych XX w. wypadałoby wyposażać go w mierniki wskazówkowe – jeden do pomiaru regulowanego napięcia, a drugi do pomiaru poboru prądu anodowego. Problem jednak w tym, że zdobycie dwóch niewielkich „ustrojów” z tamtych lat i dodatkowo wyglądających podobnie jest dość trudne. Można byłoby zastosować mierniki, które w latach 70-tych XX w. były montowane w magnetofonach Uinity ZK-140 lub ZK-240 albo w odbiornikach radiowych np. Amator Stereo, ale mają one charakterystykę zbliżoną do logarytmicznej, a to oznaczałoby, w pewnych zakresach, trudności z odczytami napięć lub prądów. Jednak nawet po zdobyciu mierników trzeba byłoby odtworzyć ówczesnie stosowane techniki kreślarskie, by „narysować” ich skale.

Poniekąd z lenistwa przesunąłem „wiek” urządzeń pomiarowych w lata 80-te XX w. i wyposażylem zasilacz anodowy w dwa woltomierze zbudowane na „długowiecznych” układach ICL7106 z wyświetlaczami LCD 3,5 cyfry. Niestety, układy te mają pewną dość istotną wadę, a mianowicie ich ujemny biegun zasilania nie może pokrywać się z masą zasilacza anodowego. W efekcie koniecznym było zrobienie jeszcze jednego zasilacza 9 V



Rysunek 7. Widok płytki woltomierzy

przeznaczonego jedynie do układu pomiarowego. Schemat tego układu pomiarowego pokazano na **rysunku 6**, a widoki płytek drukowanych na **rysunku 7** i **rysunku 8**.

Układy woltomierzy zbudowane są prawie dokładnie w zgodzie ze schematem podanym przez Zbigniewa Raabego w 1997 roku [6]. Tyle tylko, że na płycie znajdują się dwa niezależne woltomierze zasilane z niezależnych źródeł. Słowo „prawie” odnosi się do zamontowania w układzie złącza IDC8 do przełączania „zapalanej” kropki dziesiętnej oraz podświetlania wyświetlacza LCD białymi diodami LED. Natężenie prądu (10 mA) płynącego przez każdą z podświetlających diod limitowano rezystorami 680 Ω). Aktualnie „świecąca się” kropkę dziesiętną przełącza się zwierając ze sobą piny o kolejnych numerach w złączach J20 i J21.

Zasilacz woltomierzy zbudowano w oparciu o mały czterowatowy transformator TEZ4.0/D230/12-12, prostownik w układzie mostkowym na diodach Schottky (D19...D26), filtr na dwóch kondensatorach 2200 μ F/16 V (C8-C9) i dwa monolityczne stabilizatory KIA78L09.

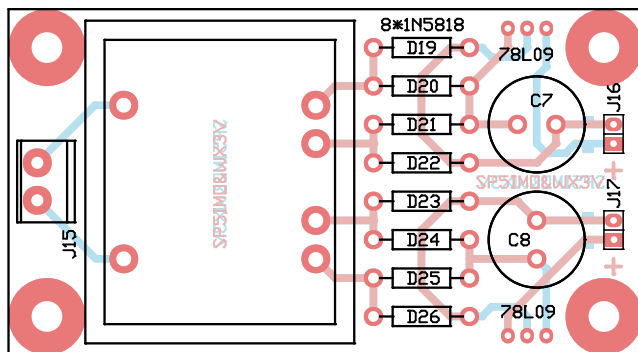
Uruchomienie zasilacza

Układ elektroniczny zasilacza jest na tyle prosty, że po prawidłowym zmontowaniu każda z płytek drukowanych powinna od razu pracować poprawnie. Warto jednak uruchamiać je kolejno, aby systematycznie kontrolować ich działanie. Po przyłączeniu płytki z rys. 3, nie zapominając o dołączeniu potencjometru R10,

od razu można zacząć cieszyć się regulacją napięcia od około 20 do 290 V.

„Ustawiając” napięcia wyjściowe w zasilaczu niskiego napięcia (rys. 4 i 5) poprzez dobieranie wartości rezystorów R_{dob} do charakterystyki diod D** trzeba liczyć się z tym, że napięcie wyjściowe z zasilacza będzie zmieniać się nieco ze zmianami czerpanego prądu. Zjawisko to ma przyczyny dwojakiemu rodzaju. Z jednej strony wraz ze wzrostem czerpanego prądu rośnie nieco prąd płynący pomiędzy wspólną elektrodą i masą, z drugiej zaś to wzrost poboru prądu nieco „obniża” napięcie wejściowe monolitycznego zasilacza, a to powoduje zmniejszenie prądu płynącego przez rezystor R_{dob} . Praktycznie rzecz biorąc to tylko od charakterystyki prądowo-napięciowej użytej diody będzie zależała wielkość wahań napięcia wyjściowego. Zwykle kształtuje się ona na poziomie kilkunastu do kilkudziesięciu miliwoltów.

Kalibrowanie obu woltomierzy można wykonać zgodnie z procedurą opisaną w publikacji [6] polegającą na „ustawieniu” napięcia 100 mV pomiędzy wyprowadzeniami 35 i 36 układów ICL7106 za pomocą potencjometrów montażowych R19 i R26. Metoda jest pewna i w pełni skuteczna. Można jednak „pójść na skróty” dołączając kolejno do wejścia każdego woltomierza napięcie w zakresie 0-199 mV pochodzące z dowolnego źródła napięcia stałego i dostrzec za pomocą potencjometrów montażowych R19 i R26 wskaz pokazywany na wyświetlaczu LCD do identycznej wartości. Z oczywistych względów dokładność pomiarów będzie tym lepsza im podane napięcie będzie bliższe wartości



Rysunek 8. Widok płytki zasilacza urządzeń pomiarowych

199 mV. Po wykalibrowaniu woltomierzy należy przyłączyć je do wyjść pomiarowych VOLT-meter i AMPS-meter usytuowanych na płytce z Rys. 3 i za pomocą znajdujących się na niej potencjometrów montażowych R6 i R7 „dostroić” pokazywane napięcie i natężenie do wartości mierzonych na wyjściu stabilizowanego napięcia anodowego z zasilacza.

Uwagi końcowe

Nie ma układów elektronicznych, które działałyby perfekcyjnie w każdych wymarzonych warunkach. Opisując je, chcąc nie chcąc, trzeba też opisać realne ich ograniczenia, ich przyczyny i ewentualne drogi modyfikacji, które można wprowadzić dostosowując je do własnych potrzeb.

Prezentowany układ stabilizacji napięcia anodowego został zaprojektowany głównie pod kątem minimalizowania strat energetycznych, jakie występują podczas jego pracy w bardzo szerokim zakresie napięć wyjściowych. Z tego też powodu znalazło się w nim źródło prądowe (Q6, R17, R18, D14), którego zadaniem jest ograniczenie prądu płynącego we wzmacniaczu błędów (Q7, Q8). Zamiast niego, w tradycyjnych układach, znajduje się rezystor, na którym wytracana jest stosunkowo duża moc szczególnie podczas pracy stabilizatora przy niskich wartościach napięcia wyjściowego. Ta energetyczna korzyść okupiona jest tym, że bez obciążenia zasilacza, liniowym potencjometrem R10, można płynnie regulować napięcie wyjściowe w zakresie 20 – 220 V, ale dla wyższych napięć ustawienie napięcia zasilania jest bardzo męczące. Jest to spowodowane zbyt silnymi zmianami napięcia wraz z zmianą kąta obrotu gałki. Problem ten byłby satysfakcjonująco rozwiązany poprzez zastosowanie potencjometru z charakterystyką wykładniczą. Niestety w obecnych czasach zdobycie takiego elementu jest bardzo trudne i chcąc nie chcąc koniecznym jest posłużenie się „półśrodkami”, a konkretnie zastosowaniem potencjometru o charakterystyce logarytmicznej. Jest to okupione „odwróceniem” zwyczajowo przyjętego kierunku zmian odpowiedzi układu na obrót gałki tzn. wzrostem napięcia wyjściowego z zasilacza podczas jej obrotu w „lewą stronę”.

W miarę zmniejszania szerokości zakresu regulacji napięcia wyjściowego (zmniejszenie

Zatem, skutkiem nieliniowości przetwarzania napięcie/wskaz (częstotliwość), ich błąd pomiarowy będzie większy niż ten podawany w danych technicznych ICL7106 i odniesiony do pełnego zakresu pracy. Jednak z empirycznej oceny opartej na eksperymentach z czterema takimi układami można stwierdzić, że błąd pomiarowy (odniesiony do pełnego mierzonego zakresu) nie będzie większy od 3,5%. Wynik ten jest porównywalny do błędów popełnianego przez stosowane przed laty „wskazówkowe ustroje” elektromagnetyczne.

Trzecim zauważalnym problemem jest to, że czerpane z zasilacza natężenie prądu jest zawsze nieznacznie większe od zera i „pływa” w czasie o ± 1 mA (0,1 mV mierzonego napięcia AMPs-meter). Efekt ten jest spowodowany tym, że układ amperomierza mierzy również natężenie prądu wykorzystywane „na potrzeby własne” przez układ stabilizatora. Owszem, możliwym jest „przeniesienie” pomiaru natężenia prądu na rzeczywiste wyjście z zasilacza, jednak taka operacja, o kilkaset miliwoltów, pogorszy efekt stabilizacji napięcia wyjściowego.

Czwarty problem ma charakter estetyczno-emocjonalny. Ma on związek z powierzchnio-jednorodnym oświetleniem wyświetlaczy LCD wyświetlających napięcie wyjściowe i natężenie prądu czerpane z zasilacza. Przede wszystkim chodzi o takie rozproszenie światła, pochodzące od źródeł punktowych (diody LED), aby cała powierzchnia wyświetlacza była jednorodnie oświetlona. Zagadnienie to można rozwiązać stosując odpowiednio skonstruowane matówki albo używając materiałów dostępnych w każdym domu. Najprostszym rozwiązaniem jest dobranie i „podklejeniem” od spodu wyświetlaczy LCD fragmentami zwykłych kartek papieru.

Jacek A. Michalski SP5IMO & WX3V
Jacek.Michalski@wszkipz.pl

Bibliografia

- [1. http://goo.gl/aRXlBm](http://goo.gl/aRXlBm)
- [2. http://goo.gl/B8IHpd](http://goo.gl/B8IHpd)
- [3. http://goo.gl/OJjzN1](http://goo.gl/OJjzN1)
- [4. http://goo.gl/viJdV2](http://goo.gl/viJdV2)
- [5. http://goo.gl/tRrO3N](http://goo.gl/tRrO3N)
- Zbigniew Raabe, Najmniejszy moduł miliwoltomierza na LCD. Młody Technik, (3), 52-54, 1997.

Wykaz elementów

Rezystory:

R6: 1 Ω 5
 R12...R16: 110 Ω , (2 \times 220 Ω)
 R18: 300 Ω
 R: 680 Ω (SMD 1206), 4 szt.
 RLED: 910 Ω (1 szt. do ograniczenia prądu zielonej diody LED)
 R8: 1,5 k Ω
 R21, R28: 10 k Ω
 R20, R27: 24 k Ω (SMD 1206)
 R1...R4, R17: 34 k Ω (2 \times 68 k Ω /2 W)
 R9: 36 k Ω
 R22, R29: 47 k Ω (SMD 1206)
 R18, R23, R25, R30: 100 k Ω (SMD 1206)
 R11: 220 k Ω
 R24, R31: 1 M Ω (SDM 1206)
 R19, R26: 10 k Ω (potencjometr montażowy)
 R5, R7: 20 k Ω (potencjometr montażowy)
 R10: 1 M Ω (potencjometr obrotowy o charakterystyce wykładniczej lub logarytmicznej)

Kondensatory:

C11, C17: 100 pF (SMD 1206)
 C15, C21: 10 nF (SMD 1206)
 C9, C10, C12, C18: 100 nF (SMD 1206)
 C14, C20: 220 nF (SDM 1206)
 C13, C19: 470 nF (SMD 1206)
 C16, C22: 47 μ F/10 V (SMD „C”)
 C1...C4: 470 μ F/400 V
 C7, C8: 2200 μ F/25 V
 C5, C6: 6800 μ F/25 V

Półprzewodniki:

D12: 1N4007
 D1...D10, D15...D18: 1N5408
 D19...D26: 1N5818
 Q9...Q10: BC846B
 Q1...Q8: BUT11A
 D14: BZX85-C5V1
 D11, D13: BZX85-C7V5
 DIODA LED \varnothing 5 mm ZIELONA, HL-PC-3218H238W, 1206, 4 szt., LED, ICL7106, 2 szt., KIA78S06, 1 szt., KIA78S09, 1 szt., L78S05, 1 szt., L78S12, 1 szt., TS78L09CT, 2 szt.,

Inne:

Transformator TEZ4.0/D230//12-12, 1 szt.,
 Transformator TSL180/001, 1 szt.,
 Transformator TSZZ20/006M/2X12, 1 szt.,
 Transformator TSZZ20/016M/2X7.5, 1 szt.,
 Gniazdo bezpieczne 4 mm, przyłącze M4 36A czarne, 3 szt.
 Gniazdo bezpieczne 4 mm, przyłącze M4 36A czerwone, 3 szt.
 Gniazdo bezpieczne 4 mm, przyłącze M4 36A fioletowe, 3 szt.
 Gniazdo bezpieczne 4 mm, przyłącze M4 36A niebieskie, 3 szt.
 Gniazdo bezpieczne 4 mm, przyłącze M4 36A zielone, 3 szt.
 Gniazdo bezpieczne 4 mm, przyłącze M4 36A żółte, 3 szt.
 Gniazdo bezpiecznikowe do bezpieczników 5 \times 20 mm, 1 szt.,
 LCD3.5: 2 szt.,
 Łączówka LE-2, 12 szt. J1-J5, J7-J15
 Łączówka LE-3, 1 szt., J6,
 Obudowa Z-39, 1 szt.,
 Oprawka LED 5mm SMZ1089, 1 szt.,
 Podstawka DIP-40, 4 szt.,
 Przetwornik DPDT, 2 szt.,
 Radiator A4291=10 cm, 1 szt.,
 Radiator DY-CM=25 mm, 5 szt. (lub 4 szt. gdy Q7 jest zamontowany na dużym radiatorze),
 Złącze IDC-10: 2 szt.. J20-J21,
 Złącze SIP-2, 8 szt., VOLT-meter, AMPS-meter, J16-J19, J22-J23,
 Złącze SIP-3, 1 szt., do R10,