

# 12-kanalowy regulator mocy sterowany sygnałem DMX512



*Opis dotyczy zestawu regulatorów dużej mocy, które mogą być wykorzystane w dużych systemach sterowania oświetleniem scenicznym lub estradowym. Co prawda do tej pory w Elektronice Praktycznej oraz w Elektronice dla Wszystkich opublikowano kilka opisów różnego rodzaju regulatorów, lecz miały one jedną podstawową wadę, jeżeli chodzi o zastosowanie w systemach oświetlenia scenicznego - brak możliwości sterowania z większej odległości.*

**Rekomendacje:** projekt przeznaczony dla użytkowników nowoczesnych systemów sterowania oświetleniem scenicznym i dyskotekowym.

Profesjonalne systemy sterowania oświetleniem składają się z zespołu regulatorów o mocy na ogół 5 kW każdy, umieszczonych w pobliżu sceny oraz pulpitu nastawczo-regulacyjnego znajdującego się w takim miejscu, skąd zapewniony jest wgląd na scenę (często odległość między tymi dwoma elementami systemu jest znaczna). W starszych systemach sterowanie odbywa się na drodze analogowej. Do każdego regulatora doprowadzona jest para przewodów sterujących, po których przesyłany jest niskonapięciowy sygnał steru-

## Trochę historii

Jak radzono sobie z problemem regulacji oświetleniem 30, 40 lat temu, gdy elementy półprzewodnikowe dużej mocy - takie jak tyrystory lub triaki - były niedostępne (przynajmniej w Polsce), nie wspominając o komputerach? Przedstawię parę rozwiązań, które stosowano do sterowania oświetleniem scenicznym. Oczywiście, były to urządzenia stacjonarne, ponieważ ze względu na gabaryty i ciężar nie można było ich przewozić.

W latach powojennych stosowano w teatrach nastawnie typu Bordoni. Kabina oświetleniowa przypominała bardziej wnętrze parowozu niż urządzenie służące do regulacji oświetlenia scenicznego. Składała się z dwóch podstawowych elementów: zespołu autotransformatorów z uzwojeniami nawiniętymi na pionowych rdzeniach oraz węglowych szczotek, które przesuwały się po uzwojeniach transformatorów. Były wyposażone w dwa uchwyty - do górnego przymocowana była lin-

**Specyfikacja standardu DMX512 została szczegółowo opisana w marcowym numerze polskiej edycji Elektora z 1998 roku.**

jący z pulpitu nastawczo-regulacyjnego.

Obecnie odchodzi się od tego typu sterowania na rzecz standardu DMX512, który wymaga do transmisji także jednej pary przewodów, jednak ze względu na duże częstotliwości muszą to być kable specjalne, zakończone odpowiednimi złączami.

**Tab. 1. Funkcje wyprowadzeń w 5-stykowym złączu AXR/XLR**

Końcówka	Funkcja
1	Masa (ekran)
2	DMX -
3	DMX +
4	Brak połączenia (może być połączone z DMX -)
5	Brak połączenia (może być połączone z DMX +)

**Tab. 2. Funkcje wyprowadzeń w 3-stykowym złączu AXR/XLR**

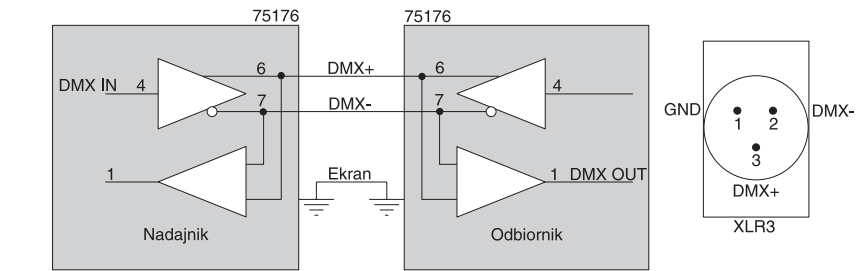
Końcówka	Funkcja
1	Masa (ekran)
2	DMX -
3	DMX +

ka, którą można było przesuwając szczotkę do góry, co powodowało wzrost napięcia wyjściowego, natomiast opuszczanie suwaka realizowane było przez poluzowanie linki, a przeciwwagi przymocowane do dolnego uchwyty szczotki ściągały ją do dołu. Zespół autotransformatorów na ogół znajdował się pod sceną, a cały mechanizm sterujący był umieszczony nad poziomem sceny, przeważnie na którejś z wież scenicznych. Składał się on z reguły z trzech lub czterech wałów, na których umieszczone były dźwignie z przymocowanymi linkami sterującymi ruchem suwaków autotransformatorów. Dźwignie te były wyposażone w klucze dające się ustawić w odpowiednie pozycje:

- brak połączenia z wałem (podczas obrotu wału dźwignia pozostawała w spoczynku),
- obrót wału w prawo powodował zwiększenie napięcia wyjściowego danego obwodu (obróć w lewo powodował odwrotną reakcję),
- obrót wału w prawo powodował zmniejszenie napięcia wyjściowego danego obwodu (obróć w lewo powodował odwrotną reakcję).

Wał obracany był ręcznie za pomocą dużego koła i był wyposażony w tak zwany precyzer umożliwiający bardzo wolne wprowadzanie obrazu świetlnego.

Nastawnie te umożliwiały bardzo płynne wprowadzanie scen świetlnych oraz nie wносиły zakłóceń elektroenergetycznych, jednak duża liczba elementów me-



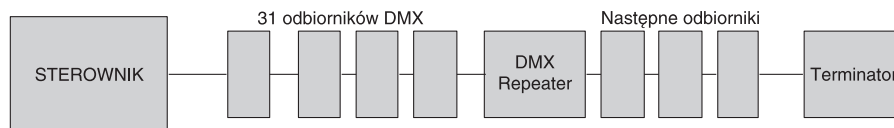
Rys. 1. ????

chanicznych powodowała liczne problemy w codziennej eksploatacji, np.: spadające linki, zawieszające się szczotki czy też występujące podczas szybkich zmian uderzenia o siebie przeciwwag, co dawało niezamierzone efekty akustyczne.

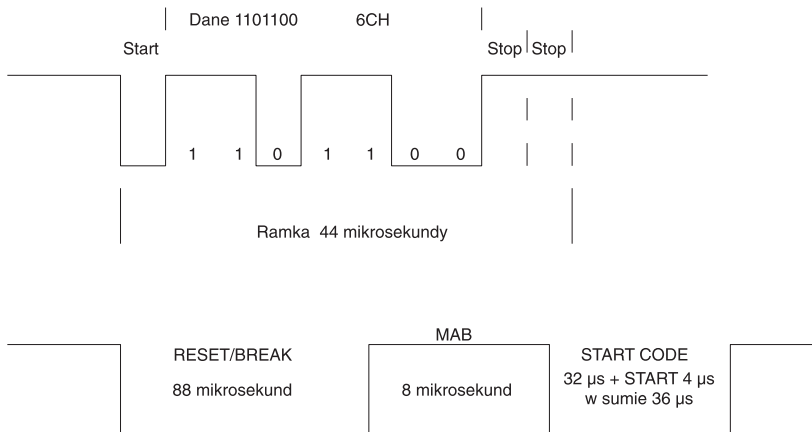
Następnie zaczęto stosować transduktory, czyli tzw. wzmacniacze magnetyczne. Ich sterowanie realizowało się przez zmianę napięcia sterującego w zakresie 0...24 V. Ten sposób sterowania umożliwiał umieszczenie kabiny oświetleniowej w dogodnym miejscu, gdzie realizator miał pełny wgląd na scenę. Również zastosowane pulpity nastawczo-regulacyjne umożliwiały realizację bardziej skomplikowanych zmian światła. Pulpit taki składał się z zespołu kaset regulacyjnych, czyli potencjometrów suwakowych drutowych, o długości ścieżki ok. 15 cm. Liczba kaset odpowiadała

na ogół liczbie regulatorów. Kasetka była wyposażona w trójpozycyjny przełącznik hebelkowy umożliwiający wybranie jednego z trzech ściemniaczy generalnych, od którego kasetka otrzymywała napięcie sterujące. Kasetki były pogrupowane w pola nastawcze - na ogół cztery. Każde z nich zawierało tyle kaset, ile było regulatorów. Główki suwaków oraz przełączników na każdym polu miały inną barwę (czerwoną, zieloną, żółtą, oranż, ewentualnie białą). Zastosowanie kolorów ułatwiało wykonanie zapisu światła, np.: I zielony 10/50, 12/50, 25/80, 27/100.

W takim zapisie liczba w liczniku oznaczała numer obwodu (reflektora), a w mianowniku - procent, na jaki ma być ustawiony suwak kasetki. Zapis „I zielony” oznaczał, że przełącznik hebelkowy kasetki ma być ustawiony w pozycji pierwszej, czyli że bę-



Rys. 2. ????



Rys. 3. ???

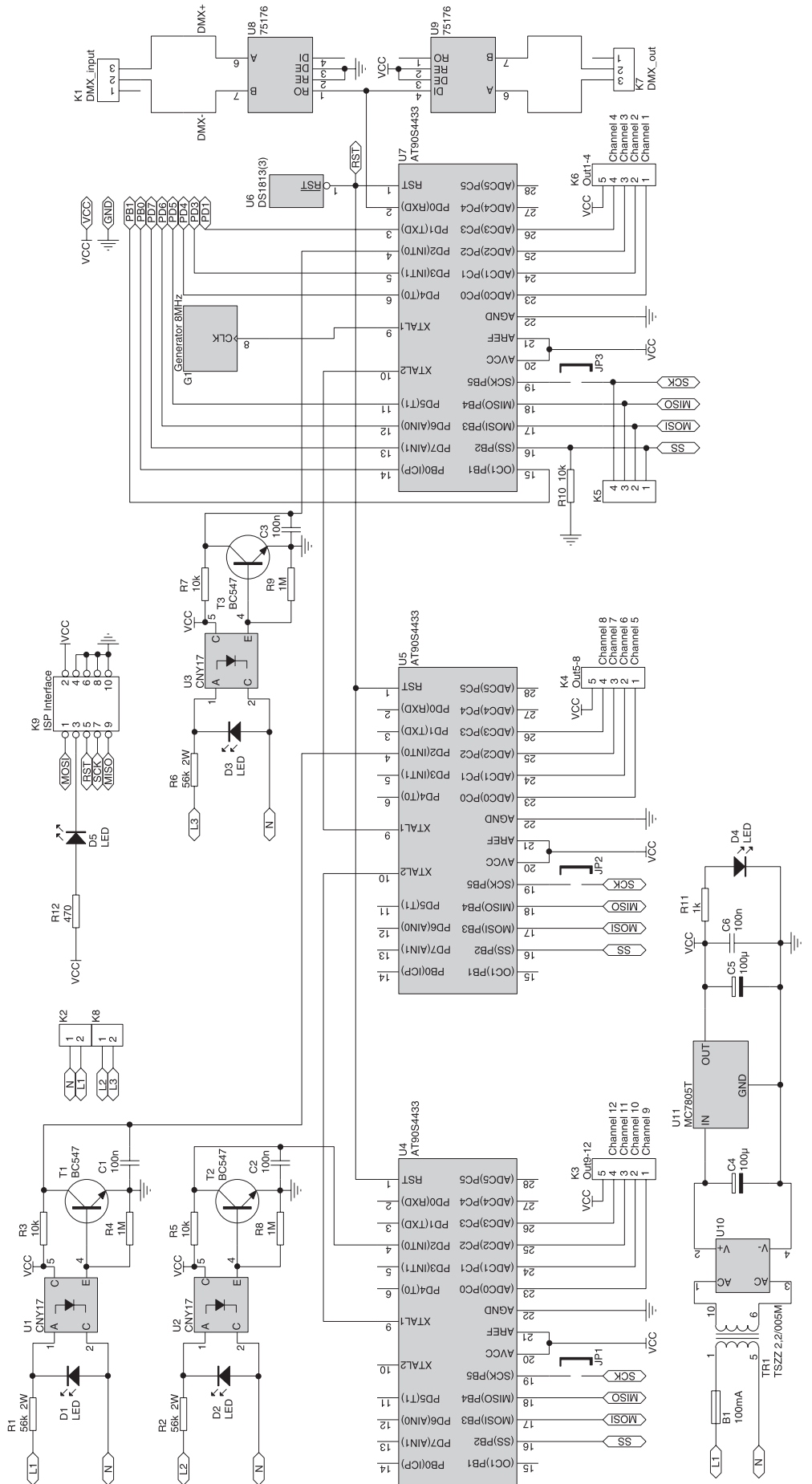
dzie zasilana z pierwszego ściemniacza generalnego oraz że dotyczy pola zielonego.

Ściemniacz generalny był to zestaw dwóch autotransformatorów umieszczonych na wspólnej osi, z uzwojeniami połączonymi tak, że na wyjściu pierwszego napięcie miało wartość 0 V, a drugiego - 220 V. Poprzez obrót następowała zmiana napięć. Napięcie to podawane było na transformatory 220 V/24 V, które po wyprostowaniu zasilają kasetę regulacyjną nie wprost, lecz przez zespół przekaźników umożliwiającą wybór jednego z czterech pól nastawczych. Taki model pulpitu nastawczo-regulacyjnego królował w teatrach przez wiele lat. Zmieniały się tylko konstrukcje regulatorów, transduktory zastąpiły bardziej niezawodne tyrystory i triaki. Z czasem zaczęto stosować mikroprocesory i konstrukcje te stopniowo wyparły tradycyjne pulpity nastawczo-regulacyjne.

Początkowo pulpity miały wyjścia analogowe 0...10V, co pozwalało wykorzystywać linie sterujące nastawni analogowej - do każdego regulatora dochodziły dwa przewody sterujące. W rozbudowanych systemach ich liczba dochodziła do kilkuset. Właśnie ta ogromna liczba linii sterujących była impulsem do opracowania nowego rodzaju regulatorów - regulatorów cyfrowych i protokołu zapewniającego ich sterowanie. Obecnie najbardziej popularny jest standard DMX512.

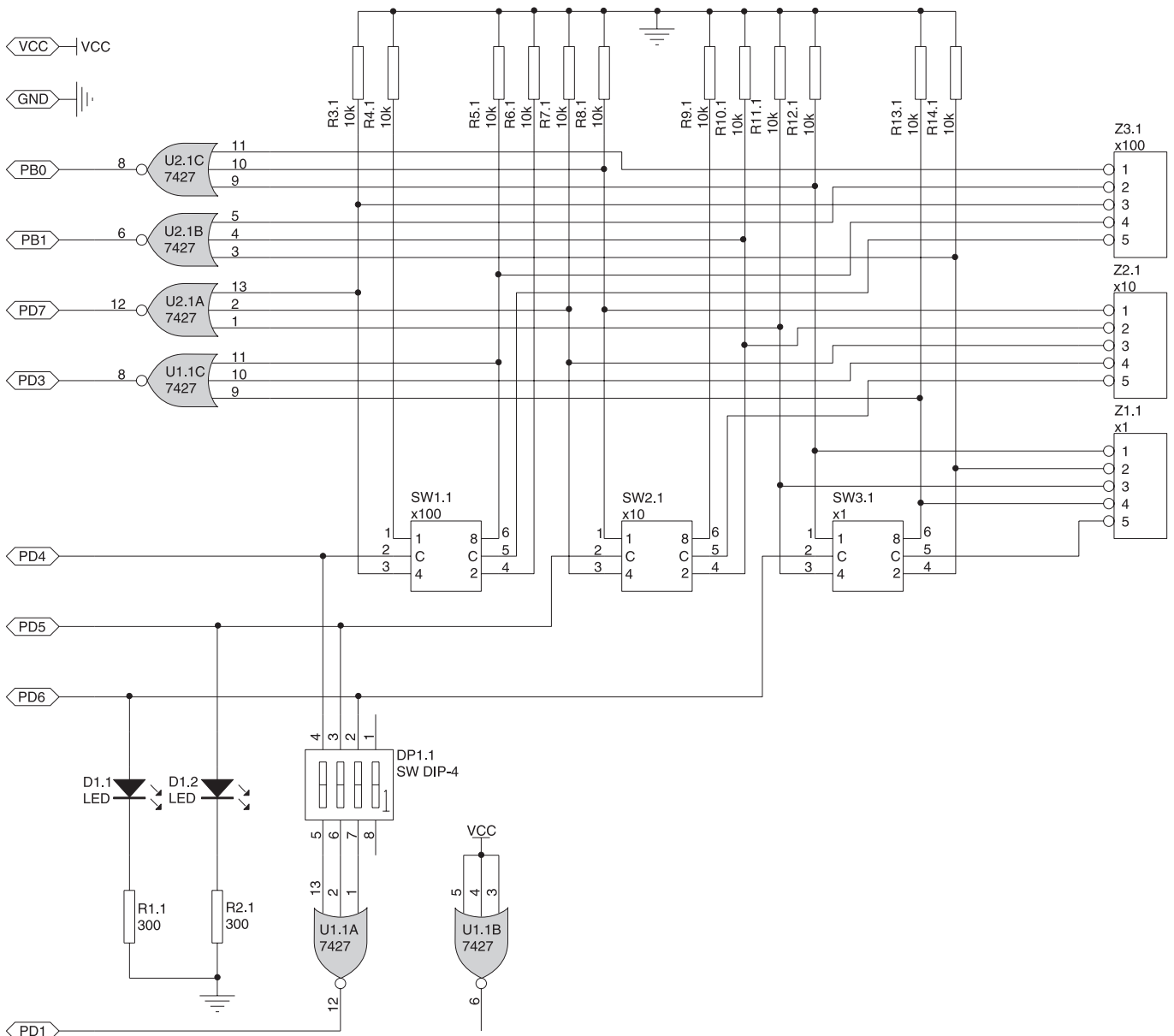
**Co to jest DMX512? Odrobina teorii**

System DMX512 (*Digital MultipleX for 512 units*) to inaczej cyfrowy multipleks dla 512 jednostek. Został on opracowany w USA przez United States Institute for Theatre Technology (USITT) - Instytut Techno-



Rys. 4. ??

## 12-kanalowy regulator mocy sterowany sygnałem DMX512



Rys. 5. ???

logii Teatralnych Stanów Zjednoczonych. Jest to wydajny i stosunkowo prosty system stosowany praktycznie na całym świecie. Umożliwia wysterowanie 512 kanałów za pomocą jednego trójżyłowego przewodu. Zalety tego systemu są niebagatelne: oszczędne okablowanie, duża odporność na zakłócenia, linia sterująca może mieć długość do 1200 m (można ją zwiększyć, stosując *repeatery*). Ma też swoje wady, z których najpoważniejszą jest mała rozdzielczość. Jest tak, ponieważ do określenia wartości, np. napięcia wyjściowego regulatora, używa się tylko ośmiu bitów. Powoduje to, że napięcie wyjściowe regulatora nie zmienia się w sposób liniowy, lecz skokowo

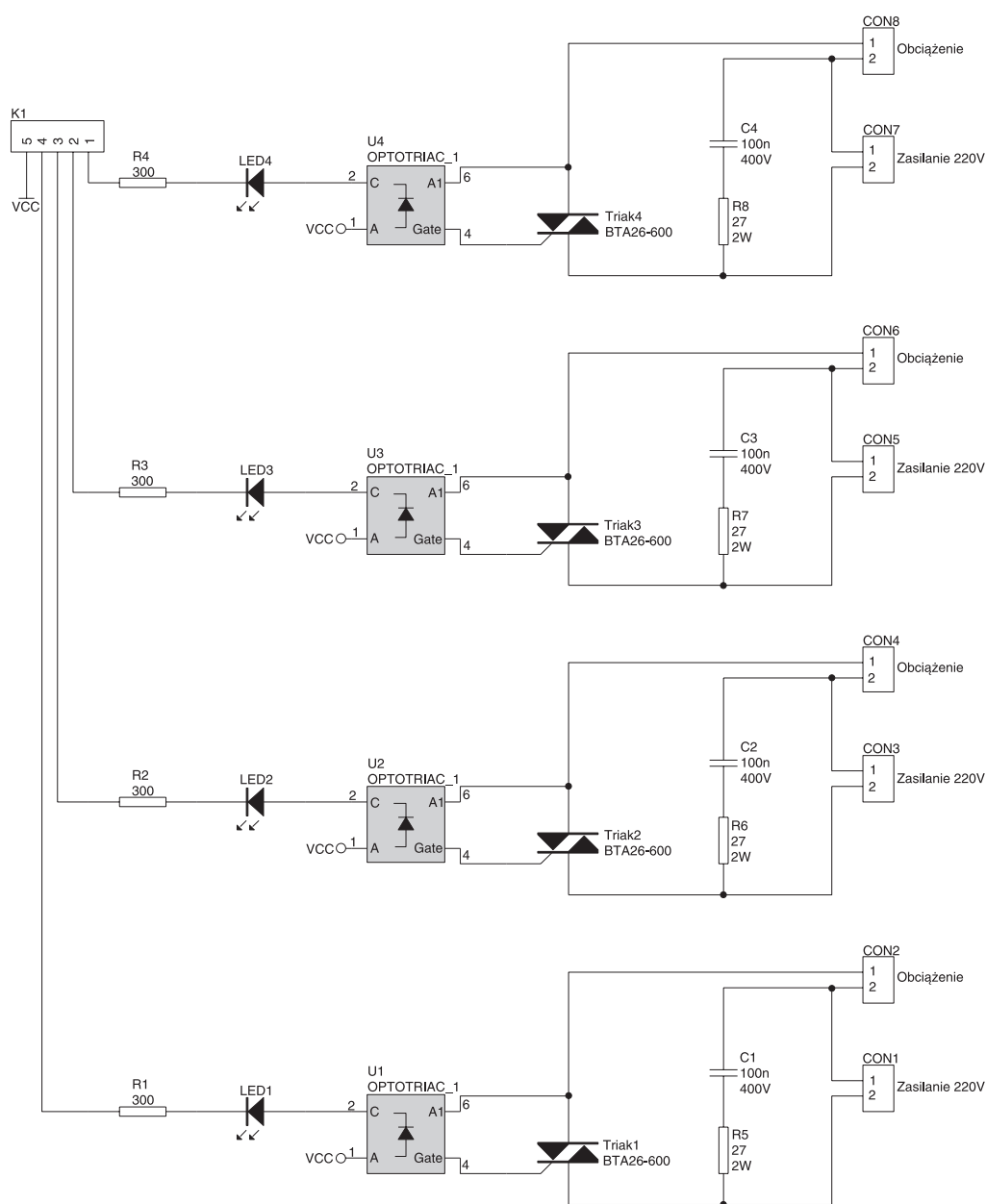
(z krokiem  $220\text{ V}/255 = 0,86\text{ V}$ ), co jest szczególnie widoczne przy stosowaniu żarówek o małej mocy. Istotną wadą jest także opóźnienie w reakcji odbiornika, które wynosi ok. 0,005 sekundy, jednak - jeżeli chodzi o regulatory - można go nie brać pod uwagę (bezwładność włókna żarówki i tak jest większa).

Do przesyłania sygnału magistralą DMX512 wykorzystywany jest interfejs RS485. Jako nadajnik i odbiornik stosuje się ten sam typ układu 75176 (rys. 1). Zgodnie z normą, do łączenia ze sobą urządzeń należy używać 5-stykowych złączy XLR. Dopuszcza się również stosowanie złączy 3-stykowych. Funkcje styków w obydwu rodzajach złączy opisano

w **tab. 1** i **2**.

Urządzenia w standardzie DMX łączy się „szeregowo”. Są one tak zbudowane, że posiadają wejście dla sygnału oraz wyjście, które umożliwia podłączenie następnej jednostki. Do wyjścia ostatniego urządzenia w szeregu należy zawsze podłączyć tzw. terminator - jest to po prostu wtyk XLR z opornikiem  $120\ \Omega$  dołączonym pomiędzy styki 2. i 3. Jeżeli liczba urządzeń w szeregu jest większa od 32 lub długość kabla sterującego wynosi więcej niż 1200 m, to należy zastosować repeater DMX, czyli wzmacniacz sygnału DMX, do którego wyjścia można podpiąć kolejne 32 odbiorniki lub dodatkowy odcinek kabla sterującego (rys. 2).

O ile w specyfikacji RS485 zdefiniowane są poziomy napięć oraz wymagania co do sposobu łączenia urządzeń, to DMX512 specyfikowany jest protokół, zgodnie z którym są przesyłane dane. Podstawą jest tak zwana ramka, w skład której wchodzi 1 bit startu, 8 bitów danych, 2 bity stopu, czyli długość ramki wynosi 11 bitów. Czas trwania jednego bitu to dokładnie 4  $\mu$ s, czyli długość ramki wynosi 44  $\mu$ s (rys. 3). Jedna ramka zawiera informację o jednym kanale DMX, co oznacza, że do wysłania informacji dotyczącej wszystkich kanałów potrzeba 512 ramek. Jednak aby odbiornik wiedział, kiedy następuje początek transmisji - czyli który kanał jest pierwszy - zaczyna się ona sygnałem RESET lub (w innych opisach) BREAK. Jakkolwiek jest on nazwany, czas jego trwania wynosi minimum 88  $\mu$ s. Następnym sygnałem jest znacznik - *MARK AFTER BREAK* (w skrócie MAB). Czas jego trwania ustalono na 8  $\mu$ s (później powstały systemy zdolne rozpoznać znacznik o długości 4  $\mu$ s i są one oznaczone jako DMX512/1990). Po przesłaniu MAB, sterownik wysyła tzw. bajt startowy



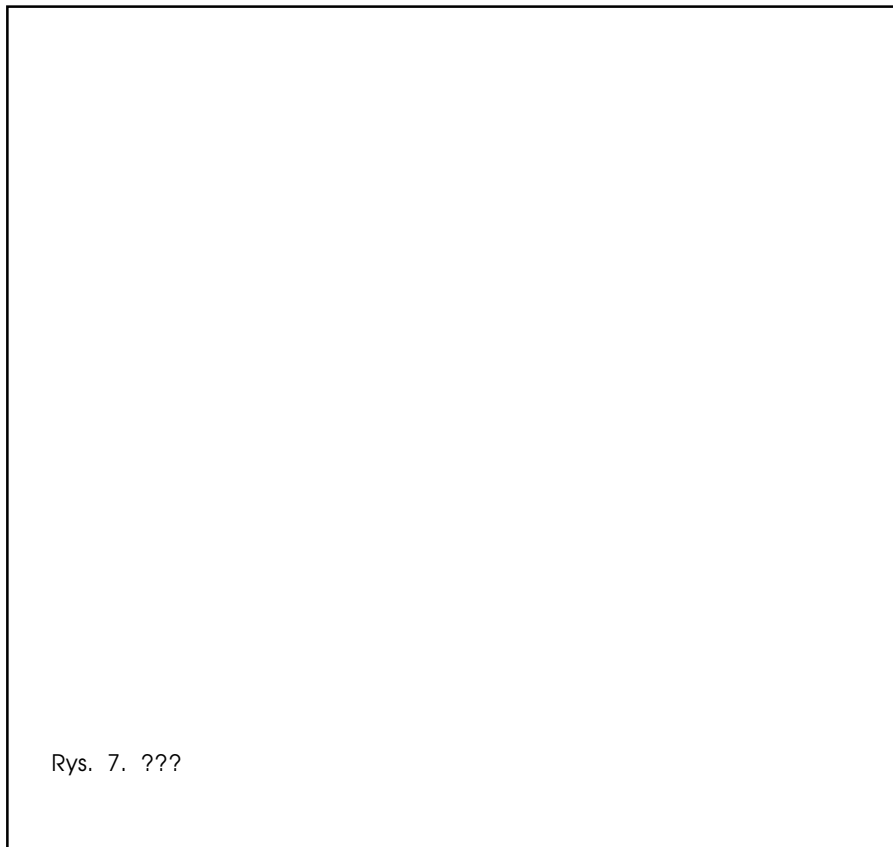
Rys. 6. ???

(START CODE), który w zamyśle twórców protokołu DMX miał określać, czy wysyłane po nim dane mają sterować regulatorami, czy też innymi urządzeniami. Ponieważ dokładnie nie wiadomo, o jakie urządzenia będzie chodziło, więc przyjęto jego wartość 00h - i tak już zostało. Tak więc wartość bajtu startowego musi wynosić 00h. Jeżeli jego wartość będzie inna, odbiornik musi zignorować wszystkie następane bajty. Po wysłaniu sekwencji startowej sterownik rozpoczyna transmisję bajtów z danymi, począwszy od pierwszego kanału. Przerwa pomiędzy ramkami danych jest oznaczana jako *MARK BETWEEN FRA-*

*ME* (MBF) i może wynosić od zera do jednej sekundy. Czas potrzebny do wysłania jednego kompletu danych zależy od liczby kanałów - norma określa maksymalną liczbę kanałów, tj. 512 i dla tej liczby wynosi on 22668  $\mu$ s, czyli dane są odświeżane 44 razy na sekundę. Protokół nie definiuje również reakcji odbiorników, jeżeli zostanie przerwana transmisja DMX. Producenci sprzętu stosują w tym przypadku różne rozwiązania, np.:

- utrzymanie ostatniej otrzymanej wartości,
- płynne wyłączenie urządzenia,
- natychmiastowe wyłączenie urządzenia,
- wysterowanie urządzenia wcześ-

niej zaprogramowaną wartością. To, jakie rozwiązanie zostanie zastosowane, będzie w dużej mierze zależało od typu urządzenia, i tak na przykład regulatory powinny utrzymywać ostatnio otrzymaną wartość. Nieoczekiwany *BLACKOUT* mógłby być niebezpieczny dla aktorów, jak też mógłby spowodować nieoczekiwaną reakcję publiczności, zwłaszcza dziecięcej, natomiast wszelkie napędy wind scenicznych, zapadni czy też sztankietów powinny zostać w sposób płynny wyłączone, ponieważ ich niekontrolowane dalsze działanie byłoby niebezpieczne. Na ogół użytkownik ma możliwość określenia reakcji urzą-



Rys. 7. ???

dzenia na nieoczekiwane przerwy w transmisji DMX.

**Opis układu**

Uff... nareszcie po tej porcji historii i teorii możemy przystąpić do opisu, jak samodzielnie przygotować system sterowania oświetleniem. Na początek zajmijmy się wykonaniem modułu regulatorów mocy, które będą sterowane sygnałem DMX. I jeszcze jedna uwaga, którą kieruję głównie do „młodych tygrysów“ elektroniki: urządzenie jest zasilane z sieci trójfazowej, gdzie napięcie międzyprzewodowe wynosi 400 V (obecnie 380 V, jednak po dostosowaniu do norm UE będzie miało wartość 400 V) oraz mogą płynąć znaczne prądy. Nie ma tu więc miejsca na bez troskę oraz jakakolwiek prowizorkę. Dlatego też proponuję sprawdzenie układu przy zasilaniu jednofazowym i niewielkim obciążeniu, przykładowo 12x100 W, i dopiero gdy wszystko działa prawidłowo, można podłączyć zasilanie trójfazowe, nie zapominając o przewodzie ochronnym.

Układ elektryczny jest trywialnie prosty (rys. 4) i zbudowano go z użyciem ogólnodostępnych

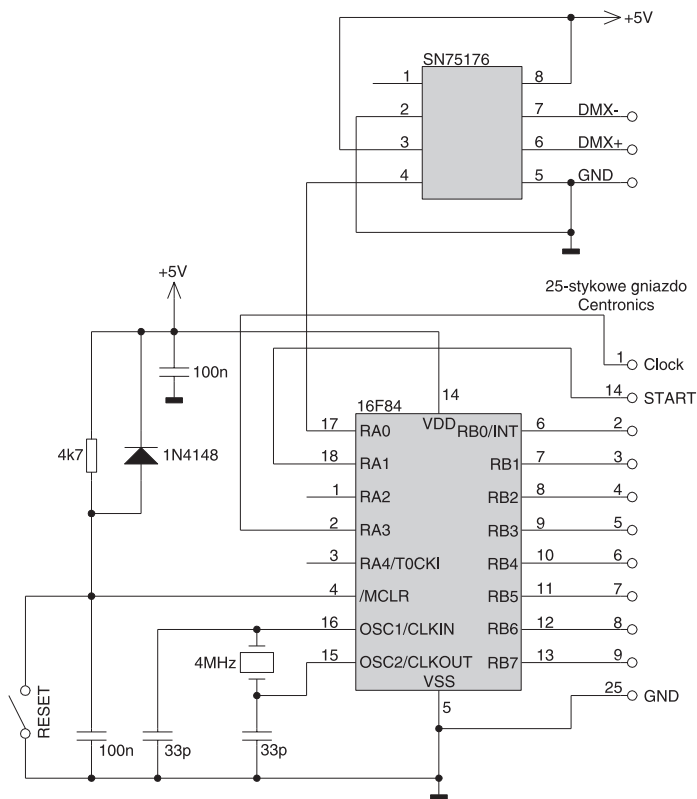
elementów:

1. Zasilacz jest typowy, z transformatorem typu TSZZ 2,2/005M, dającym po stronie wtórnej napięcie o wartości 9V i prądzie 0,24A.

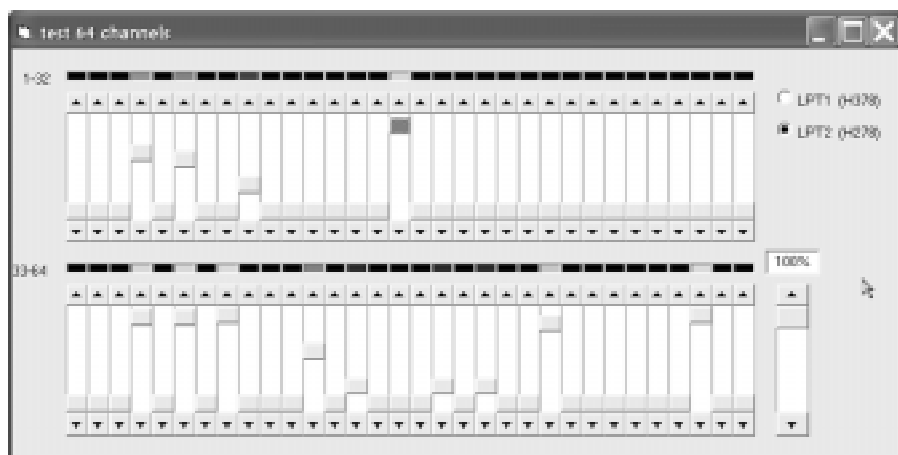
Napięcie jest prostowane przez prostownik mostkowy i podawane na stabilizator 5V. Na wyjściu stabilizatora włączono diodę LED, która sygnalizuje obecność napięcia 5V.

2. Detektor przejścia przez zero - są to trzy identyczne układy po jednym na fazę. W skład detektora wchodzi rezystor 56kΩ/2W, który ogranicza prąd płynący przez diodę transoptora CNY-17 oraz dodatkową diodę LED połączoną równolegle do diody transoptora, lecz w kierunku przeciwnym (dioda ta przewodzi prąd w czasie zmiany kierunku napięcia, gdy dioda transoptora jest zablokowana) i ogranicza (w zależności od diody do 1,5...2V) występujące na niej napięcie zaporowe. Po zmianie kierunku napięcia role diody się odwracają. Dodatkowo, diody LED sygnalizują obecność napięcia trójfazowego. Impulsy z detektora podawane są na wejście PD3 procesora. Pracuje ono jako wejście przerwania procesora INTO i reaguje na opadające zbocze sygnału z detektora, które powtarza się co 20 ms.

3. Układ sterujący pracą triaków zbudowano przy użyciu mikrokontrolerów AVR firmy ATMEL typu AT90S4433. Jeden mikrokon-



Rys. 8. ???



Rys. 9. ???

## WYKAZ ELEMENTÓW

???

troler steruje pracą czterech triaków zasilanych z jednej fazy. Mikrokontroler, który jest równocześnie odbiornikiem sygnału DMX, pracuje jako *master*, pozostałe dwa jako *slave*.

4. Dekoder adresowy informuje mikrokontroler, od którego miejsca w paczce DMX ma zacząć odbierać dwanaście kolejnych wartości kanałowych. Nastaw dokonujemy trzema nastawnikami kodowymi typu DEC/BCD (rys. 5), za pomocą których możemy wybrać dowolny adres. Na przykład, jeżeli ustawimy adres 001, to regulator będzie odbierał wartości kanałów DMX od 1...12, a gdy adres ten ustalimy przykładowo na 100, to będą to kanały 100...111. Jeżeli wiemy, że adres regulatora będzie zmieniany sporadycznie, możemy wówczas zastosować miniaturowe nastawniki kodowe wlotowane w płytke drukowaną, jeżeli jednak adres będzie zmieniany często, wtedy praktyczniej wykorzystać nastawniki przystosowane do mocowania na płycie czołowej. Dekoder ten również zawiera dwie diody LED, z których pierwsza wskazuje obecność sygnału DMX, a druga, że są sygnały przeznaczone dla kanałów o adresie zgodnym z ustawionym w regulatorze. Diody te najlepiej jest umieścić na płycie czołowej, ponieważ wyświetlają informacje na temat sygnału DMX.

5. Układ mocy (rys. 6) został wykonany z wykorzystaniem triaków typu BTA41-600B, które mogą przewodzić prąd o natężeniu do 40 A oraz posiadają strukturę odizolowaną od radiatora. Właściwość ta pozwala umieścić

wszystkie triaki na wspólnym radiatorze, co ułatwia konstrukcję mechaniczną modułu. Bramki triaków są sterowane za pomocą optotriaków MOC 3020, które zapewniają galwaniczną izolację pomiędzy siecią a resztą układu.

6. Generator sygnału zerującego - zastosowano układ U6 DS1813, który jest wspólny dla wszystkich procesorów.

7. Sygnał zegarowy o wartości 8MHz uzyskiwany jest z gotowego generatora kwarcowego. Podawany jest na wejście taktujące procesora U7 XTAL1 (wyprowadzenie 9), następnie z wyjścia XTAL2 U7 (wyprowadzenie 10) jest podawany na wejście drugiego procesora itd.

Sygnał DMX jest doprowadzony do wejścia odbiornika U8-75176 (układ ten może pracować również jako nadajnik), następnie z wyjścia (poziomy TTL) doprowadzony jest do procesora U7 (wyprowadzenie 2). Na schemacie umieszczono jeszcze jeden układ U9-75176, skonfigurowany do pracy jako nadajnik, który możemy wykorzystać, gdy zajdzie taka konieczność, jako repeater sygnału DMX. Procesor U7 pracuje jako *master*, a U5, U4 jako *slave*. Do łączności pomiędzy procesorem głównym a podrzędnymi wykorzystano interfejs SPI. Procesory mogą być zaprogramowane w układzie za pomocą złącza K9 - ISP Interface. Wyboru procesora, który ma być programowany, dokonujemy za pomocą jumperów JP1...JP3. Jumper programowanego układu musi być założony, pozostałe dwa muszą być zdjęte. Po zaprogramowaniu procesorów należy z po-

wrotem założyć wszystkie jumpery.

Procesor *master* wykonuje następujące zadania:

1. Odczytuje nastawy dekodera adresowego. Odczyt jest dokonywany cyklicznie, więc można nastawy dekodera zmieniać w trakcie pracy.

2. Jeżeli w paczce DMX występują adresy kanałów, które wskazują dekodery, procesor odczytuje ich poszczególne wartości. Wartości kanału 1...4 przetwarza sam, 5...8 zostają przesłane przez interfejs SPI do procesora U5, a kanały 9...12 do U4. Po przetworzeniu sygnałów przez procesor zostają wysterowane odpowiednie triaki.

## Pulpit DMX512

Opisaliśmy moduł regulatorów mocy sterowanych sygnałem DMX512. Aby wypróbować go praktycznie, potrzebujemy urządzenia nastawczo-regulacyjnego. Opis wykonania takiego pulpitu zostanie przedstawiony w jednym z najbliższych numerów EP. Jednak niewielkim nakładem czasu, jak i kosztów możemy zbudować prosty interfejs LPT<->DMX512, którego schemat oraz oprogramowanie zostało ściągnięte z Internetu (rys. 8). Układ ten wraz z oprogramowaniem pozwoli nam na wszechstronne przetestowanie regulatora. Postać źródłowa programu dla mikrokontrolera PIC pracującego w interfejsie oraz program *test64ch.exe* (rys. 9) publikujemy na CD-EP1/2003B.

**Andrzej Biliński**

Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: <http://www.ep.com.pl/?pdf/styczen03.htm> oraz na płycie CD-EP1/2003B w katalogu PCB.