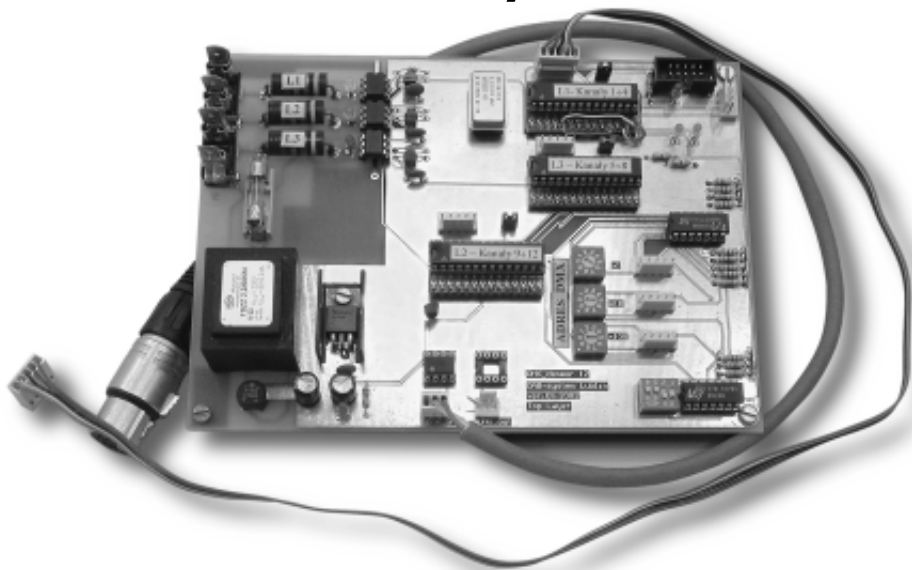


12-kanalowy regulator mocy sterowany sygnałem DMX512, część 1

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 sterujący z pulpitu nastawczo-regulacyjnego.

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

Uwaga! Ze względu na dużą liczbę rysunków, w tej części artykułu publikujemy schematy elektryczne, do których opis znajdzie się w EP5/2003.

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.

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 zaopatrzone w dwa uchwyty - do górnego przymocowana była linka, którą można było przesuwać szczotkę do góry,

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

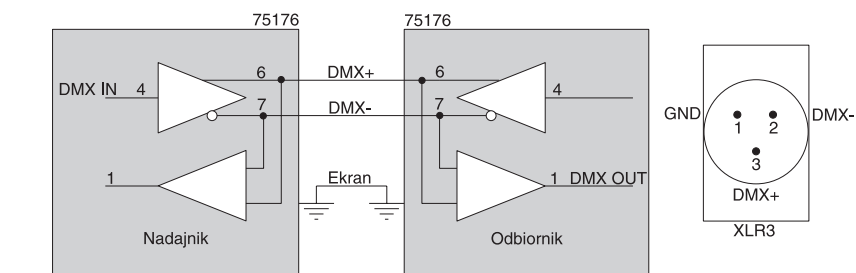
Końcówka	Funkcja
1	Masa (ekran)
2	DMX -
3	DMX +

co powodowało wzrost napięcia wyjściowego, natomiast opuszczanie suwaka realizowane było przez poluzowanie linki, a przeciwwagi przymocowane do dolnego uchwytu 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 mechanicznych powodowała liczne



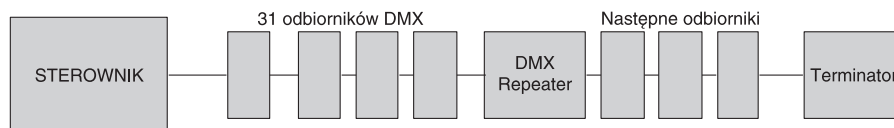
Rys. 1. Interfejs RS - 485 stosowany do transmisji danych w systemach DMX512

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.

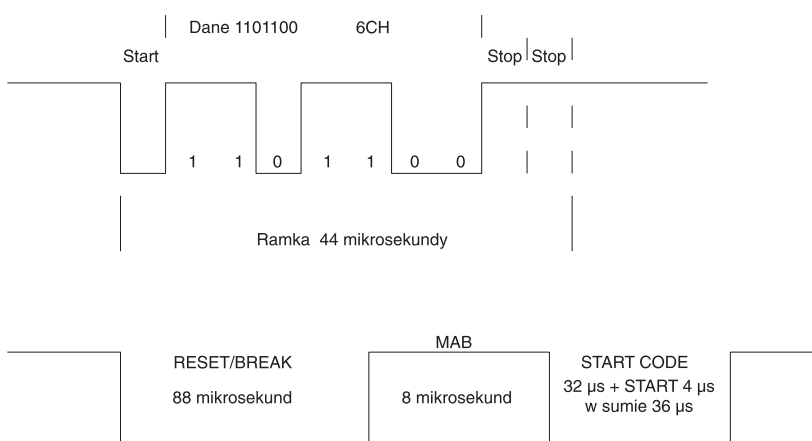
Następnie zaczęto stosować transduktory, czyli tzw. wzmacniacze magnetyczne. Ich sterowanie realizowało się przez zmianę napięcia sterującego w zakresie 0...24 V. Ten sposób sterowania umożliwiał umieszczenie kabiny oświetleniowej w dogodnym miejscu, gdzie realizator miał pełny wgląd na scenę. Również 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. Kasetą była wyposażona w trójpozycyjny przełącznik hebelkowy umożliwiający wybranie jednego z trzech ściemniaczy generalnych, od którego kasetą otrzymywała napięcie sterujące. Kasety 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 kasety. Zapis „I zielony“ oznaczał, że przełącznik hebelkowy kasety ma być ustawiony



Rys. 2. Sposób łączenia odbiorników systemach DMX512



Rys. 3. Budowa ramki DMX - zawiera informację dla 1 kanału, oraz przebiegi czasowe dla sygnału RESET/BREAK, MARK AFTER BREAK, oraz START CODE

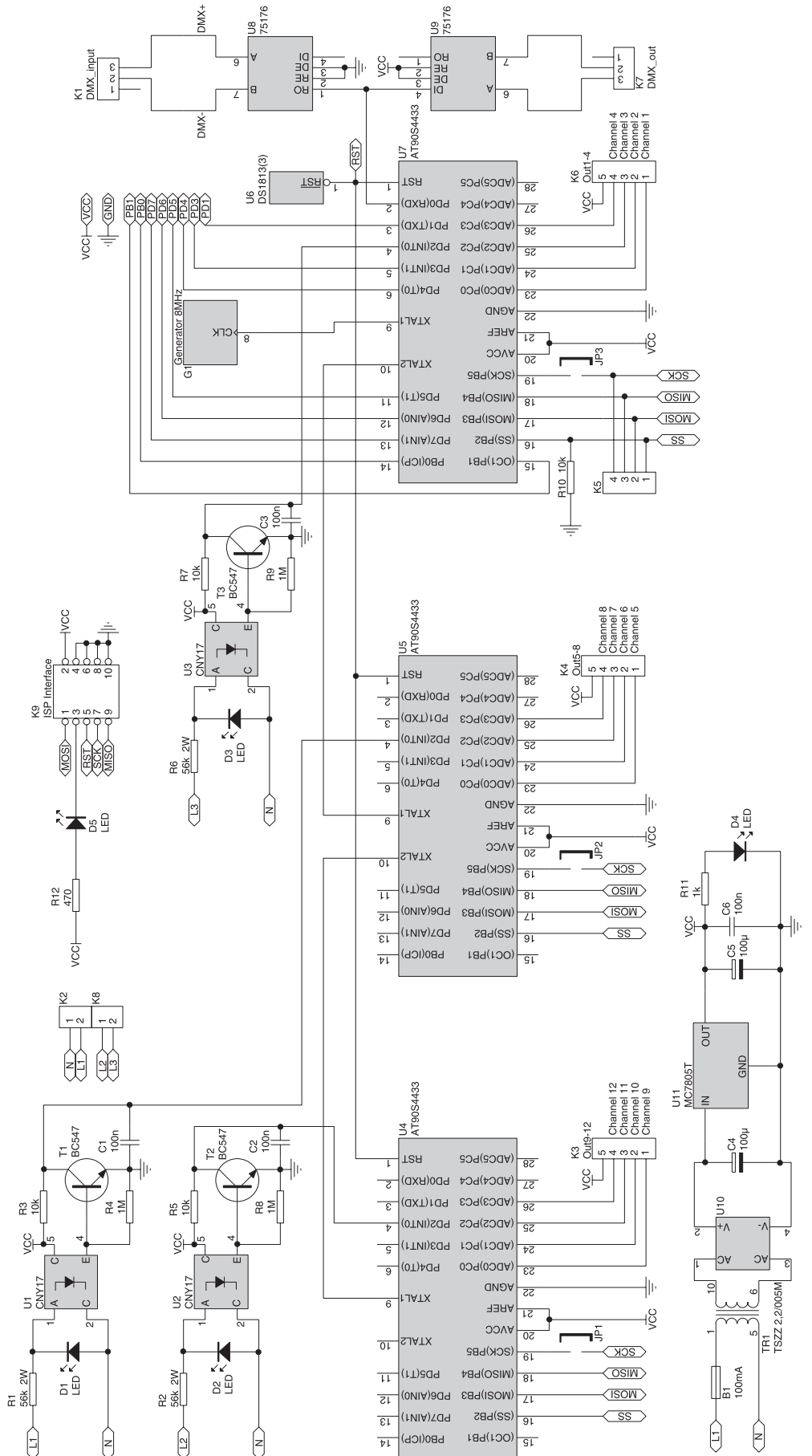
w pozycji pierwszej, czyli że będzie zasilana z pierwszego ściemniacza generalnego oraz że dotyczy pola zielonego.

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 kasety regulacyjne nie wprost, lecz przez zespół przekaźników umożliwiających wybór jednego z czterech półnastawczych. 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.

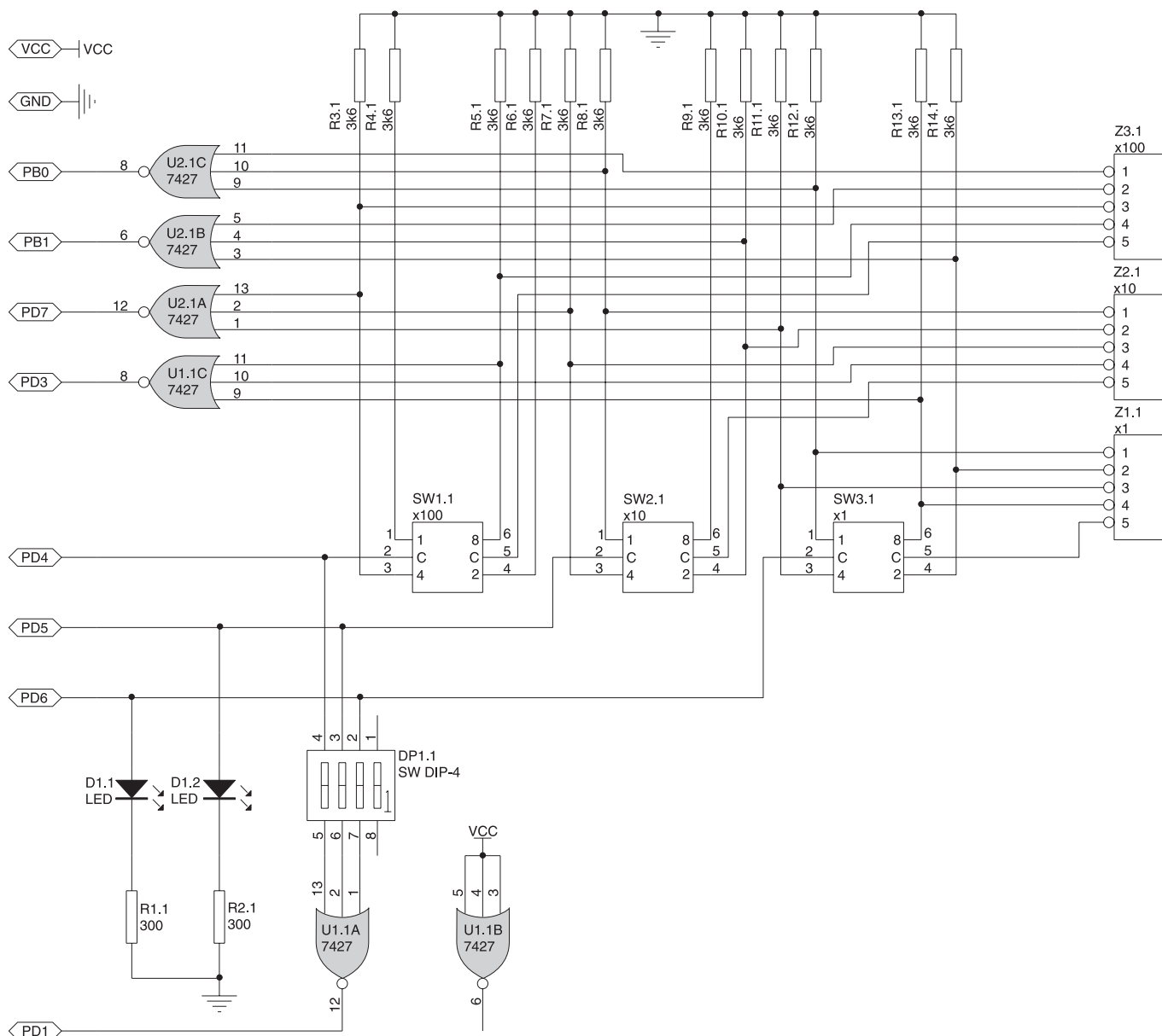
Początkowo pulpity miały wyjścia analogowe 0...10V, co pozwalało wykorzystać linie sterujące nastawni analogowej - do każdego regulatora dochodziły dwa przewody sterujące. W rozbudowanych systemach ich liczba dochodziła do kilkuset. Właśnie ta ogromna liczba linii sterujących była impulsem do opracowania 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



Rys. 4. Schemat elektryczny regulatora - część mikroprocesorowa, detektory przejścia przez zero



Rys. 5. Schemat elektryczny dekodera adresowego

(USITT) - Instytut Technologii 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 najważniejszą 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-żyłowych złączy XLR. Dopuszcza się również stosowanie złączy 3-ży-

kowych. 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 napięcie 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 μ s, czyli długość ramki wynosi 44 μ 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 μ s. Następnym sygnałem jest znacznik - *MARK AFTER BREAK* (w skrócie MAB). Czas jego trwania ustalono na 8 μ s (później powstały systemy zdolne rozpoznać znacznik o długości 4 μ s i są one oznaczone jako DMX512/

1990). Po przesłaniu MAB, sterownik wysyła tzw. bajt startowy (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 następne bajty. Po wysłaniu sekwencji startowej sterownik rozpoczyna transmisję bajtów z danymi, począwszy od pierwszego kanału. Przerwa pomiędzy ramkami danych jest oznaczana jako *MARK BETWEEN FRAME* (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 μ 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 wcześniejszą 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 urządzenia na nieoczekiwane przerwy w transmisji DMX.

Andrzej Biliński

Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: <http://www.ep.com.pl/?pdf/kwiecien03.htm> oraz na płycie CD-EP4/2003B w katalogu PCB.

WYKAZ ELEMENTÓW

Część mikroprocesorowa (rys. 4)

Rezystory

0,125W jeśli nie zaznaczono inaczej

R1, R2, R6: 56k Ω /2W

R3, R5, R7, R10: 10k Ω

R4, R8, R9: 1M Ω

R11: 1k Ω

R12: 470 Ω

Kondensatory

C1...C3, C6: 100nF ceramiczny

C4...C5: 100 μ F/25V

Półprzewodniki

D1...D5: dioda LED

T1...T3: BC547

U1...U3: CNY17 transoptor

U4, U5, U7: AT90S4433 - zaprogramowany

U6: DS1813

U8, U9: 75176

U10: mostek prostowniczy (okrągły)

U11: 7805

Różne

TR1: TSZZ 2,2/005M - transformator sieciowy do druku

B1: bezpiecznik topikowy 100mA + gniazdo do druku

K2, K8: styk konektorowy płaski do druku (męski) w prototypie zastosowano złącze z oferty ELFY nr katalogowy 48-251-21 z usuniętym środkowym stykiem

K1, K7: złącze 3x1 raster 2,54mm komplet

K3, K4, K6: złącze 5x1 raster 2,54mm komplet

K5: złącze 4x1 raster 2,54mm komplet (można nie montować, przewidziane do ewentualnej rozbudowy - SPI)

K9: 5x2 raster 2,54mm header (ISP)

JP1...JP3: jumpery

G1: generator kwarcowy 8MHz

Dekoder adresowy (rys. 5)

Rezystory

Wszystkie rezystory 0,125W

R1.1...R2.1: 300 Ω

R3.1...R14.1: 3,6k Ω

Półprzewodniki

D1.1, D2.1: dioda LED

U1.1, U2.1: 7427

Różne

SW1.1...SW3.1: nastawnik kodowy DEC/BCD

Z1.1...Z3.1: złącze 5x1 raster 2,54mm komplet (stosować przy nastawnikach montowanych na płycie czołowej)

DP1.1: DIP switch (4 segmenty)

Wyjściowy stopień mocy (rys. 6)

Rezystory

R1...R4: 300 Ω /0,125W

R5...R8: 27 Ω /2W

Kondensatory

C1...C4: 100nF/400V

Półprzewodniki

LED1...LED4: dioda LED

Triak1...Triak4: BTA26-600

U1...U4: MOC3020

Różne

CON1...CON8: styk konektorowy płaski do druku (męski) w prototypie zastosowano złącze z oferty ELFY nr katalogowy 48-251-21 z usuniętym środkowym stykiem

K1: złącze 5x1 raster 2,54mm komplet