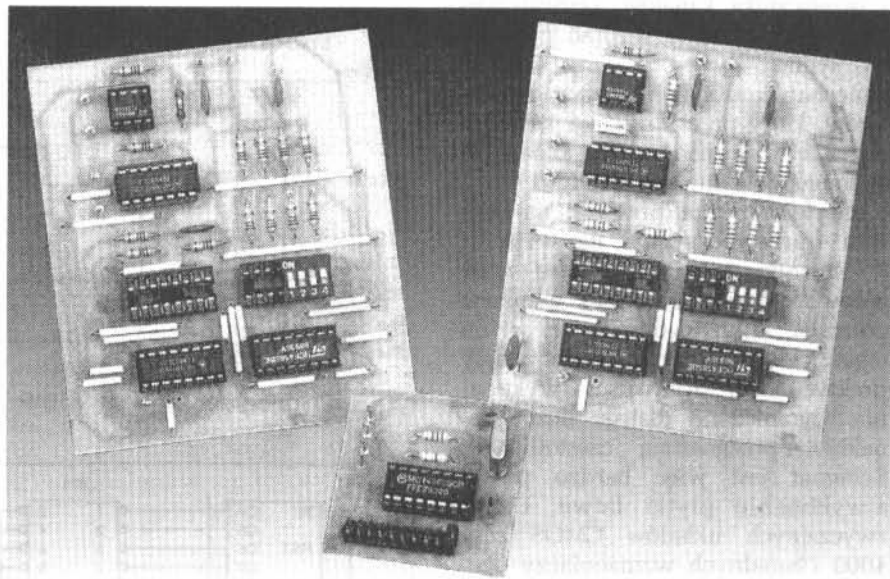


Pośród najmłodszych technologii lwią część dotyczy wszelkiego rodzaju łączności.

Niestety, zróżnicowanie standardów łączności, a jeszcze bardziej środków przenoszenia, często prowadzi do niewykorzystania pełnych możliwości systemu. Często więc spotykamy się z wielką liczbą przewodów, z których każdy służy do przesyłania innego sygnału, a całe ich wiązki wymagają poważnych systemów przełączających. Poniższy układ przedstawia wykonane bardzo skromnymi środkami rozwiązanie do bardzo wielu zastosowań. Przyjęty system sprowadza się do multipleksowania wielu sygnałów w jednej linii. Chociaż zasada ta daje się zastosować do wysokich częstotliwości pracy, ze względu na prostotę i użycie prostych podzespołów, ograniczono się do małych częstotliwości.

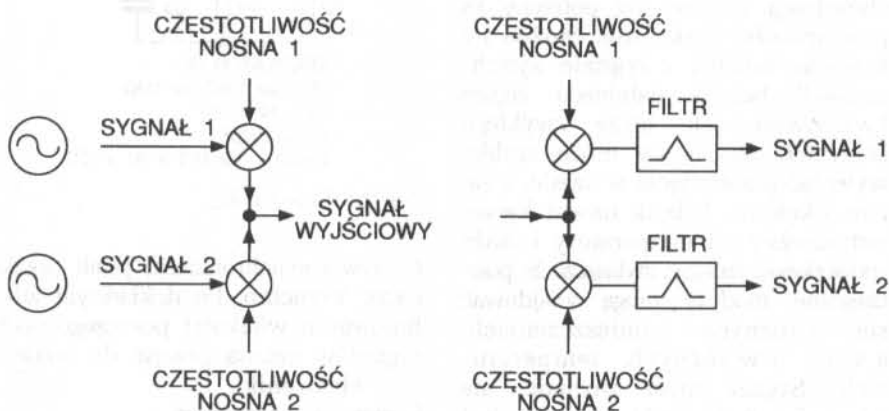
# Multiplekser czasowy m.cz.



## Transmisja jednym kanałem wielu sygnałów

Transmisja wielu sygnałów jednym kanałem jest jedną z podstaw nowoczesnej elektroniki. Wystarczy przypomnieć dziedzinę łączności radiowej i telekomunikacji, aby zdać sobie sprawę z wagi tego sposobu transmisji. Multipleksowanie przestrzenne, czyli częstotliwościowe, polega na mieszaniu nadawanych sygnałów z częstotliwością nośną w pasmie o pewnej szerokości. Poszczególne sygnały różnią się częstotliwością nośną, co po ich odeb-

raniu pozwala je odfiltrowywać celem wyodrębnienia pożądanego sygnału. Metoda ta wymaga generatorów częstotliwości nośnych, wielaczy częstotliwości, odpowiednio dostrojonych filtrów oraz całego systemu dokładnej regulacji. Jest to więc dosyć złożony układ elektroniczny wysokiej częstotliwości (rys. 1). Inny system transmisji jest oparty na multipleksowaniu sygnałów w czasie. To znaczy, że w momencie  $T_i$  jest przekazywany sygnał  $S_i$ . W tym systemie transmisji nadawany sygnał musi być próbkowany w odpowiednich momentach  $T_i$ , co zgodnie z prawem Shannona wymaga szerokości pasma sygnału nie przekraczającej  $F_i/2$ , gdzie  $F_i$  jest częstotliwością próbkowania. Potrzebny jest więc generator częstotliwości  $F_i$ , układ próbkujący do wybierania w momentach  $T_i$  próbek nadawanego sygnału, a po stronie odbiorczej drugi generator częstotliwości  $F_i$  oraz układ próbkująco-blokujący do odtwarzania nadanego sygnału. Generatory, aby odebrać wymagane sygnały, muszą oczywiście być zsynchronizowane (rys. 2). Ta właśnie zasada multipleksowania w czasie została przyjęta ze względów praktycznych.



Rys. 1. Multipleksowanie częstotliwościowe

**Przyjęty schemat**

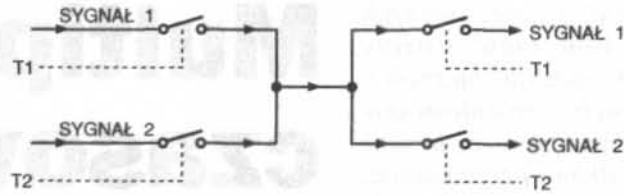
Multipleksowanie sygnałów w tym samym przewodzie wymaga, jak już to stwierdzono powyżej, następujących oddzielnych części:

- generatora częstotliwości wyznaczającej czasowe momenty odniesienia poszczególnych operacji, tak przy nadawaniu jak i przy odbiorze,
- przełącznika kanałów, pozwalającego użytkownikowi wybrać pożądaną sygnal,
- mechanizmu synchronizacji generatorów, który przełącznikowi kanałów pozwoli rozpoznać numer kanału obecnego właśnie na linii,
- interfejsu sygnał/przewód na wejściu i przewód/sygnał na wyjściu.

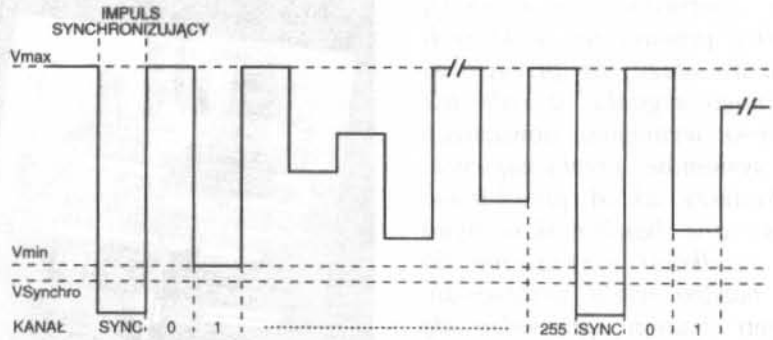
Wszystkie te zespoły zostaną szczegółowo omówione, jednak najpierw potrzeba kilku ogólnych uwag na temat całości. Trzymano się zasady praktyczności i łatwości wykonania. Ograniczono dlatego liczbę kanałów i przenoszoną częstotliwość. Schemat jest więc bardzo prosty a wykonanie płytki łatwe. Użyto zwyczajnych układów CMOS serii 4000 i banalnych wzmacniaczy operacyjnych. Tolerancja wartości elementów biernych w większości przypadków przekracza 50%, co pozwala korzystać z zapasów z szuflady. Jeśli chodzi o ilość kanałów, to jest do dyspozycji 256 kanałów małej częstotliwości albo 16 kanałów wyższej częstotliwości. Możliwe jest także mieszanie obu rodzajów kanałów, pamiętając, że kanał większej częstotliwości jest równoważny 16 kanałom małej częstotliwości. Można więc mieć 8 kanałów wyższej częstotliwości i 128 małej. Po przedstawieniu ogólnej charakterystyki układu, można przystąpić do jego dokładniejszego rozważenia.

**Sygnaly na linii**

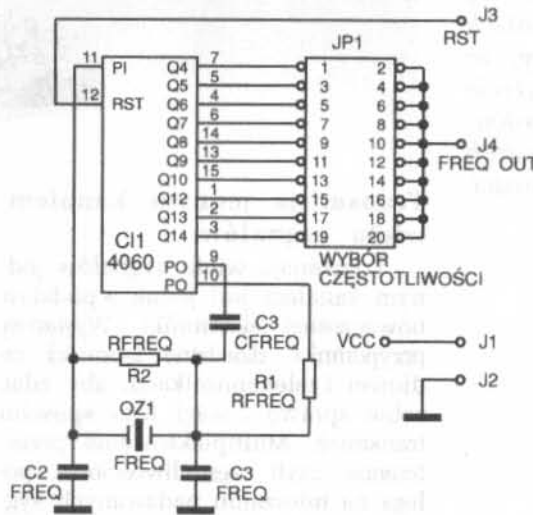
Zgodnie z zasadą, że rysunek jest lepszy od długiego wykładu, na rys. 3 przedstawiono sygnał w linii. Na początku jest widoczny sygnał synchronizacji, wymuszający zerowanie linii. W czasie tego impulsu w każdym module przyłączonym do linii zostają skasowane liczniki, co przygotowuje je do odbioru następnego sygnałów. Następnie pojawiają się poszczególne kanały w porządku chronologicznym: każdy moduł, nadawczy czy odbiorczy, wie kiedy wysłać lub odebrać sygnał. Po przejściu ostatniego kanału następny impuls synchronizacji na nowo



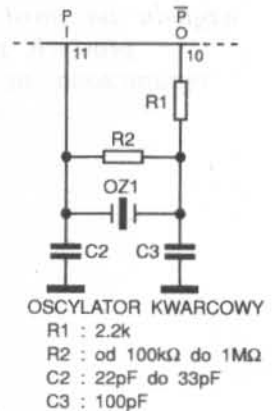
Rys. 2. Multipleksowanie w funkcji czasu



Rys. 3. Chronogram sygnału w linii

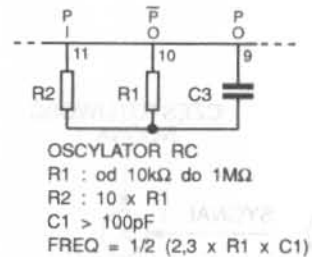


Rys. 3. Schemat generatora zegarowego



Rys. 5. Obwód kwarcu

porządkuje cały system. Można by powiedzieć, że po początkowej synchronizacji nie ma już potrzeby jej powtarzania. I tak i nie. Można by bowiem myśleć o sygnale synchronizacji bardzo stabilnego zegara kwarcowego, ale także zwykłego generatora RC, który może szybko wywołać przesunięcie w czasie, a zatem i kanału. Jednak nawet kwarc jest zależny od temperatury i może spowodować zmiany, zwłaszcza że poszczególne moduły mogą znajdować się w różnych pomieszczeniach, a więc i w różnych temperaturach. Sygnał musi zawierać się w granicach  $V_{min}:V_{max}$ , aby był odczytywalny przez wszystkie moduły i aby nie został wzięty za sygnał



Rys. 6. Obwód RC

falszywej synchronizacji, jeżeli przekroczy  $V_{synchro}$ . Po dokładnym zdefiniowaniu wielkości poszczególnych sygnałów można przejść do właściwej elektroniki.

**Generator zegarowy**

To na nim opiera się cały układ. Musi więc być taki sam

w każdym module, a od jego charakterystyki zależy pasmo przenoszenia sygnału dającego się przesłać linią. Układ generatora jest bardzo prosty (rys. 4). Jest to układ CMOS 4060, który generuje wszystkie potrzebne częstotliwości. Elementem oscylującym może być albo kwarc, jak pokazuje rys. 5, korzystny ze względu na precyzję i stabilność, albo tańszy układ RC (rys. 6), składający się z dwóch rezystorów i kondensatora. W tym przypadku częstotliwość oscylacji oblicza się ze wzoru:

$$F = 1/(2,3 R1 C3), \text{ gdy } R2 = 10 R1$$

Z oscylatorem jest połączony dzielnik, z którego za pomocą zwornika wybiera się częstotliwość.

**Przełącznik kanałów**

Zespół ten mieści się zarówno w nadajniku, jak i w odbiorniku i dlatego zostanie omówiony osobno. Decyduje on bowiem o momencie dostępu do linii nadajnika i odbiornika. Przełącznik składa się z licznika typu 4040, którego zada-

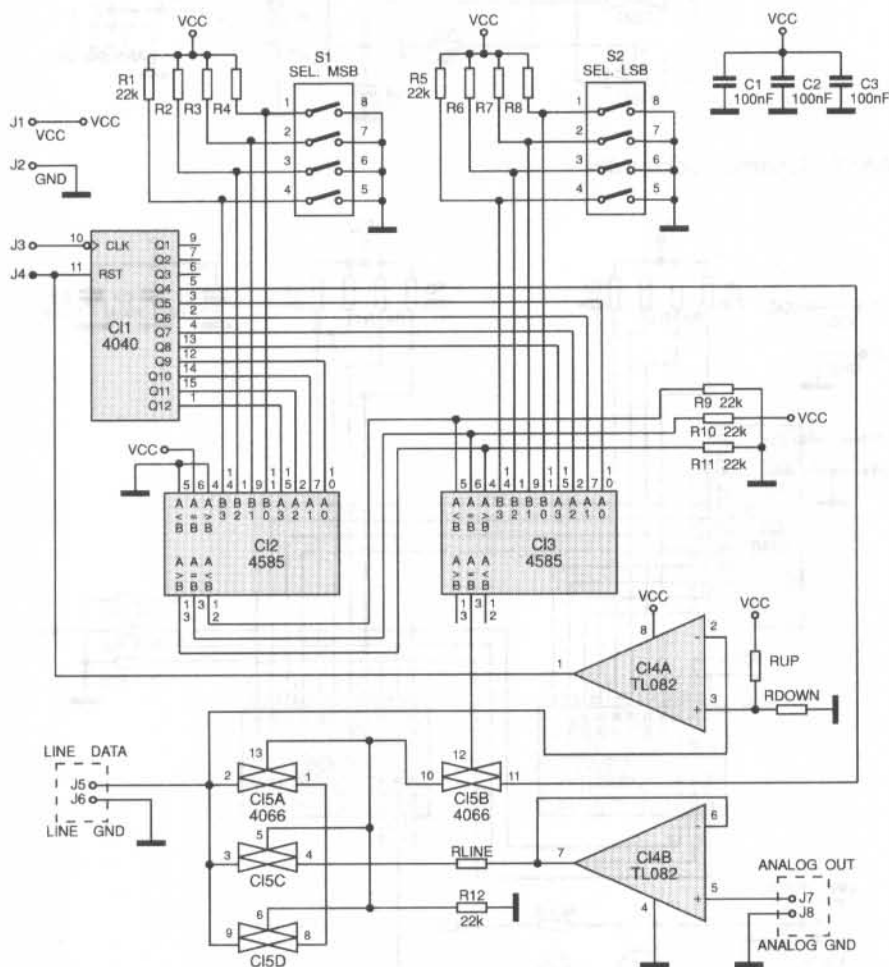
niem jest podział czasu na jednakowe odcinki, za pośrednictwem częstotliwości 16 razy mniejszej od częstotliwości wejściowej. Na 8 starszych bitach znajduje się zespół komparatorów typu 4585, porównujących stan licznika z wartością ustaloną za pomocą przełączników DIP. Wyjście P = Q jest więc potwierdzane za każdym przejściem kanału I. Wyjście to jest następnie używane do dostępu do linii przez nadajnik lub odbiornik. Dekoder ten od pojawienia się na linii sygnału mniejszego od Vsynchro jest synchronizowany za pośrednictwem wzmacniacza operacyjnego w układzie komparatora. Rezystory Rup i Rdown polaryzują wejście odwracające do poziomu Vsynchro i z chwilą pojawienia się impulsu synchro na linii licznik 4040 zostaje skasowany.

Zaletą tego układu jest możliwość dysponowania na tej samej linii kanałami o różnych częstotliwościach multipleksowania. W tym celu stosowane są albo

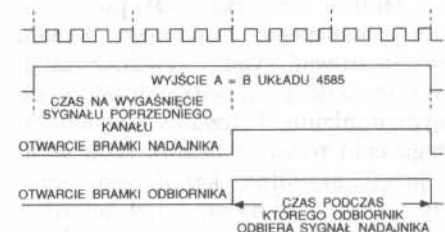
zespół ośmiu wyłączników DIL i dwa układy 4585, albo cztery przełączniki DIL i jeden 4585. Otrzymuje się w ten sposób w wersji z dwoma 4585 pełne zdekodowanie ośmiu bitów licznika, co pozwala uzyskać 256 kanałów, ale małej częstotliwości, albo w wersji jednego 4585 16 kanałów o częstotliwości 16 krotnie wyższej. Zmieszanie tych dwóch rodzajów kanałów jest możliwe pod warunkiem, że nie będzie nakładania się jednych na drugie. Postanowiono w tym celu przedstawić kanały w formacie HH:LL. H przedstawia starsze bity kanału umiejscowione pomiędzy 0 i 15, a L młodsze również pomiędzy 0 i 15. W przypadku użycia trybu 256 kanałów otrzymuje się cały zakres, czyli od 0:0 do 15:15. W trybie 16 kanałów dostępne są tylko XX:0 do XX:15. Trzeba pamiętać, że te dwa typy kanałów mogą współistnieć na tej samej linii, o ile nie zachodzą na siebie. Na przykład sygnał MCz1 mieści się w kanale XX:4, sygnał MCz2 w kanale XX:7, podczas gdy 16 innych sygnałów, na przykład w rodzaju sterowania przełącznikami, mieści się pomiędzy 00:5 i 15:5. W chwili pojawienia się na linii sygnału synchronizacji, który kasuje wewnętrzne liczniki dekodera, kanał 0:0 zostaje zajęty przez ten impuls. Trzeba więc uważać, aby nie ustanawiać na tym kanale odbiornika (na wyjściu którego będzie zawsze zero), czy nadajnika, którego wyjście zostanie zwarte. Rzeczywista ilość dostępnych dla sygnałów kanałów wynosi 255, pomimo że jest ich 256. Ale nie jest to przecież wielka strata.

**Nadajnik**

Na tym samym rysunku co dekodek kanałów (rys. 7) znajduje się bardzo prosty zespół nadawczy sterowany sygnałem P = Q z 4585. Chodzi o bramkę składającą się z 4066, która otwiera dostęp do linii wzmacniaczowi operacyjnemu, działa-



Rys. 7. Schemat nadajnika



Rys. 8. Chronogram zliczania

jącemu jako bufor. Linia jest sterowana sygnałem ze wzmacniacza operacyjnego za pośrednictwem rezystora, umieszczonego w tym miejscu w celu ochrony i dobrania właściwego poziomu sygnału wyjściowego. Trzeba tu przypomnieć, że linia dysponuje zespołem rezystorów przyłączonych do poziomu wysokiego. Wraz z rezystorem wyjściowym wzmacniacza operacyjnego, poziom wszystkich sygnałów użytecznych zostaje ułożony pomiędzy  $V_{min}$  i  $V_{max}$  (rys. 3). Jest to zakres powyżej poziomu synchronizacji, co pozwala przesłać bez kłopotu wszystkie sygnały. Ten rezystor linii może zostać ewentualnie przystosowany do charakterystyki linii (zob. dalej ustęp o obliczaniu oporności). Sterowanie przełącznikiem jest dokonywane w taki sposób, aby dać czas poprzedniemu sygnałowi zaniknąć, ale zanim sygnał zostanie przyjęty przez odbiornik kanału (rys. 8).

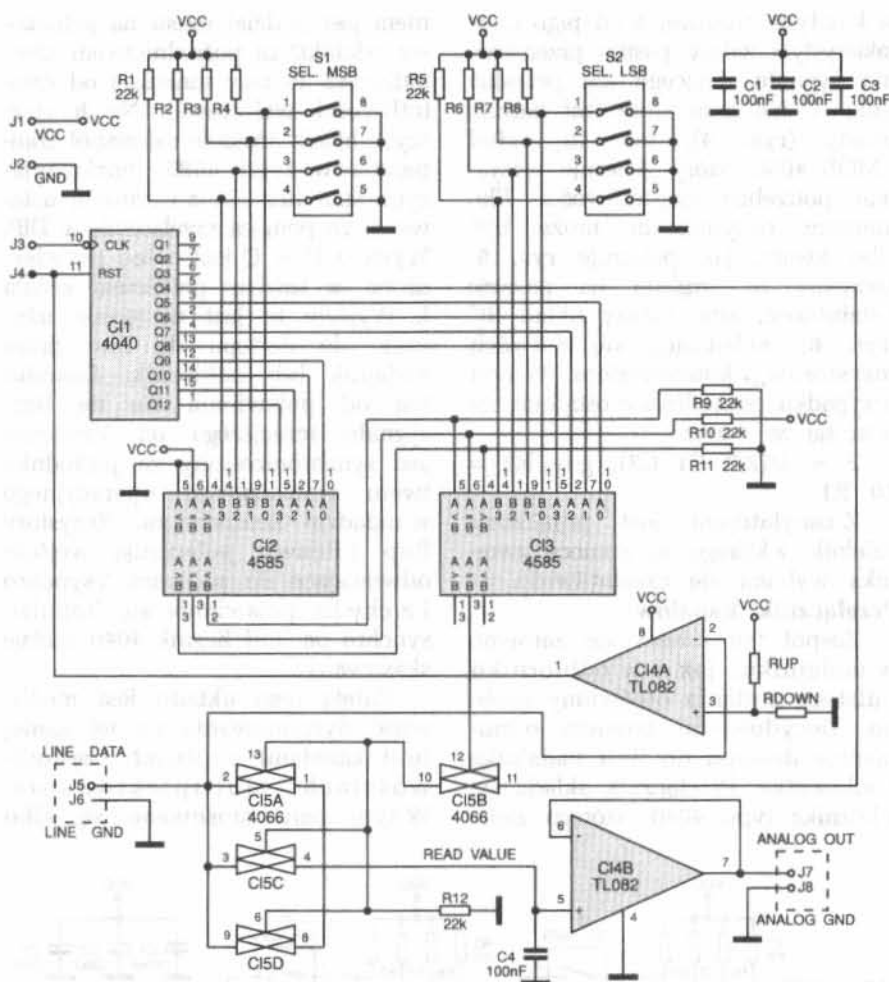
**Odbiornik**

Odbiornik (rys. 9) działa zgodnie z tą samą logiką co nadajnik, w tym sensie, że sygnał zezwolenia przychodzący z 4585 wywołuje otwarcie bramki 4066. Sygnał z niej wychodzący zostaje przekazany do kondensatora-zbiornika, umieszczonego na wejściu buforowego wzmacniacza operacyjnego. Zespół bramek 4066, kondensator-zbiornik i wyjściowy wzmacniacz operacyjny o wysokiej oporności wejściowej, działają w roli układu próbkowania-blokowania. Dlatego kondensator-zbiornik powinien być raczej dobrej jakości, o małej upływności. Sygnał zezwolenia bramki jest w taki sposób skorelowany z innymi, pochodzącymi z licznika 4040, aby bramka została otwarta po pewnym czasie od początku kanału. Ma to na celu danie sygnałowi czasu na uformowanie się na linii, przełączniki 4066 nie są bezbłędne. Próbkę sygnału zostanie wzięta dopiero w momencie  $T_{in}$ , jak to pokazano na rys. 8.

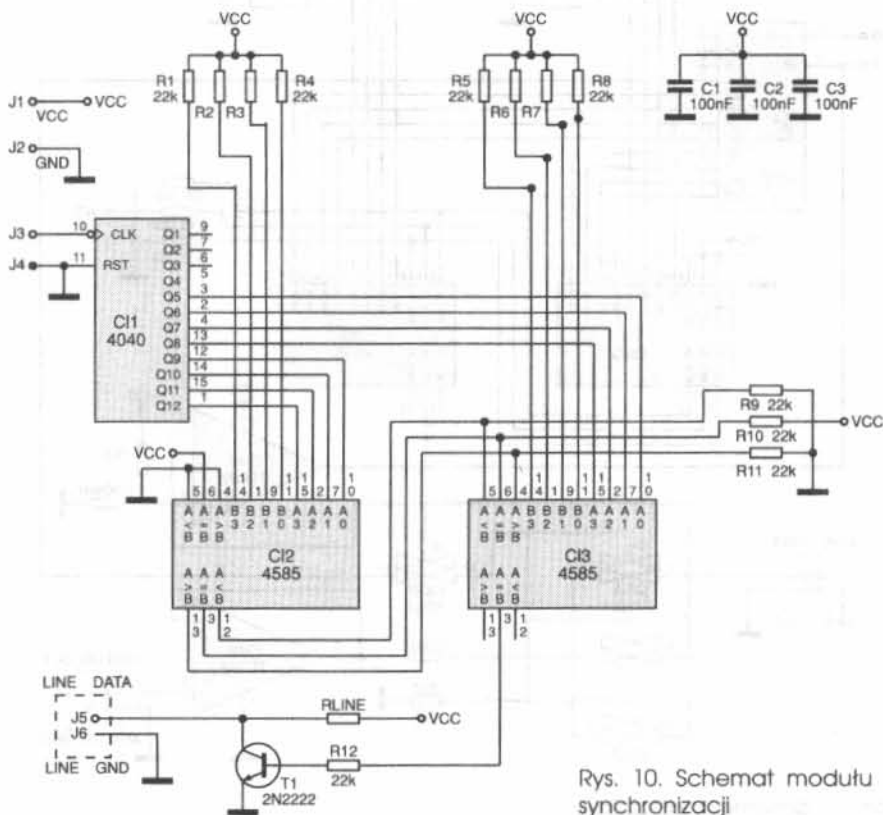
Sygnał zezwolenia bramki jest w taki sposób skorelowany z innymi, pochodzącymi z licznika 4040, aby bramka została otwarta po pewnym czasie od początku kanału. Ma to na celu danie sygnałowi czasu na uformowanie się na linii, przełączniki 4066 nie są bezbłędne. Próbkę sygnału zostanie wzięta dopiero w momencie  $T_{in}$ , jak to pokazano na rys. 8.

**Generator synchronizacji**

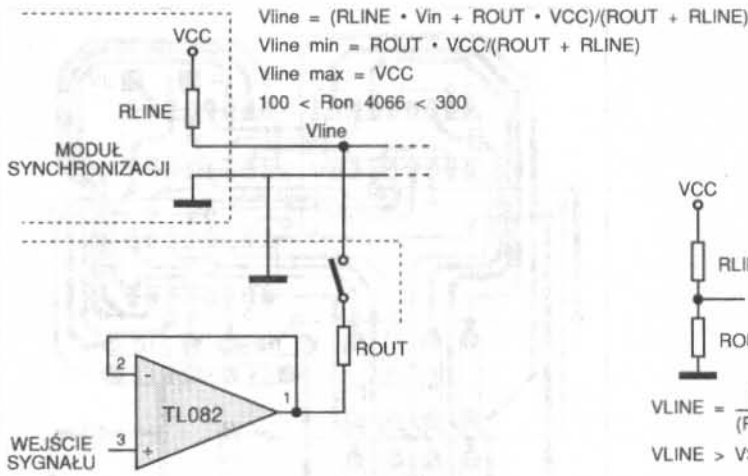
Moduł ten (rys. 10) powinien na zakończenie ostatniego kanału wygenerować sygnał synchronizacji, sprowadzający wszystkie moduły do synchronizmu. Potrzebny jest mu do tego celu również licznik typu 4040 i jeżeli aktualny kanał jest maksymalnym kanałem ustawionym przełącznikami DIP, linia przesyłowa zostaje wprowadzona w stan niski za



Rys. 9. Schemat odbiornika

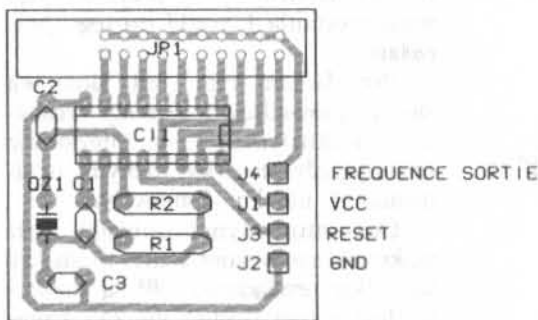


Rys. 10. Schemat modułu synchronizacji

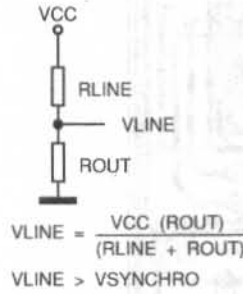


Rys. 11. Wybór rezystorów linii

pośrednictwem wyjścia P= Q 4585 i tranzystora npn typu 2N2222. Najwyższa wartość ustawiona przełącznikami DIP określa maksymalną liczbę kanałów dostępnych na linii przesyłowej. Wyzerowanie licznika dokonane zostaje następnym impulsem z wyjścia A>B. Innym ważnym parametrem tego układu jest oporność rezystora Rline, który polaryzuje całą linię. Podciąga on linię do poziomu wysokiego. Jego duża oporność, rzędu 100kΩ, zmniejszy całkowity pobór prądu przez linię, ale spowoduje za to obniżenie szybkości jej działania i zwiększenie jej podatności na zewnętrzne zakłócenia. Mała oporność wpłynie dodatnio na szybkość i odporność na zakłócenia, i będzie to linia o niskiej impedancji (należy więc wybrać Rline w granicach rzędu stu omów. Nie można jednak zbyt zmniejszać Rline, prąd bowiem nie powinien przekraczać 40mA. Rline zatem winien mieć oporność około 270Ω.



Rys. 13. Rozmieszczenie elementów na płytce generatora zegarowego



Rys. 12. Obliczanie napięcia linii

**Wybór krytycznych oporności**

Jak już wspomniano, przesyłany sygnał jest dostarczany za pośrednictwem bramki 4066. Jej zadaniem jest jedynie przekazanie na linię napięcia o odpowiednim poziomie, jak pokazano na rys. 11. Rezystory łączące interfejs z linią należy zatem dobierać ostrożnie. Musi być spełniony szereg wymagań:

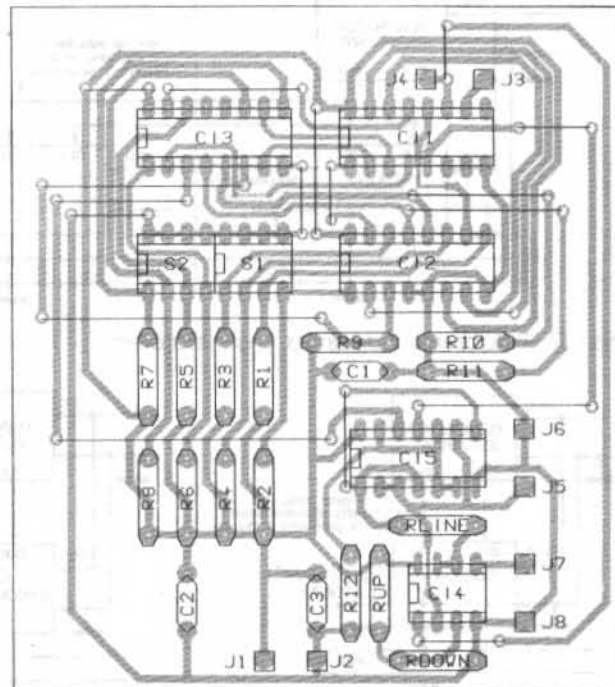
- przede wszystkim minimalny poziom nadawanego sygnału nie może przekroczyć poziomu synchronizacji. Jest to łatwe do spełnienia, jak widać na rys. 12, pokazującym ustalanie minimalnego poziomu na linii. Poziom ten zależy od rezystora

obciążenia linii Rline i od rezystora umieszczonego na wyjściu wzmacniacza operacyjnego w module nadawczym.

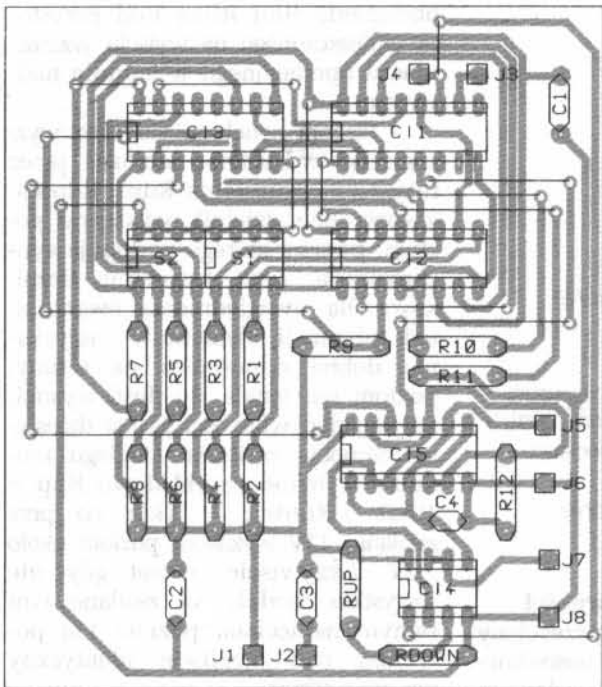
- Poziom synchronizacji jest wyznaczony w każdym module przez rezystory odniesienia Rup i Rdown. Tworzą one dzielnik ustalający poziom, poniżej którego następuje synchronizacja, czyli kasowanie liczników. Dla uwzględnienia ewentualnej tolerancji elementów i uzyskania dobrej odporności na szumy, poziom ten ustala się dość wysoki, na przykład wielkości jednej dziesiątej napięcia zasilania każdego modułu. Wybrano przykładowo Rup = 10kΩ i Rdown = 1kΩ, co przy zasilaniu 12V wyznacza poziom około 1,2V. Oczywiście, nawet gdy nie wszystkie moduły są zasilane tym samym napięciem, poziom ten powinien być możliwie identyczny we wszystkich.

**Wykonanie**

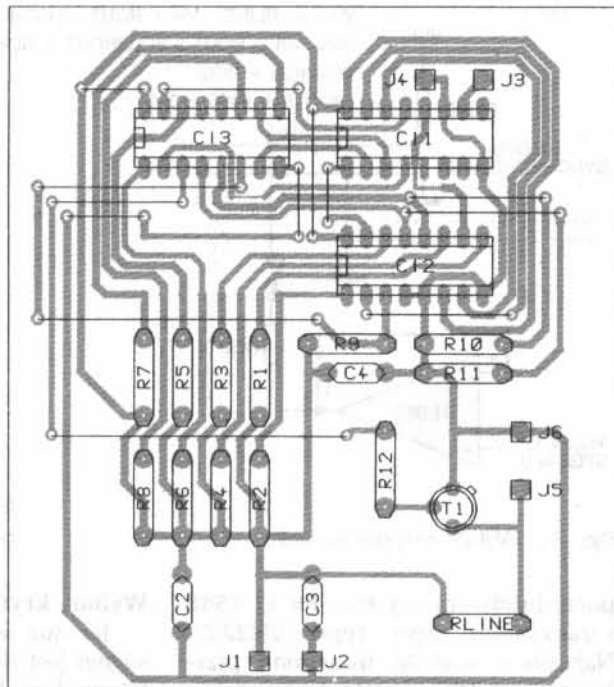
Montaż nie powinien sprawiać żadnych trudności. Dla ułatwienia wykonania płytki są jednostronne, z umiarkowaną liczbą zworek. Płytki drukowane wszystkich modułów są pokazane na wkładce. Rozmieszczenie elementów na płytce modułu generatora jest pokazane na rys. 13, nadajnika na rys. 14, odbiornika na rys. 15, a synchronizacji na rys. 16.



Rys. 14. Rozmieszczenie elementów na płytce nadajnika



Rys. 15. Rozmieszczenie elementów na płytce odbiornika



Rys. 16. Rozmieszczenie elementów na płytce modułu synchronizacji

Układy scalone lepiej jest umieścić w podstawkach, pozwala to bowiem zmieniać wersję 16 kanałową w 256 kanałową i na odwrót. Rezystory połączone z przełącznikami DIP służą jedynie do wyznaczania poziomów wysokich, można więc stosować dowolne wartości (od 1kΩ do 1MΩ). Pojem-

ności kondensatorów odsprzęgających również mogą być wybrane w zakresie setek nF, także i ceramiczne. Kondensatory wymagają jednak większej troski.

**Połączenie całości**

Po zmontowaniu modułów, zgodnie z ustalonymi potrzebami z punktu widzenia liczby kanałów i prze-

noszonego pasma częstotliwości, można przejść do łączenia ich w całość. Kilka schematów może być do tego pomocnych. Na tych schematach są pokazane połączenia poszczególnych modułów z generatorem zegarowym, na rys. 17 nadajnika, na rys. 18 odbiornika, a na rys. 19 synchronizacji. Połączenia te powinny być możliwie jak najkrótsze, szczególnie zegara i kasowania.

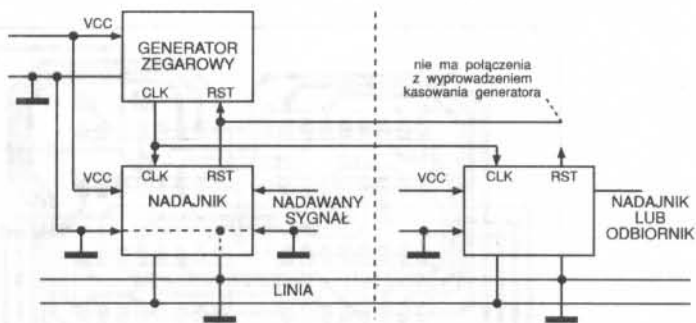
Jeżeli w jednym miejscu jest potrzebny więcej niż jeden kanał, wystarczy tam jeden generator zegarowy. Na linii może być tylko jeden moduł synchronizacji, który służy do synchronizowania całości.

Konfiguracja zainstalowanego układu jest przedstawiona na rys. 20. **Przykład zastosowania**

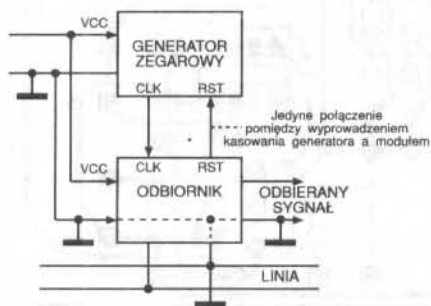
Tym, których zakres możliwości tego układu mógłby odstraszyć można przedstawić jeden przykład jego wykorzystania i środki do tego potrzebne.

Przykładem tym jest domowa sieć rozprowadzająca sygnały częstotliwości akustycznych do interfonów oraz sygnały sterujące różnymi urządzeniami użytku domowego.

Generator synchronizacji jest maksymalnie wykorzystany, to znaczy wszystkie przełączniki DIP są rozwar- te. Jest zatem dostęp do 255 kanałów. Osiem kanałów jest przeznaczonych do przenoszenia ludzkiego głosu (zakłada się istnienie 8 źródeł).

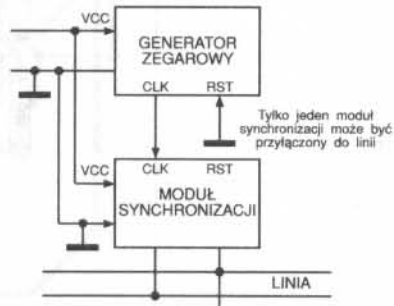


Rys. 17. Połączenie nadajnika z generatorem

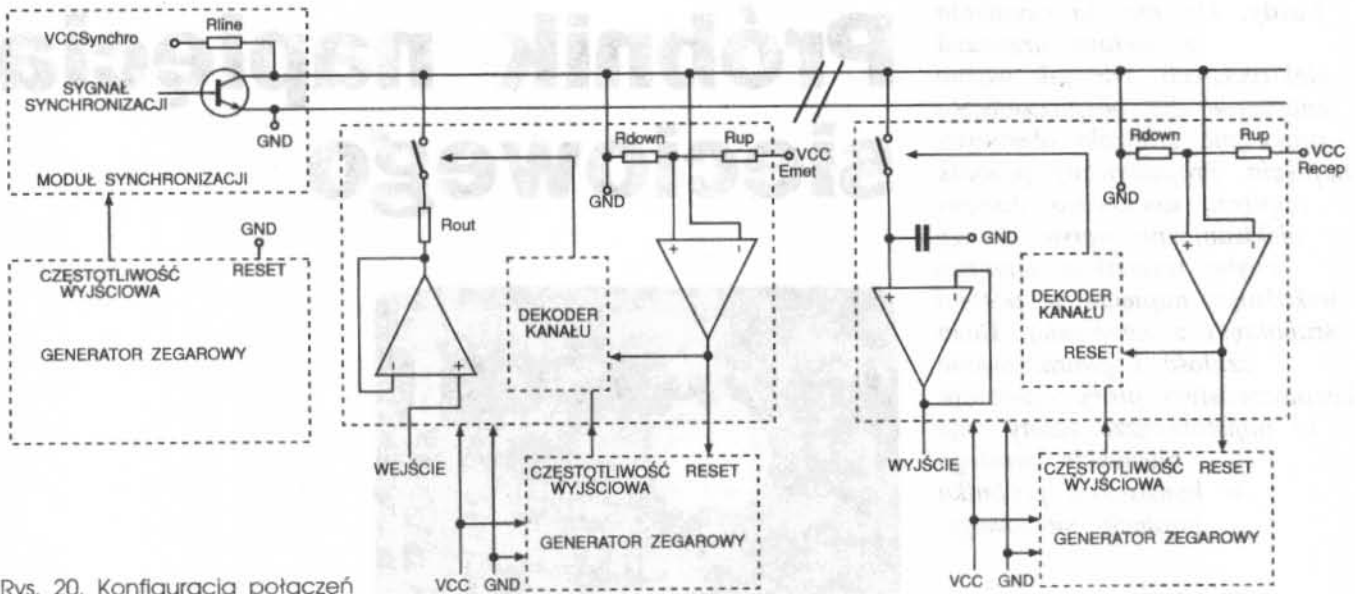


Rys. 18. Połączenie odbiornika z generatorem

nie ma połączenia z wyprowadzeniem kasowania generatora



Rys. 19. Połączenie modułu synchronizacji z generatorem



Rys. 20. Konfiguracja połączeń

Szerokość pasma wynosi 3kHz. Kanały te będą zatem kanałami typu XX:00. Przyjmuje się więc XX:1 do XX:8. Oprócz tego będą sygnały sterowania dla 58 urządzeń. Przypomina to raczej fabrykę niż mieszkanie, ale jest zupełnie możliwe. Przyjmuje się kanały o niskiej częstotliwości próbkowania typu 0:0. Będą więc kanały 0:9 do 15:9 dla kanałów 0 do 15, 0:10 do 15:10 dla kanałów 16 do 31, 0:11 do 15:11 dla kanałów 32 do 47 i 0:12 do 10:12 dla kanałów 48 do 57.

Wyboru częstotliwości zegarowej dokonuje się przede wszystkim na

podstawie pasma przenoszenia przesyłanych częstotliwości akustycznych:

Na linii trzeba dysponować 16 kanałami o częstotliwości 4kHz lub częstotliwością 64kHz.

Biorąc pod uwagę podział przez 16 w dekodерze kanału, trzeba mieć częstotliwość wyjściową generatora zegarowego 1024kHz. Przy kwarcu 8MHz, dla otrzymania tej częstotliwości na wyjściu 4060 potrzebny jest dzielnik 23.

#### Zakończenie

Na zakończenie można stwierdzić, że precyzyjne urządzenie jest wykonalne bez wielkich wydatków za

pomocą zwyczajnych, ogólnie dostępnych elementów. Możliwości tego urządzenia są duże, a jego modyfikacja łatwa. Stosując wydajniejsze przełączniki analogowe, sprawdzisz parametry zastosowanej linii transmisji, można pokusić się o użycie wyższych częstotliwości i większej liczby kanałów. Jednakże już ilość 255 kanałów może być uznana za zadowalającą. Ponadto, takie rozwiązanie nie jest ograniczone i można sobie wyobrazić szereg innych jeszcze modułów przyłączonych do linii zgodnie z opisanymi regułami dekodowania kanału i zupełnie nie zakłócających działania innych modułów.

#### ERP

#### WYKAZ ELEMENTÓW

##### Generator zegarowy

##### Rezystory

R1, R2: zob. tekst

##### Kondensatory

C1, C2, C3: zob. tekst

##### Półprzewodniki

CI1: CD4060

##### Różne

Y1: częstotliwość zob. tekst

##### Nadajnik

##### Rezystory

Rdown: do masy, zob. tekst

Rline: rezystor linii, zob. tekst

Rup: do zasilania, zob. tekst

R1-R12: 22kΩ (od 1kΩ do 1MΩ)

##### Kondensatory

C1-C3: 100nF

##### Półprzewodniki

CI1: CD4040

CI2, IC3: CD4585

CI4: TL082

CI5: CD4066

##### Różne

S1, S2: przełączniki DIP, poczwórne

##### Odbiornik

Te same elementy co w nadajniku oraz C4: 100nF

##### Generator synchronizacji

##### Rezystory

Rline: zob. tekst

R1-R12: 22kΩ (od 1kΩ do 1MΩ)

##### Kondensatory

C1-C3: 100nF

##### Półprzewodniki

T1: 2N2222

CI1: CD4040

CI2, CI3: CD4585