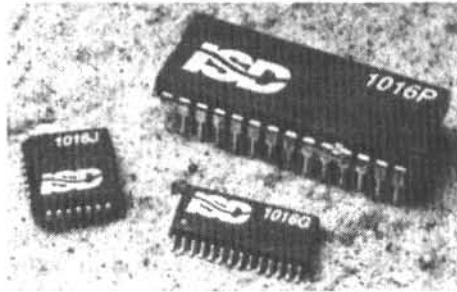


W EP ukazało się już kilka artykułów na temat układów ISD10xx. Możliwości tych układów wywołują wielkie zainteresowanie.

Oto jeszcze jeden artykuł na ten temat. Opisujemy w nim szczegółowo budowę i działanie tego układu scalonego. Jest to więc pogłębienie tematu prezentowanego w EP 1/94. Mamy nadzieję, że ten artykuł wraz z publikacją w EP 1/94 dadzą pełny obraz pracy i możliwości rodziny układów scalonych ISD10xx.

ISD10xx bez tajemnic



Na początek przypomnijmy, że do budowy układu pozwalającego zapisywać i odtwarzać dźwięk wystarczy dodać do kostki ISD10xx głośnik, mikrofon, kilka elementów R,C, dwa przełączniki i źródło zasilania 5V. Możliwe jest także zapisanie kilku oddzielnych wypowiedzi i wybranie, która z nich ma być odtworzona. W prostej aplikacji mini-magnetofonu, opisanego w EP 2/94, obsługa sprowadza się do naciskania dwóch przycisków ZAPIS i ODCZYT. Tak więc - choć budowa wewnętrzna jest bardzo skomplikowana - układ scalony jest „user friendly” - przyjazny dla użytkownika. Nawet początkujący elektronik nie powinni więc mieć kłopotów ze stosowaniem tej kostki.

Znaczna część ogólnych informacji o układach ISD jest zawarta

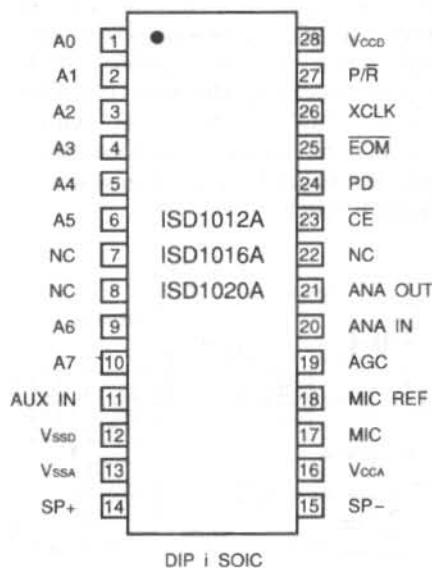
w EP 5/93; w EP 1/94 znajdziemy pełny opis wszystkich możliwości sterowania. Nie powtarzamy zamieszczonych tam danych, a więc dla pełnego obrazu należy wrócić do lektury tamtych artykułów.

Opis układu

Dla użytkownika istotne jest, że układ ma wbudowane wzmacniacze wejściowe z automatyką oraz wzmacniacz głośnikowy. Z tymi funkcjami analogowymi związane jest 8 końcówek układu. Dalsze 8 końcówek to wejścia adresowe, następne 5 to końcówki sterujące. Przybliżmy nieco zasadę działania tego układu. Sercem każdego układu serii ISD10xx jest pamięć nieulotna (EEPROM) - elektrycznie zapisywana i kasowana. Całkowita pojemność (128kb) jest podzielona na 160 rzędów - niezależnych rejestrów, z których każdy składa się z 800 komórek. W zależności od częstotliwości próbkowania daje to całkowity czas zapisu 12, 16 lub 20 sekund. Podane dalej parametry, jeśli nie wspomniano inaczej, dotyczą najpopularniejszego układu 1016, który ma częstotliwość próbkowania 8kHz i przenosi sygnały w pasmie do 3,4kHz.

Rejestry są odtwarzane kolejno, a każdy z nich ma fizyczny adres od 0 do 159. Układ ma 8 wejść adresowych pozwalających rozpocząć nagrywanie lub odtwarzanie od początku dowolnie zaadresowanego rejestru. Nie ma natomiast dostępu do informacji, który rejestr jest na bieżąco odtwarzany, albo gdzie zakończyło się odtwarzanie. Nie jest to jednak niezbędne, ponieważ zastoso-

wano inne rozwiązanie - na końcu każdej wypowiedzi przy zapisie jest wstawiony znacznik końca wypowiedzi (EOM - End of Message). Przy odczycie napotkanie tego znacznika powoduje automatyczne zakończenie odtwarzania. Możliwe jest wielokrotne nagrywanie - stara treść i znaczniki ulegają automatycznemu skasowaniu. Działanie układu przypomina więc magnetofon lub compact disk, w którym można rozpocząć odtwarzanie od początku dowolnego utworu. Takie działanie nazywa się trybem adresowym (ADDRESS MODE). Zauważmy, że adresy do 159 (dwójkowo 10011111) nie wykorzystują wszystkich możliwości osmiobitowego wejścia adresowego. Producent bardzo ciekawie to wykorzystał - adresy wejściowe powyżej 192 (11000000) nie określają już rejestru, ale pełnią zupełnie inne zadanie. Mianowicie, dla ułatwienia życia użytkownikom wbudowano pewne typowe i potrzebne funkcje w układ i można je wykorzystać, uruchamiając je również przez wejścia adresowe, tyle że z adresem powyżej 192 - praktycznie wymaga to ustawienia dwóch najstarszych bitów adresowych w stanie wysokim H. Ponieważ przy takim adresowaniu zadaje się nie adres, tylko funkcję układu - zapis i odczyt rozpoczyna się wtedy zawsze od adresu zero czyli od początku pamięci. Ten rodzaj pracy nazywa się trybem operacyjnym (Operational Mode). Adresy 160-191 nie są wykorzystywane - takie zaadresowanie doprowadza natychmiast układ do stanu przepelnienia, czyli układ „nie wystartuje”.



Rys. 1.

Pamięć

Sposób zapisu komórek pamięciowych w uproszczeniu można opisać następująco: każdą komórkę (a jest to rodzaj kondensatora) można naładować do określonego napięcia - otrzymamy wtedy próbkę chwilowej wartości sygnału. Mówi się, że układy ISD zapamiętują próbki analogowe - nie jest to do końca prawdą. Zapis jest pseudoanalogowy. Przy zapisie próbkę sygnału dołącza się do jednego wejścia komparatora, a wybraną komórkę do drugiego. Następnie małymi porcjami ładunek jest „wlewany” do komórki. Gdy napięcia się wyrównają, zapis się kończy. Analogiczna sytuacja jest przy odczycie. Ponieważ są to określone porcje ładunku, mamy tylko ograniczoną liczbę różnych poziomów napięcia (praktycznie 256) - odpowiada to liniowemu ośmiobitowemu przetwornikowi D/A. Nie jest to więc rewelacja. Przy okazji, w związku z pytaniami Czytelników możemy podać pewne rady. Pasma 3,4kHz jest zupełnie wystarczające do praktycznych zastosowań - o to martwić się nie należy. Dostrzegalną (właściwie słyszalną) cechą układu może być natomiast niezbyt wielka dynamika. Objawia się to zauważalnym szumem przy odczycie - i to jest zagadnienie, którym ewentualnie można się zająć. Skuteczne sposoby powiększania dynamiki omówimy i zaproponujemy w przyszłości. Wracając do sposobu zapisu należy dodać, że dzięki zapisywaniu małymi „porcjami” (co oznacza mniejsze narażenia struktury pamięci przy zapisie) osiąga się większą niezawodność niż w podobnych cyfrowych pamięciach EEPROM. Dodatkowo, w przeciwieństwie do pamięci cyfrowej uszkodzenie kilku, a nawet kilkuset przypadkowych komórek nie ma znaczenia - jest niesłyszalne. Tak więc producent gwarantuje 100.000 (!) cykli zapisu i spodziewa się 100-letniej trwałości zapisanej informacji (gwarantuje 10 lat trwałości zapisu).

Szumy i zakłócenia

Jak widać z tego pobieżnego opisu układy wewnętrzne są bardzo złożone, a ich praca w czasie zapisu może zakłócać sygnały wejściowe. Aby zminimalizować ten wpływ należy stosować odpowiednie zasady. Przede wszystkim dotyczy to zasilania. Układ ma oddzielne końcówki zasilające

bloki cyfrowe i analogowe. W szczególności końcówka VCCD (n. 28) jest źródłem zakłóceń podczas zapisu. Jeśli te zakłócenia przejdą na końcówkę VCCA (n. 16) lub wejścia wzmacniaczy (n. 17, 18, 19, 20) to zwiększą się szumy.

Istotne jest właściwe odblokowanie obu końcówek zasilających oraz prowadzenie masy. Bliższe szczegóły można znaleźć w biuletynie USKA 9, 10 /93. Ogólnie zaleca się prowadzić jak najszerze ścieżki masy, a obwody i elementy analogowe usytuować jak najbliżej układu scalonego.

Do zasilania trzeba użyć źródła o małej impedancji i małych szumach (ostrożnie z zasilaczami impulsowymi). Ponadto śmiało można używać baterii. Ponieważ potrzebne jest tylko napięcie 5V, można użyć czterech ogniw 1,5V i zastosować szeregową diodę krzemową. Do baterii 9V należy dołączyć stabilizator 78L05 z ewentualną diodą na wejściu, zabezpieczającą przed odwrotną biegunowością. Należy zastosować dwa kondensatory blokujące 100nF blisko obu końcówek „+” zasilania (n. 16 i 28) oraz jeden elektrolit 10...100μF.

Jeżeli układ pracuje wyłącznie w trybie odczytu, to według materiałów firmy ISD nie jest potrzebny żaden kondensator odblokowujący zasilanie.

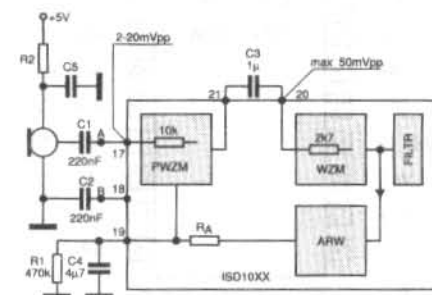
Wewnętrzne układy analogowe

Dla prawidłowej pracy wewnątrz układu jest wytwarzany potencjał „masy analogowej”. Ma on typowo 1,5V. Takie też jest napięcie na końcówkach analogowych (n. 17, 18, 20) oraz podczas odtwarzania na wyjściach głośnikowych (n. 14, 15). Spójrzmy teraz na rys. 2. Sygnał mikrofonu wchodzi na n. 17. Druga końcówka wejścia różnicowego (n. 18) powinna być dołączona przez kondensator do tego punktu masy, gdzie jest dołączony mikrofon. Może to zmniejszyć szumy o 10dB w stosunku do sytuacji bez C2. Kondensatory C1 i C3, z odpowiednimi rezystancjami wewnętrznymi (patrz rys. 2), określają dolną częstotliwość graniczną. Dla podanych wartości - 3 decybelowa dolna częstotliwość graniczna wynosi ok. 80Hz. Elementy C4 i wewnętrzny rezystor RA określają czas narastania (atak) układu ARW. C4 i R1 decydują o czasie

opadania ARW. Można je dowolnie dobierać, ale podane wartości zazwyczaj wystarczą.

Czytelnicy może będą się martwić, jak zapewnić podane na rys. 2 poziomy. Nie ma strachu! Typowy elektretowy mikrofon (np. MEO55) wystarczy. Dla odległości mniejszych niż 10cm od ust sygnał i tak będzie za duży - pojawią się zniekształcenia. Można także do punktów A, B dołączyć inne źródło sygnału lub „wchodzić” bezpośrednio na drugi wzmacniacz (n. 20) rezygnując z układu ARW. Układ ARW daje lepszą dynamikę - zapisywane są zarówno dźwięki ciche jak i głośne. Wprowadza on natomiast zniekształcenia typowe dla układów z ARW.

Podanie sygnału wprost na wejście 20 daje mniej zniekształceń, ale wymaga dokładnego dobrania poziomu. Poziom za mały w efekcie da niewielki odstęp od szumów i treść będzie ledwo słyszalna, zbyt duży sygnał zaowocuje zniekształceniami wynikającymi z obcinania szczytów. Najlepsze jest przeprowadzenie szeregu zapisów próbnych w różnych warunkach i wybranie optymalnego sposobu zapisu. Przy okazji uściślijmy, że podane w artykule z EP 5/93 na str. 54 napięcia 1,8 oraz 1,5V dotyczą napięcia ARW na końcówce 19, a nie zmiennych napięć wejściowych. Wyjścia głośnikowe (Speaker) - końcówki 14 i 15 przeznaczone są do podłączenia głośnika 16Ω i dostarczają wtedy mocy 50mW. Typowy pobór prądu w czasie pracy jest rzędu 25mA. Zaleca się włączenie w szereg z ewentualnym głośnikiem 8Ω rezystora 8...10Ω, lecz możliwe jest też użycie samego głośnika 8Ω - wzrosną wtedy moc wyjściowa, ale też pobór prądu i zniekształcenia. Mniejszej impedancji niż 8Ω stosować nie wolno. Z uwagi na wyraźne zniekształcenia przy 8Ω najlepiej jednak zastosować głośnik 16Ω.



Rys. 2.

Wyjście głośnikowe jest wyjściem mostkowym, to znaczy, że sygnały obu końcówek (14 i 15) są w przeciwfazie.

Można oczywiście wykorzystać jedną końcówkę i podać sygnał niesymetryczny na np. wzmacniacz zewnętrzny. Jest tylko jedno ale. Jak wiemy potencjał obu końcówek wynosi średnio 1,5V - tak, lecz tylko przy odczycie. W pozostałych przypadkach (uwaga!) obie końcówki są wewnętrznymi tranzystorami zwarte do masy. Jest to zabezpieczenie wyjścia przed ewentualnymi uszkodzeniami przez napięcia indukowane w głośniku przy np. wstrząsie, upadku. Na początku cyklu odczytu pojawi się więc na wyjściach SP skok napięcia od masy do ok 1,5V. Przy niesymetrycznym sprzężeniu z np. wzmacniaczem zewnętrznym objawi się to głośnym nieprzyjemnym stukiem.

Głośnik i obudowa

Przy zastosowaniu głośnika należy wziąć pod uwagę jego efektywność. Pasma praktycznie każdego głośnika sięga do 3,4kHz. Występują natomiast duże różnice w skuteczności czyli sprawności zamiany energii elektrycznej na akustyczną. Miniaturowe głośniczki mają małą sprawność, najsprawniejsze są natomiast głośniki tubowe. W praktycznych aplikacjach lepiej użyć głośnika o możliwie dużych wymiarach.

Dużo zależy również od obudowy. Zaleca się w miarę możliwości wykonanie swego rodzaju kolumny wytłumionej gąbką, watą itp. Pozwoli to wykorzystać dostępną z układu ISD moc bez wzmacniacza dodatkowego. Autor osiągnął dobre wyniki z głośnikiem GD 8/1, 16Ω, 1W.

Różne

Wyprowadzenie AUX IN zostało wystarczająco omówione w EP 5/93. Pozostałe końcówki są związane z częścią cyfrową i mają poziomy napięcie typowe dla układów TTL. Wejście XCLK (eXternal CLock) umożliwia stosowanie generatora zewnętrznego. Wbudowany generator jest korygowany (dostrajany) w procesie produkcji i jego dokładność wystarcza w praktycznie wszystkich zastosowaniach. Zmiany temperaturowe i inne są małe i ich wpływ jest nie do zauważenia „na słuch“.

Jedynie w wyszukanych aplikacjach, gdy np. następuje ciągła rejestracja w pętli i wykorzystuje

się mikroprocesor, może okazać się konieczna dokładna synchronizacja. Należy wtedy podać sygnał o poziomach TTL o częstotliwości dla ISD 1016 równej 1024kHz i dowolnym współczynniku wypełnienia. Normalnie końcówka 26 musi być zwarta do masy. Niektórzy Czytelnicy proponują lub pytają o możliwości podania innej częstotliwości na to wejście aby otrzymać inne, najczęściej dłuższe czasy zapisu. Zasadniczo jest to możliwe. Bliższa analiza pokazuje jednak, że zazwyczaj nie warto tego robić. Przy częstotliwości większej teoretycznie poszerza się pasmo ale kosztem skrócenia czasu nagrania. W kostce zastosowano stałe klasyczne filtry a nie filtry na przełączanych pojemnościach (patrz rys. 2 i 3 w EP 5/93 str 53, 54). Tak więc częstotliwość graniczna filtra jest stała, niezależna od częstotliwości zegara. Przy zwiększonej częstotliwości skróci się czas zapisu, a pasmo i tak pozostanie stałe z uwagi na filtry. Przy mniejszej częstotliwości dłuższy czas zapisu wiąże się z węższym pasmem, ale tu okaże się, że częstotliwość próbkowania (w ISD 1016 normalnie - 8kHz) niebezpiecznie zbliży się do pasma przepustowego co spowoduje dodatkowe zniekształcenie sygnału (kryterium Nyquista). Można to ewentualnie wypróbować praktycznie.

Końcówki sterujące

Teraz kilka słów o trzech głównych końcówkach sterujących. Mogą one dzięki specjalnej budowie bezpośrednio współpracować z przełącznikami i przyciskami, nie boją się bowiem drgań zestyków. Wejście P/R\ (Playback/Recording\) było wystarczająco omówione w EP 5/93 str. 54.

Końcówka PD (Power Down)

Ta końcówka może spełniać trzy zasadnicze funkcje:

1. Podanie ciągłego stanu wysokiego przełącza układ w tryb oczekiwania, pobór prądu wynosi wtedy typowo 1μA - idealna cecha do pracy z baterii. Producent zaleca taki sposób zamiast całkowitego odłączania zasilania z uwagi na m.in. zabezpieczenie wzmacniacza głośnikowego przez zwarcie do masy, co zostało wcześniej omówione przy końcówkach SP. W czasie pracy końcówka PD powinna być w stanie niskim.

2. Gdy cała zawartość pamięci została zapisana lub odtworzona układ

przechodzi w stan OVERFLOW - przepełnienia i pozostaje w tym stanie. Do skasowania tego stanu i powrotu do stanu gotowości należy podać na PD dodatni impuls nie krótszy niż 300ns.

3. Wyprowadzenie PD może także służyć do zapoczątkowania cyklu pracy. Szczegóły zamieszczone były w EP 1/94.

Z końcówką PD związany jest czas TPUD (POWER UP DELAY). Ten długi jak na układy scalone czas - 25ms można traktować jako chwilę potrzebną na przygotowanie układu do pracy po „ożywieniu“ ze stanu bezprądowego oczekiwania.

Końcówka CE\

Jest to podstawowe wejście sterujące zapisem i odczytem. W spoczynku ma mieć stan H. Opadające zbocze na tym wejściu wpisuje do wewnętrznego rejestru sterującego stany wejść adresowych AO - A7 oraz końcówki P/R\ . (Później w czasie pracy zmiany stanów tych wejść nie wpływają na funkcję układu aż do następnego opadającego zbocza na CE\).

W trybie zapisu (końcówka P/R\ w stanie niskim) zapis trwa przez czas gdy na wejściu CE\ jest stan niski. Rosnące zbocze na CE\ spowoduje wpisanie w najbliższym dostępnym miejscu znacznika końca wypowiedzi EOM i zakończenie zapisu. Należy zaznaczyć, że zapis trwa jeszcze 12,5 do 37,5ms po wystąpieniu tego rosnącego zbocza na CE\ . Związane to jest z budową wewnętrzną układu.

W przeciwieństwie do zapisu odczyt (P/R\ = H) następuje po podaniu krótkiego ($T_{ce} \geq 100ns$) ujemnego impulsu na CE\ . Zostanie wtedy odtworzona wypowiedź od podanego adresu do najbliższego znacznika końca wypowiedzi EOM lub do końca pamięci, gdy zapisano wszystkie komórki. Gdy zapisano kilka oddzielnych wypowiedzi, wtedy wyzwalane takimi impulsami będą odtwarzane kolejno (przy odpowiednim trybie pracy). Ciągłe utrzymywanie stanu L na CE\ spowoduje ignorowanie kolejnych znaczników EOM i odtworzenie zawartości do końca.

Dla pełnej jasności dodajmy, że opadające zbocze CE wpisuje w trybie adresowym adres rzędu (rejestru), od którego rozpocznie się zapis lub odtwarzanie, a w trybie operacyjnym (OPERATIONAL MODE) rozdzaj pracy.

Wyjście EOM, stan OVERFLOW

Występuje tylko jedna końcówka wyjściowa EOM\, może ona przyjąć prąd do 4mA, napięcie wyjściowe nie przekroczy przy tym 0,4V (tak jak wejście LSTTL).

Wyjście cyfrowe EOM\ spełnia dwie funkcje:

- sygnalizuje koniec zapisanej wypowiedzi - występuje ujemny impuls o długości typ. 12,5ms
- sygnalizuje całkowite wypełnienie (kostka pełna).

Wyjaśnijmy to bliżej. Oprócz pamięci „analogowej“ układ posiada także dodatkowy blok zapamiętujący miejsce zakończenia wypowiedzi. Mówiliśmy, że pamięć główna jest zorganizowana w 160 rzędów po 800 komórek. Tak więc można rozpocząć pracę nie od dowolnego miejsca, ale tylko od jednego ze 160 początków tych rzędów zaadresowanych przez bity A0-A7. Podobnie zapis można zakończyć nie w zupełnie dowolnej chwili, tylko w wyznaczonym miejscu. Różnica polega na tym, że przy każdym rzędzie są cztery miejsca na wpisanie znacznika końca. Jest więc razem $160 \cdot 4 = 640$ możliwych miejsc zakończenia pracy.

O ile początek (adres startu) określamy z rozdzielczością (dla ISD 1016) 16sek : 160 rzędów = 100ms, to stop nastąpi z rozdzielczością czterokrotnie większą czyli 25ms. Może się więc zdarzyć, że kończymy zapis na pierwszym możliwym miejscu na znacznik EOM w rzędzie (rejestrze), a zaczynamy następny od następnego rejestru co spowoduje nie wykorzystanie 75ms z czasu pracy. Nie ma jednak na to rady.

Drugą konsekwencją takiego rozwiązania jest trudność, a nawet niemożliwość zapewnienia ciągłości frazy przy przejściu od końca do początku pamięci przy odtwarzaniu w pętli.

W prostszych aplikacjach nie jest istotne, ale należy mieć świadomość, że wystąpienie dodatniego zbocza sygnału CE\ nie kończy momentalnie zapisu tylko zapis trwa jeszcze (w zależności od miejsca gdzie trafimy) 0...25ms do najbliższego miejsca na bit EOM czyli razem 12,5...37,5ms. Przy odczycie treść występuje na wyjściach SP nie tylko do pojawienia się ujemnego impulsu na wyjściu EOM\, ale przez cały czas jego trwania (12,5ms) aż

do rosnącego zbocza impulsu EOM\ na końcówce 25.

W artykule z EP 5/93 na rys. 4c wkraśli się błąd - sygnał na wyjściach SP trwa tam zbyt długo, a powinien kończyć się wraz z impulsem EOM\, w EP 1/94 jest to narysowane poprawnie.

Trzeba jeszcze podać, że przy zapisie po dojściu do końca pamięci (czyli w stanie OVERFLOW - przepelnienia) stan końcówki EOM\ powtarza (transmituje) stan wejścia sterującego CE\, stanowiąc sygnał CE\ dla następnej kostki przy kaskadowym ich połączeniu. Przy odczycie w trybie adresowym po przepelnieniu pojawia się tam na trwałe stan niski. Wyjście AUX IN (pin 11) jest wtedy dołączone do wzmacniacza wyjściowego. Wyjście ze stanu przepelnienia umożliwia dodatni impuls PD jak opisano wcześniej.

Takie zebranie dwóch funkcji (koniec wypowiedzi oraz przepelnienie) w jednej końcówce powoduje w niektórych skomplikowanych aplikacjach spore trudności.

Jest to chyba zresztą jedyna sprawa, do której można się w tych kostkach „przyczepić“. W nowych kostkach ISD 25xx rozdzielono już funkcje wprowadzając końcówkę OVF (OVERFLOW) - pin 22.

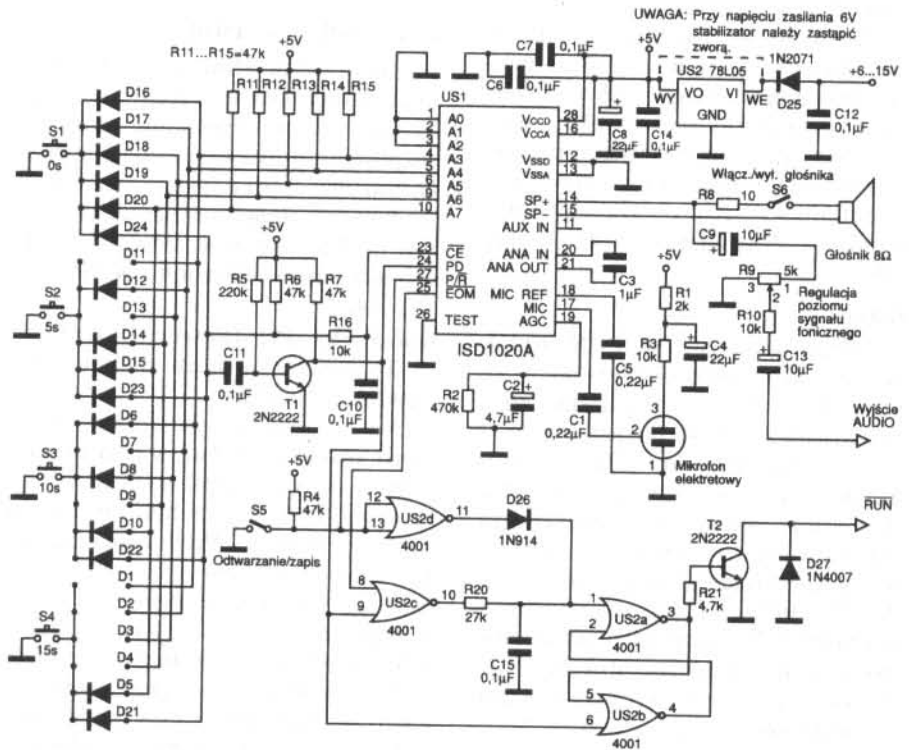
Przykład zastosowania

Na rysunku 3 znajduje się, pochodzący z materiałów firmowych, interesujący układ zapisu/odczytu czterech niezależnych wypowiedzi (komunikatów) wybieranych przyciskami. Wykorzystano tryb adresowy, a adresy oraz długości poszczególnych komunikatów można programować diodami. Urządzenie posiada dodatkowo wyjście sygnału audio do dołączenia zewnętrznego wzmacniacza oraz wyjście RUN\ sygnalizujące pracę układu. Szczegółową analizę działania Czytelniczy przeprowadzą sami. Wyjaśnimy tylko, że wykorzystanie wejścia PD ma związek z wyjściem ze stanu przepelnienia, gdyby ostatni komunikat wypełnił pamięć do końca (OVERFLOW).

Mamy nadzieję, że podane w artykule informacje usatysfakcjonują naszych Czytelników. Informujemy też, że wobec wielkiego zainteresowania pracujemy nad kilkoma układami z zastosowaniem kostek ISD.

Piotr Górecki

Układy ISD10xx są w ofercie detalicznej AVT. Ilości hurtowe można zamawiać u wyłącznego dystrybutora w Polsce, którym jest wrocławska firma PHU Marta s.c., tel/fax (0-71) 67 71 71.



Rys. 3.