



# Radary kablowy,

## czyli

# zbuduj własny TDR



Przyrząd opisany w artykule pozwoli naocznie zaobserwować wszystkie ważne zjawiska, charakterystyczne dla techniki w.cz. Będzie pełnił rolę edukacyjną. Będzie też wykorzystywany praktycznie przez miłośników techniki w.cz. na przykład do badania właściwości kabli, lokalizacji uszkodzeń w sieciach kablowych, do pomiaru długości (zwinętych) przewodów.

Projekt powstał wskutek licznych prób i pytań. Na przykład do Skrzynki Porad trafiają pytania dotyczące kabli. Jedno z nich dotyczyło możliwości zmierzenia rezystancji falowej kabla antenowego za pomocą miernika uniwersalnego. Pytano o sposoby rozróżnienia kabla 50-omowego od kabla 75-omowego. Napłynęły też prośby o przedstawienie przyrządu pozwalającego lokalizować miejsca uszkodzenia kabla metodą impulsową.

Oczywiście omomierzem i za pomocą prądu stałego nie da się zmierzyć parametrów, które dają o sobie znać dopiero przy wysokich częstotliwościach. Nie znaczy to, że do pomiarów kabli antenowych i innych konieczne jest specjalistyczne i kosztowne oprzyrządowanie. Niniejszy artykuł prezentuje proste urządzenie, które nie tylko pomoże zmierzyć rezystancję falową kabla, ale i sprawdzić jego tłumienie, zlokalizować ewentualne uszkodzenia i w niecodzienny sposób... zmierzyć jego długość bez korzystania z metrówki.

Nazwa *radar kablowy* wskazuje na zasadę pracy. W literaturze fachowej przyrząd taki nazywany jest TDR (time domain reflectometer, reflektometr w dziedzinie czasu). W badany kabel wpuszczany jest krótki, stromy impuls. Impuls ten wędruje w kablu z prędkością mniejszą od prędkości światła. Odbija się od wszelkich przeszkód i do punktu wyjścia wraca echo w postaci jednego lub kilku impulsów. Obserwacja tych odbitych impulsów przynosi wiele informacji o kablu, jego długości i właściwościach elektrycznych.

Od razu trzeba wyjaśnić, że opisane urządzenie nie ma obwodów obrazujących wyniki. Współpracuje z oscyloskopem, na którego ekranie pojawiają się odpowiednie przebiegi.

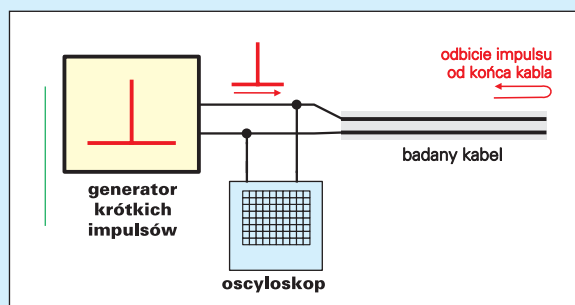
Początkującym bardzo dziwna wyda się informacja, że impuls w kablu odbija się od jakichś przeszkód. Zjawiska falowe nie zgadzają się z intuicją, choć w przyrodzie występuje wiele podobnych procesów. Dla mniej zorientowanych, w drugiej części artykułu podano podstawowe informacje o rezystancji falowej kabla i zjawiskach w nim zachodzących przy przesyłaniu sygnałów w.cz. Osoby, które chcą poznać to fascynujące zagadnienie jeszcze bliżej, poszukają dalszych wyjaśnień w książkach.

## Opis układu

Zasadę działania reflektometru pokazuje **rysunek 1**. Jak widać, cała sztuka polega na wytworzeniu bardzo krótkich impulsów, wpuszczeniu ich w linię i obejrzeniu powstałego echa. Większość roboty wykonuje tu fabryczny oscyloskop, który pokazuje przebiegi w linii.

Schemat ideowy generatora impulsów można zobaczyć na **ryśunku 2**. Jest to klasyczny generator z inwertorami U1E, U1F. Kondensatory C3...C6 odprzegają zasilanie. Częstotliwość przebiegu wynosi około 1MHz. Nie jest to wartość krytyczna; można ją zmieniać przez dobór C1, R2. Krótkie impulsy w czasie trwania około 5ns uzyskuje się w obwodzie C2R3. Impulsy te ukształtowane przez inwerter U1D są podawane na negatory U1A...U1C, które pełnią rolę buforów,

**Rys. 1** Zasada działania reflektometru



zapewniając małą rezystancję wyjściową generatora impulsów. Na wyjściu otrzymuje się impulsy dodatnie względem masy. Sieć rezystorów R4...R11 i zworek J1...J8 pozwala uzyskać rezystancję wyjściową generatora w zakresie około 5...2,2kΩ. Pozwoli to dopasować się do wszelkich kabli.

Aby uzyskać potrzebną rezystancję, trzeba nałożyć jumperki na odpowiednie kołki.

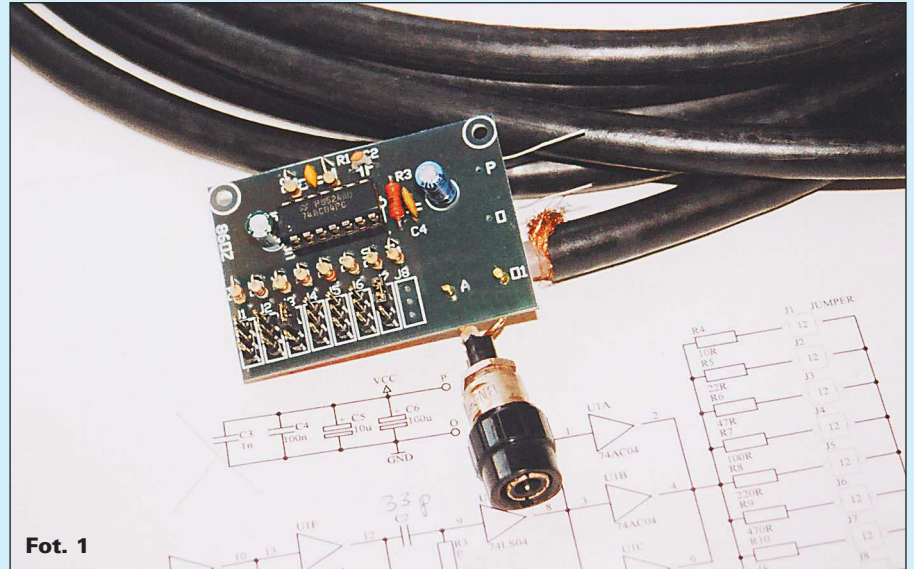
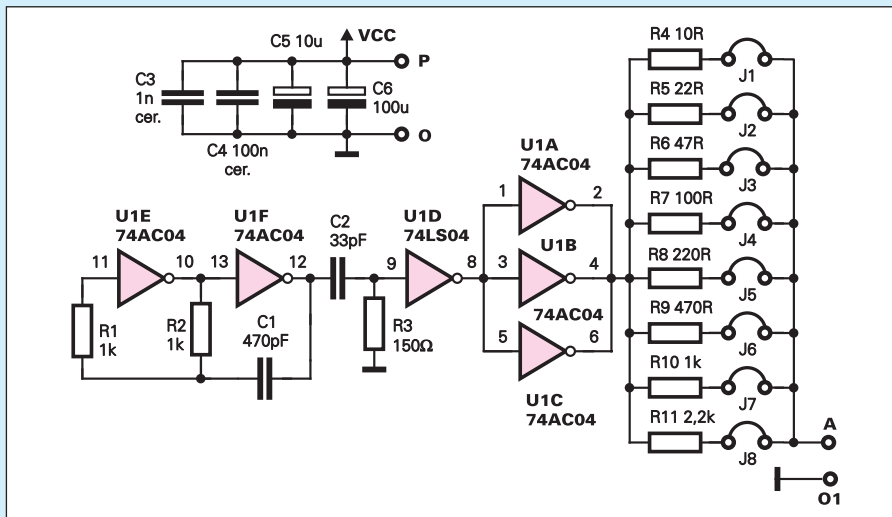
Rewelacyjnie małe czasy trwania i narastania impulsów uzyskano tu dzięki zastosowaniu bardzo szybkiego układu scalonego z serii 74ACxx.

Uwaga! W układzie należy zastosować bardzo szybkie kostki 74AC04, ewentualnie 74ACT04. Gdyby ktoś chciał spróbować wykorzystać bipolarne układy 74F04 czy 74S04, musi we własnym zakresie sprawdzić, czy będą one pracować przy tak dużych wartościach rezystorów i ewentualnie dobrać wartości elementów. Tylko tak szybkie układy zapewnią impulsy o czasie trwania rzędu 4...5ns. Po wszechnie dostępne, wolniejsze układy 74HC04, 74HCT04, 74LS04 czy 7404 na pewno nie wygenerują tak krótkich impulsów. Przy próbie ich zastosowania należy samodzielnie dobrać wartości elementów, by uzyskać możliwie najkrótsze impulsy.

## Montaż i uruchomienie

Układ można zmontować na małej płytce drukowanej, pokazanej na rysunku 3. Układ prawidłowo zmontowany ze sprawnych elementów pracuje od razu i nie wymaga żadnej regulacji. Ze względu na szybkość układu scalonego i parametry potrzebnych przebiegów, płytka drukowana została zaprojektowana tak, żeby zminimalizować zagrożenia charakterystyczne dla tak szybkich urządzeń. Kondensator C3 (1nF ceramiczny) miał być lutowany wprost do końcówek 7, 14 układu scalonego. W modelu pokazanym na fotografiach nie zastosowano kondensatora C3 i układ pracował poprawnie.

Rys. 2 Schemat ideowy



Fot. 1

Połączenie z oscyloskopem zapewnia kilkucentymetrowy odcinek przewodu zakończony wtykiem BNC. W przypadku tego typu urządzenia przewód połączeniowy musi być jak najkrótszy, by jego wpływ był jak najmniejszy. Dlatego też nie przewidziano specjalnego gniazda czy zacisków do podłączenia badanego kabla. Żyły badanego kabla lutuje się do punktów oznaczonych A, O1. Szczegóły można zobaczyć na fotografii wstępnej i fotografii 1.

Do testowania modelu wykorzystano wielkowy oscyloskop produkcji byłego ZSRR o gwarantowanym paśmie przenoszenia 50MHz. Pasma w rzeczywistości jest znacznie szersze, bo na ekranie dobrze widoczne były impulsy o czasie trwania około 5ns.

Trzy fotografie pokazują sygnał w grubym 50-omowym kablu współosiowym (średnica zewnętrzna 10m, długość 6,88m), gdy rezystancja wyjściowa generatora wynosiła 50Ω, czyli kabel był dopasowany z jednej strony (od strony generatora). Fotografia 2 pokazuje przebieg, gdy na drugim końcu dołączono najwykreszniejszy rezystor 51Ω, czyli gdy kabel

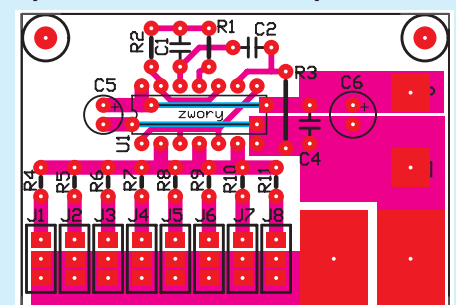
był dopasowany z obu stron. Wyraźnie widać impuls wysyłany w kabel. Odbicia są znikome – energia impulsu została przekazana do rezystora obciążenia. Fotografia 3 pokazuje przebieg, gdy drugi koniec kabla był rozwarzony. Oprócz wysłanego impulsu wyraźnie widać impuls odbity od końca kabla. Ma on taką samą biegunowość, jak impuls pierwotny. Odwrotną biegunowość ma impuls odbity, gdy na końcu kabla żyły były zwarte. Teraz odbity impuls jest ujemny – patrz fotografia 4.

Fotografie 2...4 pokazują przebiegi przy najszybszej podstawie czasu 0,1us/dz. Użyty oscyloskop pozwala dodatkowo 10-krotnie rozciągnąć przebieg na ekranie przez zwiększenie wzmocnienia wzmocniacza odchylenia poziomego, dzięki czemu uzyskuje się czas 10ns/działkę. Fotografia 5 pokazuje przebieg z rysunku 3 przy tej rozciągniętej podstawie czasu. Jak widać, odstęp między impulsami wynosi około 70ns (oscyloskop nie był przed pomiarem kalibrowany). Impuls podróżuje przez długość kabla tam i z powrotem (13,76m), co wskazuje, że prędkość impulsu w kablu wynosi około 200 000km/s

$$(v = 13,76m / 70ns).$$

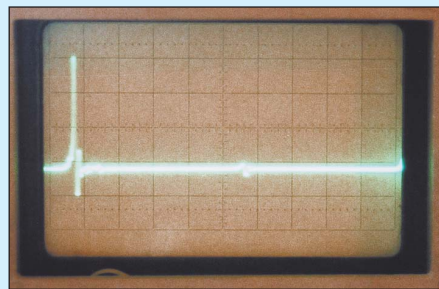
Gdyby oscyloskop został wcześniej skali-browany za pomocą generatora kwarcowego, dokładność pomiaru prędkości byłaby znaczna, błąd nie przekraczałby 2...3%.

Rys. 3 Schemat montażowy



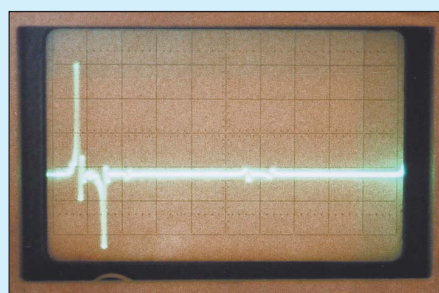
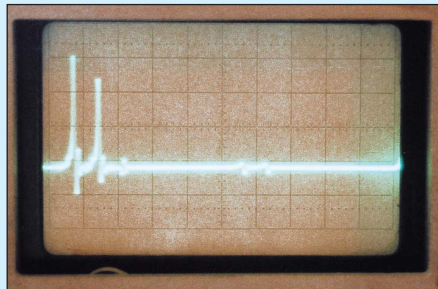
Kolejne trzy fotografie pokazują analogiczne przebiegi dla... zwykłego kabla głośnikowego  $2 \times 2,5 \text{ mm}^2$  o długości 4,4m. Tym razem podstawa czasu była rozciągnięta i miała szybkość 10ns/dz. Opóźnienie odbitego impulsu wyniosło, jak widać, około 40ns, co wskazuje, że prędkość impulsu w tym kablu jest nieco większa i wynosi około 220000km/s.

**Fotografie 6 i 7** pokazują przebiegi przy zwarcie i rozwarciu drugiego końca kabla. Przebieg z **fotografii 8** praktycznie nie zawiera odbicia. Powstał on przy dołączeniu do końca przewodu rezystora  $140 \Omega$ . Taką wartość dobrano eksperymentalnie i taka właśnie jest oporność falowa badanego kabla (głośni-



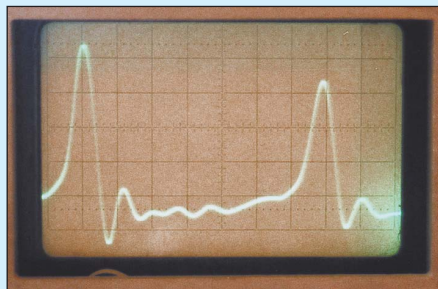
Fot. 2

Fot. 3



Fot. 4

Fot. 5



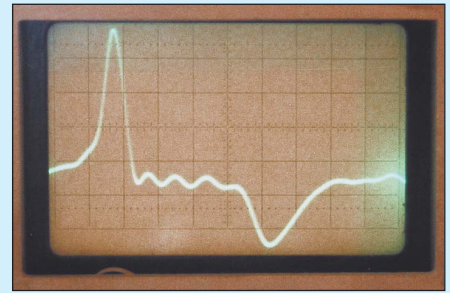
kowego). Choć tego typu przewody nie są wykorzystywane w technice w.cz. ze względu na duże tłumienie i podatność na zakłócenia, nie należy się dziwić, że kabel „m.cz.” ma właściwości typowe dla elementów w.cz. Każdy kabel ma jakąś oporność falową i tłumienność. W technice w.cz. wykorzystuje się przewody, które mają optymalne właściwości w pożądanym paśmie częstotliwości (dokładnie określoną rezystancję falową, niewielkie tłumienie i odporność na zakłócenia).

Tu widać, iż opisany przyrząd doskonale nadaje się do oznaczania oporności falowej kabla. Jest to zadanie niezwykle proste: do wolnego końca kabla należy dołączać różne rezystory, by uzyskać sygnał bez odbić. Jeśli po dołączeniu rezystora impuls odbity jest dodatni, wartość rezystora należy zmniejszyć. Jeśli odbity impuls jest ujemny, rezystancja dopasowania jest większa. Jeśli w przebiegu nie widać odbicia, dołączona rezystancja jest równa oporności falowej kabla.

Ten prosty sposób pozwoli też szybko i pewnie sprawdzić, czy dany kabel koncentryczny ma rezystancję charakterystyczną  $50 \Omega$  czy  $75 \Omega$ .

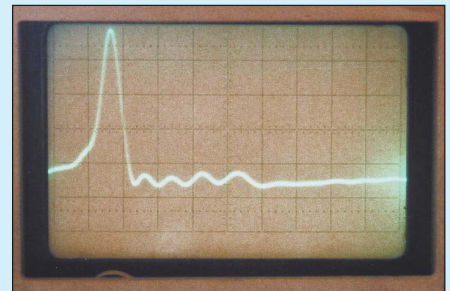
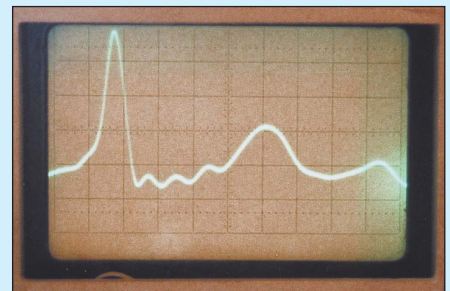
Przy niedopasowaniu na dalekim końcu kabla dadzą też o sobie znać ewentualne odbicia związane z niedopasowaniem oporności wyjściowej generatora. Przebieg pokazany na **fotografii 9** wystąpił, gdy rezystancja wyjściowa generatora wynosiła  $2,2 \text{ k}\Omega$ , a daleki koniec kabla był rozarty (oczywiście impulsy były małe i trzeba było zwiększyć czułość oscyloskopu). Badany był wspomniany 50-omowy kabel współosiowy o długości 6,88m. W takiej sytuacji obustronnego niedopasowania impuls odbija się wielokrotnie od obu końców kabla i przebieg przypomina grzebień. **Fotografia 10** pokazuje sytuację, gdy rezystancja wyjściowa generatora była bliska zero (punkt A został połączony kawałkiem drutu z wyjściami bramek U1A...U1C), a daleki koniec kabla też był zwarty. Powstały grzebień pozwala ocenić wielkość strat w kablu. Jeśli kolejny impuls jest zdecydowanie mniejszy od poprzedniego, wtedy straty w kablu są duże. Gdy impulsy maleją w mniejszym stopniu, straty w kablu są mniejsze. Wystarczy więc zbadać w ten sposób odcinki kilku różnych kabli o jednakowej długości, by przekonać się, który z nich będzie najmniej tłumiał sygnał w.cz.

Opisany przyrząd może oddać nieocenione usługi przy poszukiwaniu uszkodzeń w sieciach kablowych, na przykład komputerowych sieciach LAN. Gdy wszystko jest dopasowane, nie powinny występować odbicia. Każde rozwarcie, zwarcie, czy nawet niejednorodność w kablu spowodują powstanie odbicia, którego biegunowość i opóźnienie względem impulsu pierwotnego wskazują na charakter uszkodzenia i odległość od generatora. Kilka pomiarów pozwoli szybko znaleźć uszkodzenie nawet w rozbudowanych sieciach.



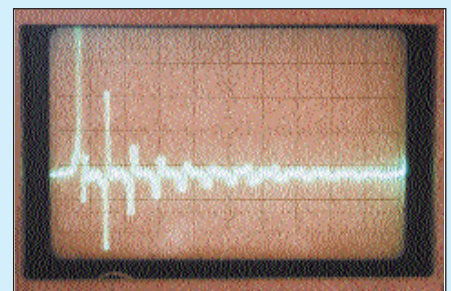
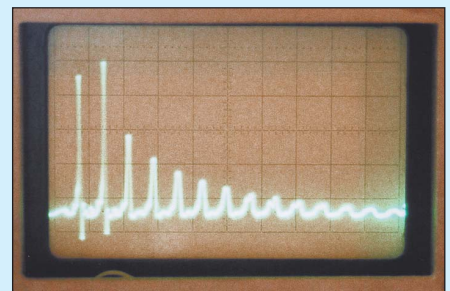
Fot. 6

Fot. 7



Fot. 8

Fot. 9



Fot. 10

Znając prędkość rozchodzenia się fali w kablu można obliczyć długość kabla czy odległość od miejsca uszkodzenia na podstawie czasu opóźnienia odbitego impulsu. Jako punkt wyjścia można przyjąć informację, że 1µs odstępu między impulsami wskazuje, iż kabel ma 100...110m długości (lub że w tej odległości od początku kabla znajduje się jakieś uszkodzenie).

Ponieważ prędkość rozchodzenia się fali jest odmienna w różnych kablach, uzyskana dokładność zależy od znajomości tej prędkości. W praktyce oznacza to, że trzeba przeprowadzić próby z odcinkami różnych kabli o znanej długości, co potem pozwoli określić długość lub odległość od miejsca uszkodzenia z dużą dokładnością.

## Możliwości zmian

Uwaga! Posiadacze najtańszych oscyloskopów o paśmie rzędu 10MHz nie będą mogli zaobserwować na ekranie 5-nanosekundowych impulsów. Nie znaczy to, że wykonanie podobnych pomiarów jest niemożliwe. Trzeba tylko zmniejszyć częstotliwość gene-

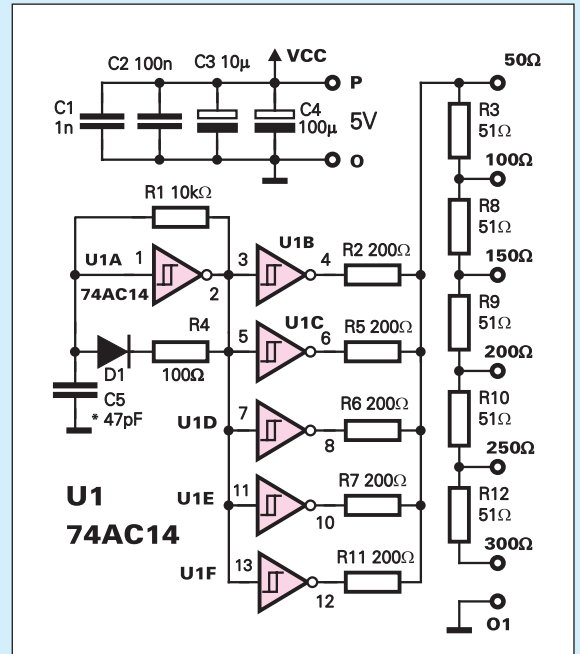
ratora, stosując C1 o wartości 470pF...1nF. Trzeba też przez zwiększenie R3 zwiększyć długość impulsu, by był on widoczny na danym oscyloskopie.

Potem w trakcie testów należy wykorzystywać kable o długości co najmniej 5m. Do pierwszych prób warto wziąć kabel koncentryczny (antenowy), który gwarantuje mniejsze tłumienie impulsów niż kable symetryczne.

Dla osób, które chciałyby praktycznie wykorzystać taki reflektometr przydatne też będą następujące informacje:

Długość impulsu wpuszczanego w kabel i stromość jego zboczy powinny być związane z długością kabla i jego tłumieniem. Do krótkich, kilkumetrowych kabli i precyzyjnych pomiarów potrzebne są krótkie impulsy o stromych zboczach.

Do pomiarów krótkich kabli wystarczą



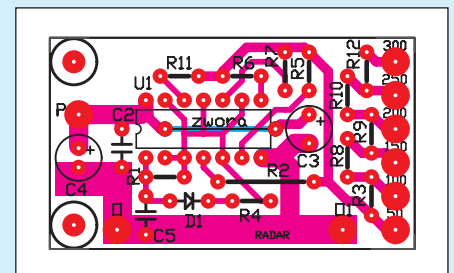
Rys. 4 Układ pierwotny

króciutkie, nanosekundowe impulsy. Jeśli rozdzielczość ma wynosić 1m, czasy narastania i opadania impulsu muszą być mniejsze niż 10ns. To akurat nie jest trudne do spełnienia. Kostki z rodzin 74AC, 74ACT, 74F mają czasy narastania i opadania rzędu kilku nanosekund.

Do kabli długich, zwłaszcza o dużych stratach, impulsy powinny być dłuższe. Do pomiaru kabla o długości kilku kilometrów potrzebny będzie impuls o czasie trwania rzędu 1µs. Krótszy miałby za małą energię, by można było zaobserwować impuls odbity, poważnie tłumiony po dwukrotnym przejściu tak dalekiej drogi.

Zwykle amplituda wysyłanych impulsów jest rzędu

Rys. 5 Płytką drukowaną



1...5V. Zbyt mała amplituda może uniemożliwić obserwację echa w instalacjach, gdzie występują szumy i zakłócenia. Gdyby z kolei wytwarzane impulsy miały dużo większą amplitudę, mogłyby zakłócać pracę innych urządzeń.

Podczas przygotowywania artykułu na początek został zaprojektowany generator z układem scalonym 74AC14 (sześć inwertorów z wejściem Schmitta) według rysunku 4. Zaprojektowano płytkę drukowaną, pokazaną na rysunku 5. Ze względu na chwilowe kłopoty ze zdobyciem układu 74AC14 układ ten nie został wykonany i przebadany – szybko powstał opisany w artykule generator z kostką 74HC04. Kto chciałby sprawdzić generator według rysunku 4, może zmontować go choćby w "pająku", pamiętając o odsprzęgnięciu zasilania i krótkich połączeniach. Zamiast sieci rezystorów wyjściowych można zastosować potencjometr (220Ω lub 470Ω), który pozwoli dopasować się do badanej linii.

Piotr Górecki

Ciąg dalszy w następnym numerze EdW.

REKLAMA · REKLAMA · REKLAMA

**Układy programowalne w praktyce**  
**Jerzy Pasierbiński, Piotr Zbysiński**  
**CD - ROM**

Hierarchia na polskim rynku wydawniczym książka tak kompleksowo poruszająca zagadnienia związane z projektowaniem układów PLD. Autorzy przedstawili w niej architekturę wszystkich dostępnych w naszym kraju układów PLD, przedstawili wybrane narzędzia CAD/CAE służące do projektowania układów, podstawi najpopularniejszy języków HDL, sporo miejsca poświęcili także omówieniu metod programowania i konfiguracji (w tym IEEE1532) układów. Informacje teoretyczne wzbogacono przykładowymi projektami, których szczegółowe opisy zamieściliśmy w technicznym i rozdziałach książki. Autorzy przygotowali także tabelaryczne zestawienie najważniejszych parametrów układów PLD opisywanych w książce, a także słownik i zbiór interesujących adresów internetowych. Na dołączonej do książki płycie CD-ROM znajduje się szereg narzędzi projektowych dla układów programowalnych, a także dokumentację do projektów opisanych w książce. 370 str. + broszura z CD-ROM. cena 40 zł

**Układy programowalne w praktyce**  
 Jerzy Pasierbiński  
 Piotr Zbysiński

**NOWOŚĆ**

Książka jest dostępna w Księgarni Wysyłkowej AVT  
[www.sklep.avt.com.pl](http://www.sklep.avt.com.pl)  
 tel.: (022) 864-64-82, tel./fax: 835-66-88

8 numerów za darmo w prenumeracie - strona 75