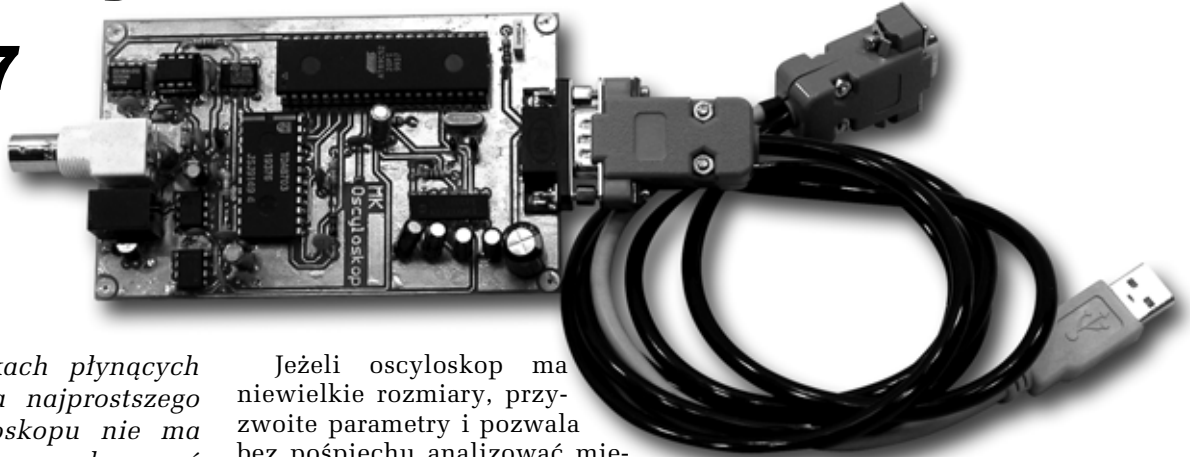


Amatorski oscyloskop cyfrowy

AVT-527



O korzyściach płynących z posiadania najprostszego chociażby oscyloskopu nie ma potrzeby przekonywać Czytelników EP. Przyrząd taki jest wręcz niezbędny w sytuacji, gdy pojawiają się problemy z urządzeniem elektronicznym, które złośliwie nie chce działać. Jedynym sposobem jest wtedy podejrzenie przebiegów elektrycznych w kluczowych punktach, co najczęściej naprowadza na trop usterki.

Rekomendacje: tani w wykonaniu i łatwy w uruchomieniu, a przy tym całkowicie cyfrowy oscyloskop, który przyda się w pracowni każdego elektronika zajmującego się techniką cyfrową i analogową. Zwłaszcza gdy nie mamy zbyt dużo pieniędzy do wydania.

Jeżeli oscyloskop ma niewielkie rozmiary, przyzwoite parametry i pozwala bez pośpiechu analizować mierzony sygnał, bo można go w dowolnym momencie „zamrozić” na ekranie, to z pewnością warto mieć taki przyrząd. Prezentowany projekt oscyloskopu cyfrowego spełnia przedstawione powyżej założenia, a na dodatek można go zbudować i uruchomić samemu w ciągu jednego wieczoru.

Założenia konstrukcyjne i podstawowe parametry

Powstanie tego projektu było możliwe dzięki postępującej miniaturyzacji układów scalonych i integracji w pojedynczych układach funkcji jeszcze niedawno wymagających zastosowania wielu układów analogowych. Oscyloskop mieści się na płycie drukowanej o wymiarach 115x70 mm. Musi być co prawda połączony z komputerem, na którym uruchomiony jest program sterujący, jednak z reguły komputer i tak znajduje się w pobliżu miejsca pracy, więc to ograniczenie nie jest uciążliwe. Podstawowe parametry oscyloskopu są następujące:

- liczba kanałów: 1,
- pasmo: do ok. 500 kHz,
- podstawa czasu: od 12,5 μ s/działkę do 500 ms/działkę z możliwością 5-krotnego powiększenia wybranego fragmentu obserwowanego przebiegu,
- czułość: od 10 mV/działkę do 400 mV/działkę,
- częstotliwość próbkowania: 1 Mpróbek/s przy rozdzielczości 8 bitów,

- synchronizacja: zboczem narastającym lub opadającym z możliwością ustawienia poziomu wyzwiania,
- wyświetlane dodatkowe informacje: nastawy, wyniki analizy Fouriera,
- możliwość podłączenia do wybranego portu COM komputera,
- system operacyjny: Win98 lub nowszy.

Prezentowany przyrząd składa się w istocie z dwóch zasadniczych elementów: części sprzętowej (układu) i oprogramowania. Najpierw przedstawione zostanie działanie sprzętu, co przyda się podczas budowy i uruchamiania własnego oscyloskopu. Funkcjonowanie oprogramowania i sposób posługiwania się oscyloskopem zostaną omówione w dalszej części artykułu.

Sposób działania i budowa części sprzętowej oscyloskopu

Schemat elektryczny układu oscyloskopu pokazano na **rys. 1**. Jego zadaniem jest zamiana badanego przebiegu elektrycznego na dane cyfrowe, które następnie zostają przesłane do komputera w celu dalszego przetworzenia i wyświetlenia na ekranie. Dodatkowo, układ elektroniczny musi zsynchronizować moment rozpoczęcia kolejnych próbkowań w tym samym punkcie badanego przebiegu okresowego. Dzięki synchronizacji przebieg prezentowa-

ny na ekranie nie przesuwają się, co poprawia jego czytelność i umożliwia lepszą analizę. Część sprzętowa musi również zapewnić możliwość bezbłędnej wymiany danych z komputerem i programem sterującym.

Jak widać na schemacie elektrycznym, oprócz procesora sterującego U1 i przetwornika analogowo-cyfrowego U4, do obróbki sygnału w sposób zgodny z podanymi przed chwilą założeniami potrzeba jeszcze tylko kilku dodatkowych układów scalonych. Badany przebieg podawany jest bezpośrednio lub poprzez dodatkową sondę pomiarową na gniazdo Z3. Od sygnału może być odcinana składowa stała, co jest korzystne w sytuacji obserwacji przebiegów o niewielkiej amplitudzie nałożonych na duży poziom dodatniego lub ujemnego napięcia stałego. Odcinanie składowej stałej realizuje kondensator C13. Za pomocą przełącznika K1, sterowanego tranzystorem T1, można zewrzeć kondensator i wtedy przebieg będzie przetwarzany dokładnie w takiej postaci, w jakiej pojawia się na gnieździe Z3 (a więc ze składową stałą). Sygnał poprzez dzielnik rezystancyjno-pojemnościowy (składający się z elementów R5, C14 i R6, C15) trafia na regulowany wzmacniacz wejściowy U6, zbudowany na wzmacniaczu operacyjnym MAX4166. Wzmocnienie układu U6 jest regulowane przez potencjometr cyfrowy U8 włączony w pętlę ujemnego sprzężenia zwrotnego. Oporność potencjometru, a więc i wzmocnienie sygnału może być ustawiana w 100 krokach, czym oczywiście steruje mikrokontroler. Z wyjścia wzmacniacza sygnał podawany jest na szybki przetwornik analogowo-cyfrowy U4 TDA8703. Częstotliwość taktowania tego układu może wynosić 40 MHz, a jego pasmo przenoszenia wynosi ok. 20 MHz. W moim układzie przetwornik jest taktowany sygnałem ALE z mikrokontrolera U1, którego częstotliwość wynosi 6 MHz (XTAL/6). Wykorzystanie sygnału ALE do taktowania przetwornika powoduje, że nie musimy się troszczyć o zapewnienie odpowiednich zależności czasowych, bo czas przetwarzania TDA8703 wynosi w przybliżeniu 25 ns, natomiast

odczyt portów mikrokontrolera odbywa się 2 takty zegarowe później, po wystawieniu sygnału ALE.

Układy U3, U7 i U5 odpowiadają za realizację dwóch zadań: ustalenie poziomu wyzwalania przy kolejnych konwersjach sygnału i ustalenie poziomu odniesienia. Układ U3 jest podwójnym szeregowym przetwornikiem cyfrowo-analogowym sterowanym 3-przewodową magistralą, oczywiście także przez mikrokontroler U1. Napięcie z jednego z wyjść przetworników C/A poprzez wtórnik U7 jest podawane na wzmacniacz U8, tworząc masę pozorną i poziom odniesienia przy przetwarzaniu sygnału wejściowego do postaci cyfrowej. Dzięki takiemu rozwiązaniu jest możliwa izolacja galwaniczna masy części sprzętowej oscyloskopu od masy mierzonego sygnału. Oprócz tego, poprzez zmianę poziomu masy pozornej można zrealizować przesuw w pionie wyświetlanego przebiegu na ekranie. Regulacja poziomu wyzwalania jest przeprowadzona w następujący sposób. Mikrokontroler ustawia żadaną wartość napięcia wyzwalania na wyjściu drugiego przetwornika C/A układu U3, które to napięcie podawane jest na komparator U5 i porównywane z przetwarzanym przebiegiem wejściowym. Poziom logiczny z wyjścia komparatora U5-7 jest podawany na port U1. Zadaniem mikrokontrolera jest wykrywanie zmiany stanu komparatora z 0 na 1 lub odwrotnie, w zależności od przyjętego sposobu wyzwalania i w odpowiednim momencie zainicjowanie startu konwersji. Aby zapobiec „zawieszeniu“ się układu, w programie sterującym pracą mikrokontrolera został wprowadzony timeout, który wynosi ok. 40-krotną wartość podstawy czasu. Jeżeli po upływie tego czasu nie zostanie spełniony warunek wyzwalania i komparator U5 nie zmieni swego stanu, konwersja i tak zostanie rozpoczęta.

Pracą części sprzętowej steruje mikrokontroler U1 AT89C52 będący dobrze znaną wersją '51. Jest on co prawda przetaktowany o 50%, jednak nie zagraża to stabilności pracy oscyloskopu. Jako ciekawostkę podam, że wykonałem udane próby ze zwiększeniem częstotliwości zegara o 150%!

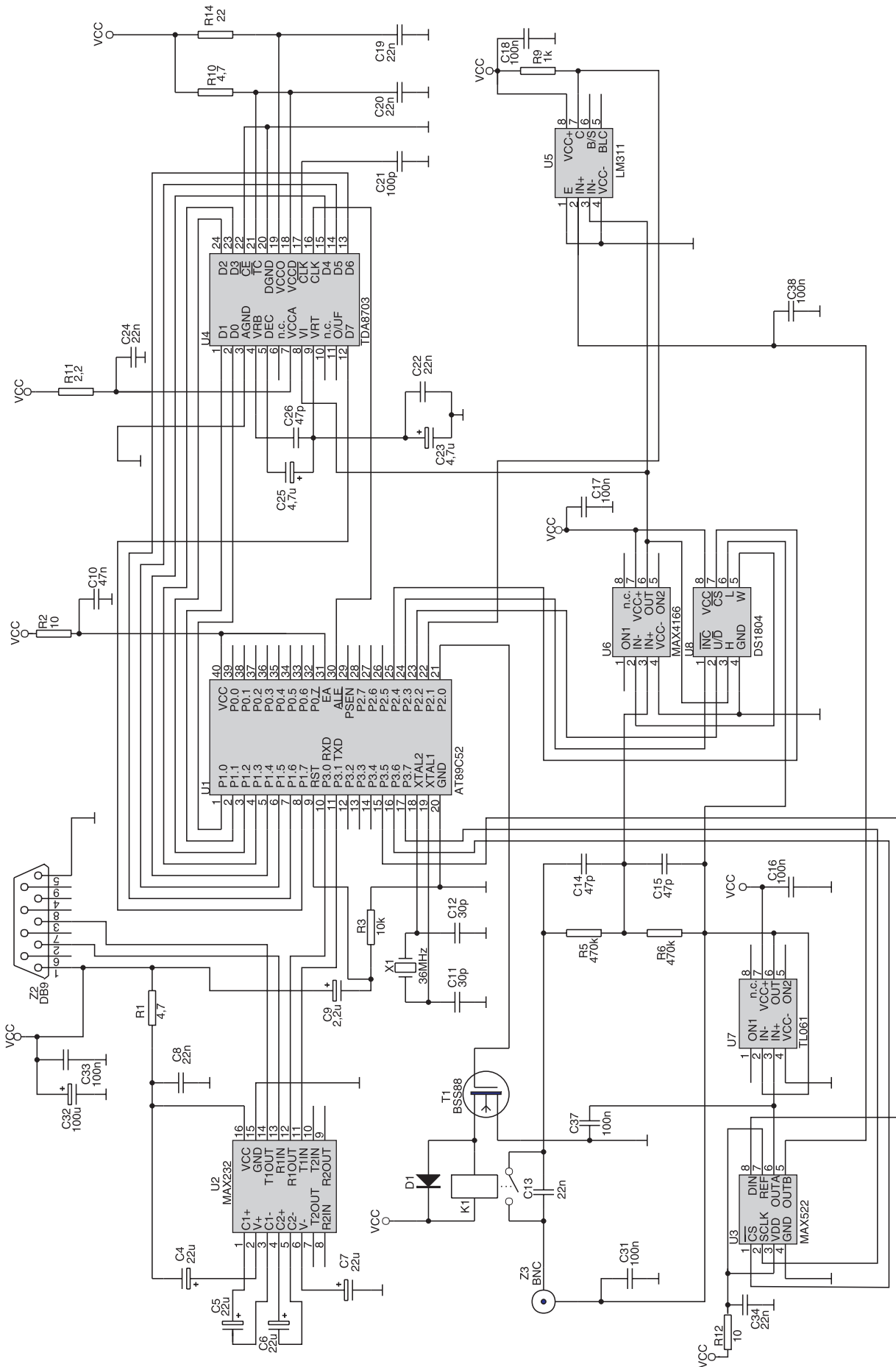
Zadaniem mikrokontrolera jest pobieranie z przetwornika 250 próbek, które są następnie zapisywane w wewnętrznej pamięci danych. Pobrane próbki są wysyłane do komputera PC poprzez port szeregowy pracujący z szybkością 14400 b/s. Prędkość ta wynika z zastosowanego kwarcu oraz prędkości akceptowanych przez standardowy port szeregowy komputera. Największa wspólna prędkość transmisji dla komputera i mikrokontrolera wynosi 14400 b/s ($36000000:12:(255-13):16=14423$ b/s, PCON=1). Różnica pomiędzy zegarami nie przekracza 0,16% i jest do pominięcia. Układ U2 (MAX232) dopasowuje poziomy napięć występujących na portach mikrokontrolera do standardu RS232.

Transmisja danych

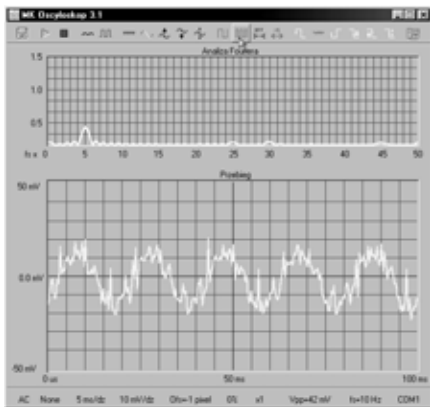
Pracą części sprzętowej oscyloskopu steruje program uruchamiany na komputerze PC. Podczas dwukierunkowej wymiany danych program wysyła parametry ustawień do części sprzętowej i odbiera dane zawierające próbki mierzonego przebiegu. Transmisja szeregową ma format 8 bitów danych, 1 bit stopu, nie ma bitu parzystości. Komputer wysyła 5 bajtów zawierających parametry pracy, natomiast odbiera 250 bajtów danych z próbkami.

Znaczenie poszczególnych bajtów parametrów jest następujące:

- 1 bajt, sterujący
 - 7 bit - wyboru trybu pracy wejścia
 - 0 - AC (bez składowej stałej)
 - 1 - DC (ze składową stałą)
 - 6 bit - wyzwalania:
 - 1 - praca z wywalaniem
 - 0 - praca bez wywalania
 - 5 bit - wyboru zbocza wyzwalającego:
 - 0 - wyzwalanie zboczem opadającym
 - 1 - wyzwalanie zboczem narastającym
 - 4 bit - bez znaczenia.
- 2 bajt, podstawy czasu (wartość)
 - 0 - próbkowanie 1 Mpróbk/s
 - 1 - próbkowanie 500 kpróbk/s
 - 2 - próbkowanie 250 kpróbk/s
 - 3 - próbkowanie 125 kpróbk/s
 - 4 - próbkowanie 62,5 kpróbk/s
 - 5 - próbkowanie 25 kpróbk/s
 - 6 - próbkowanie 12,5 kpróbk/s
 - 7 - próbkowanie 6,25 kpróbk/s



Rys. 1. Schemat elektryczny oscyloskopu



Rys. 2. Widok ekranu programu sterującego pracą przystawki oscyloskopowej

- 8 - próbkowanie 2,5 kpróbek/s
- 9 - próbkowanie 1,25 kpróbek/s
- 10 - próbkowanie 625 próbek/s
- 11 - próbkowanie 250 próbek/s
- 12 - próbkowanie 125 próbek/s
- 13 - próbkowanie 62,5 próbek/s
- 14 - próbkowanie 25 próbek/s

3 bajt, przesunięcia składowej stałej
Poziom zerowy wynosi 128, można go przesuwając dół - góra od wartości 48 do 208.

4 bajt, poziom wyzwalania
Podobnie jak wyżej poziom zera wynosi 128 i można go przesuwając dół - góra od 48 do 208.

5 bajt, regulacja czułości
Wzmocnienie wzmacniacza wejściowego można ustawić z zakresu od 1 do 101 zgodnie z zależnością $1+(100-x)/x$, gdzie x oznacza wartość 5. bajtu z zakresu od 0 do 100.

Działanie programu sterującego

Program sterujący umożliwia regulację wszystkich nastaw oscyloskopu oraz graficzną prezentację mierzonych przebiegów (rys. 2). W wyświetlanej górnej części pulpitu programu usytuowane są przyciski nastaw, poniżej znajduje się tablica z wykresem transformaty Fouriera (pozwala ona prześledzić rozkład widma częstotliwości w badanym sygnale i np. wychwycić harmoniczne sygnału podstawowego), jeszcze niżej pokazywany jest mierzony przebieg. Na samym dole okna znajduje się pasek statusowy z najważniejszymi parametrami nastaw.

W pasku narzędzi, patrząc od lewej strony, znajdują się ikony umożliwiające:

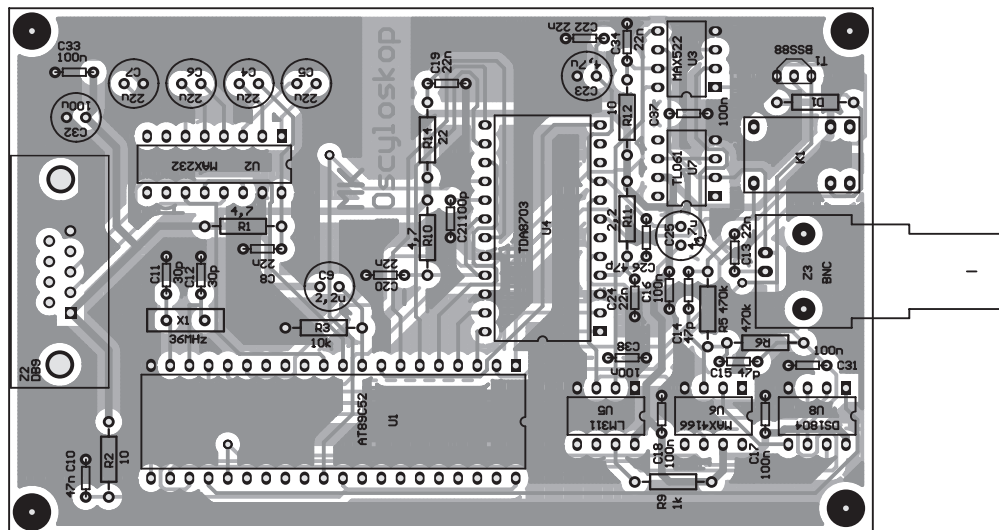
- Zapis na dysku danych z ostatniej digitalizacji. Format pliku to dwie kolumny liczb, w pierwszej są dane przebiegu, a w drugiej dane analizy Fouriera.
- Rozpoczęcie nieprzerwanej digitalizacji badanego przebiegu, połączone z wyświetlaniem na ekranie. Jeżeli wystąpi brak transmisji pomiędzy komputerem a częścią sprzętową, w lewym dolnym rogu okna programu wyświetlany będzie napis *Error*.
- Zatrzymanie digitalizacji i „zamrożenie” na ekranie wyświetlanego przebiegu.
- Zmniejszanie czułości oscyloskopu. Każde kolejne naciśnięcie ikony nastawy powoduje zmianę czułości o jeden krok.
- Zwiększanie czułości oscyloskopu w sposób analogiczny do opisanego powyżej.
- Pomiar sygnału ze składową stałą (tryb DC).
- Pomiar sygnału bez składowej stałej (tryb AC).
- Zmniejszanie offsetu sygnału, przesunięcie kreślonej krzywej sygnału w dół.
- Zwiększanie offsetu sygnału, przesunięcie kreślonej krzywej sygnału w górę.
- Zerowanie offsetu.
- Zmniejszanie odstępu czasu próbkowania, zmniejszanie podstawy czasu oscyloskopu.
- Zwiększanie odstępu czasu próbkowania, zwiększanie podstawy czasu oscyloskopu.

- Wyłączanie rozciągania przebiegu.
- Włączenie opcji rozciągania przebiegu, rozszerzenie przebiegu pięciokrotnie.
- Włączenie wyzwalania zboczem narastającym.
- Wyzwalanie wyłączone.
- Włączenie wyzwalania zboczem opadającym.
- Zmniejszenie napięcia wyzwalania.
- Zwiększenie napięcia wyzwalania.
- Powrót do wyjściowego poziomu wyzwalania.
- Zmiana numeru portu COM, poprzez który program sterujący komunikuje się z częścią sprzętową oscyloskopu.

Montaż i uruchomienie oscyloskopu

Montaż układu oscyloskopu wymaga zwykłej w takich przypadkach staranności, jednak zastosowane układy scalone nie zmuszają do jakiejś wyjątkowej precyzji. Przed rozpoczęciem pracy wskazane jest obejrzenie pod silnym oświetleniem płytki drukowanej w celu usunięcia ewentualnych zwarc lub przerw ścieżek. Schemat montażowy płytki znajduje się na rys. 3.

Jeżeli zdecydujemy się na montaż układów scalonych w podstawkach, przed ich włożeniem można sprawdzić, czy płytka jest prawidłowo zasilana. Napięcie zasilania +5 V podawane jest na płytkę poprzez styk 1 złącza Z2. Można zastosować zewnętrzny zasilacz podłączony do styków 1 (+5 V) i 5 (GND) wtyku dołączanego do złącza Z2. Można również zamiast z zasilacza doprowadzić



Rys. 3. Schemat montażowy płytki oscyloskopu

WYKAZ ELEMENTÓW**Rezystory**

R1, R10: 4,7Ω

R2: 10Ω

R3: 10kΩ

R5, R6: 470kΩ

R9: 1kΩ

R11: 2,2Ω

R12: 10Ω

R14: 22Ω

Kondensatory

C4...C7: 22μF/16V

C8, C13, C19, C20, C22, C24,

C34: 22nF

C9: 2,2μF/16V

C10: 47nF

C11, C12: 30pF

C14, C15, C26: 47pF

C16...C18, C31, C33, C37, C38:
100nF

C21: 100pF

C23, C25: 4,7μF/16V

C32: 100μF/25V

Półprzewodniki

U1: AT89C52 (zaprogramowany)

U2: MAX232

U3: MAX522

U4: TDA8703

U5: LM311

U6: MAX4166

U7: TL061

U8: DS1804

T1: BSS88

Różne

X1: 36MHz

Z2: DB9

Z3: BNC

napięcie z gniazda USB, jeżeli komputer wyposażony jest w ten port. Ponieważ złącze Z2 służy także jako port RS232, wtyk do tego gniazda musi być odpowiednio przerobiony, tak aby oprócz sygnałów transmisji podawał także napięcie zasilania.

Po ukończeniu montażu należy połączyć układ kablem z komputerem i zasilić. Następnie należy uruchomić zainstalowany wcześniej program sterujący. Korzystając z opisanych wcześniej opcji, na pasku nastaw wybieramy numer portu COM komputera, do którego jest przyłączona sprzętowa część oscyloskopu. Do wejścia Z3 można podłączyć sygnał testowy o amplitudzie nieprzekraczającej $4 V_{pp}$, najlepiej bez składowej stałej. Po wybraniu opcji *Start* na pasku narzędziowym, przebiegi na ekranie komputera powinny „ożyć”.

Oscyloskop nie wymaga żadnych dodatkowych regulacji i po prawidłowym montażu powinien od razu działać. Jeżeli jednak pojawią się jakieś kłopoty należy:

- Sprawdzić, czy wszystkie układy scalone są prawidłowo zamontowane i zasilane.
- Sprawdzić, czy ma miejsce prawidłowa transmisja pomiędzy komputerem a częścią sprzętową. Jeżeli po wybraniu właściwego

numeru COM i naciśnięciu ikony z przyciskiem *Start* w dolnym prawym rogu pojawi się napis *Error*, należy „przyjrzeć się” kablowi, układowi U2 i jego połączeniom z mikrokontrolerem.

- Należy sprawdzić, czy zmieniając opcje trybu pomiaru z AC na DC, jest przełączany przełącznik.
- Należy sprawdzić, czy na wyjściach przetwornika U3-5 i 6 zmienia się poziom napięcia, gdy zmieniany jest offset i poziom wyzwalania.

Podczas pracy temperatura ma niewielki, lecz zauważalny wpływ na offset i należy go czasem programowo korygować. Układy zastosowane do budowy oscyloskopu są popularne i dostępne w kraju. Oscyloskop świetnie nadaje się do zastosowań w zakresie częstotliwości akustycznych, jak i nieco wyższych, a szczególnie przydatny może być przy projektowaniu układów cyfrowych.

Marek Kopec

Oprogramowanie do oscyloskopu autor udostępnił na naszej stronie internetowej (www.ep.com.pl) w dziale Download>Dokumentacje.

Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: <http://www.ep.com.pl/?pdf/wrzesien03.htm>.