

Amatorski oscyloskop cyfrowy

AVT-591

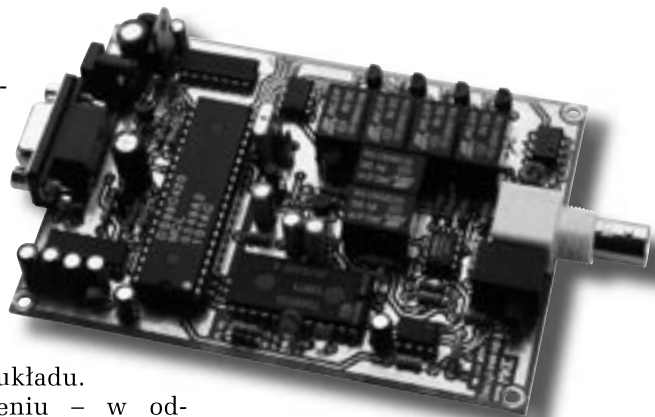
Oscyloskop to jeden z podstawowych przyrządów pomiarowych elektronika. Dostępność firmowego sprzętu obecnie nie stanowi większego problemu. Gorzej jest z podjęciem decyzji o jego kupnie. Ceny nie zawsze do tego zachęcają. W ostatnim czasie, jak grzyby po deszczu pojawiają się własne konstrukcje, stanowiące ciekawą alternatywę dla drogiego sprzętu profesjonalnego.

Rekomendacje: oscyloskop polecamy wszystkim niezdecydowanym na zakup sprzętu firmowego, jednocześnie przekonanych o konieczności powiększenia oprzyrządowania swojego warsztatu. Parametry proponowanego oscyloskopu powinny wystarczyć do większości konstrukcji amatorskich, a jego cena będzie czynnikiem zachęcającym do budowy.

Spore zainteresowanie jakim się cieszył Amatorski Oscyloskop Cyfrowy oraz głosy pojawiające się na forum „Elektroniki Praktycznej”, skłoniły mnie do unowocześnienia i rozbudowy układu.

W nowym urządzeniu – w odpowiedzi na głosy krytyki – postanowiłem poszerzyć pasmo do 5 MHz (w poprzedniej wersji było ono równe 500 kHz) i zwiększyć liczbę próbek do 1000 (zamiast 250). Jednym z założeń przy opracowywaniu nowej konstrukcji było zachowanie prostoty budowy układu tak, aby nawet początkujący elektronik był w stanie go zmontować.

Rozszerzenie pasma, które spowodowało zwiększenie częstotliwości próbkowania zmusiło mnie do zmiany mikrokontrolera na bardziej wydajny. Obecnie na rynku dostępna jest dość duża gama układów, szybszych od standardowej 51. Przy wyborze mikrokontrolera kierowałem się zarówno względami ekonomicznymi, jak również popularnością danej rodziny. Wybór padł ponownie na 51, lecz z rdzeniem jednotaktowym, co oznacza, że rozkaz maszynowy został zrównany z cyklem zegarowym. Od kilku lat niektóre firmy zaczynają wprowadzać do sprzedaży takie układy: między innymi Dallas-Maxim, Cygnal, a ostatnio Analog Devices. Ze względów ekonomicznych, jak również z uwagi na dostępność w obudowach DIP, zdecydowałem się na układ DS89C420. Jest to mikrokontroler w pełni zgodny ze standardową 52-ką, posiadający wiele dodatkowych możliwości, takich jak pamięć Flash o rozmiarze 16 kB, wewnętrzną pamięć SRAM o rozmiarze 1 kB, dodatkowy port szeregowy, rozbudowany system przerwań, wewnętrzny mnożnik i dzielnik częstotliwości, watchdog oraz wiele innych. Zwiększenie

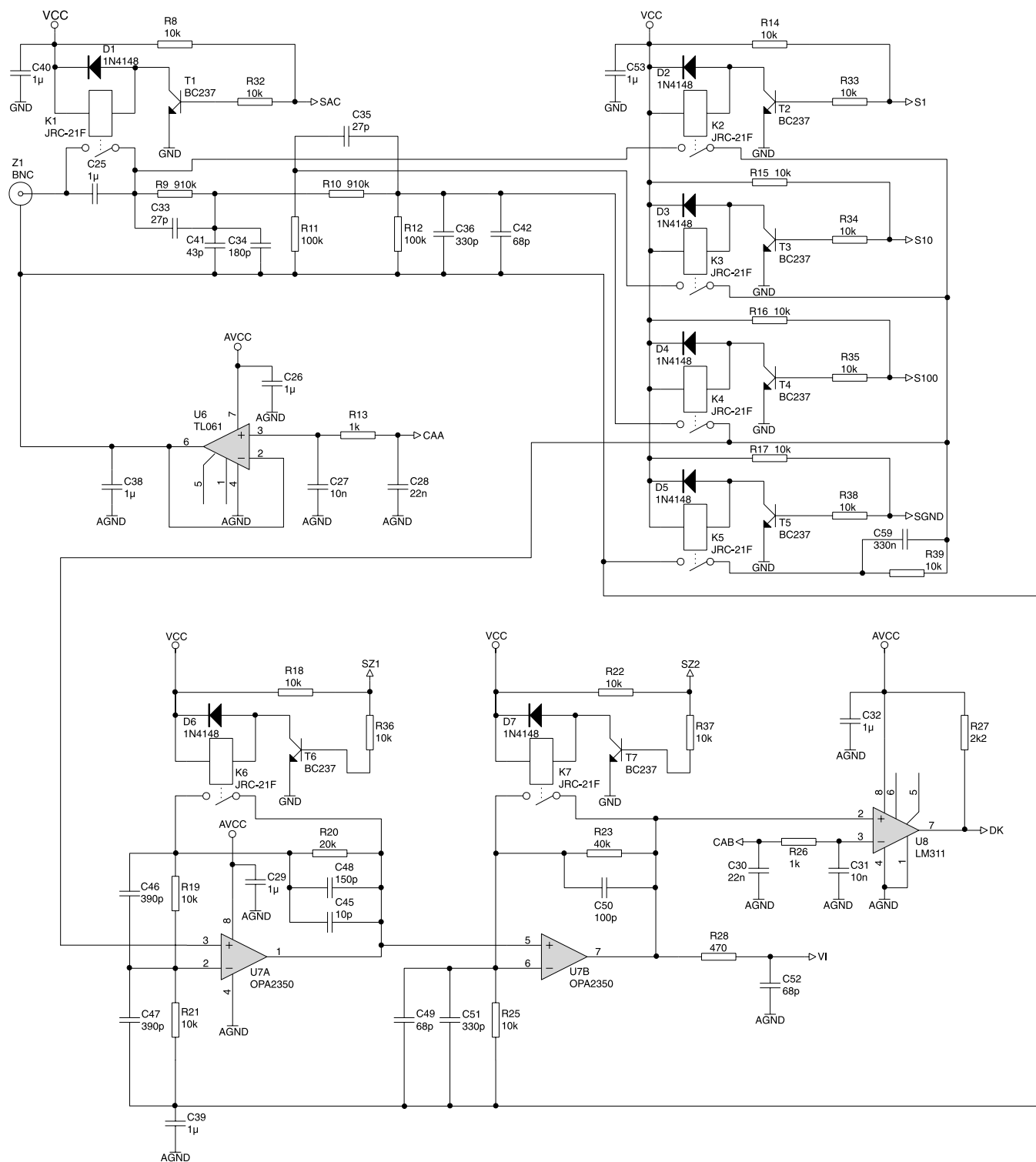


pasma pociągnęło również za sobą zmianę koncepcji wzmacniacza wejściowego. Do regulacji wzmocnienia nie nadaje się już potencjometr cyfrowy, gdyż jego pasmo wynosi 1 MHz. Do budowy tego układu użyłem szybkiego wzmacniacza operacyjnego oraz przełączników służących do przełączania dzielnika rezystancyjno-pojemnościowego tj. regulacji wzmocnienia. Zamiast przełączników można użyć przełączników półprzewodnikowych np. CD4066, ale wprowadzają one zniekształcenia, jak również przywierają sygnały powyżej napięcia zasilania tj. 5 V.

Opis budowy

Obwody wejściowe oscyloskopu są przedstawione na **rys. 1**, a na **rys. 2** pokazano mikrokontroler wraz z jego otoczeniem.

Sygnał z gniazda BNC trafia na układ wyboru trybu pracy AC/DC (pojemność wejściowa C25 oraz przełącznik K1), którego celem jest wycięcie lub pozostawienie składowej stałej. Następnie przebieg jest dzielony dzielnikiem rezystancyjno-pojemnościowym (R9, R10, R12, C33, C41, C35, C36, C42) w stosunku 1:10:100. Przełączniki K2, K3, K4, K5 działają jako multiplexer, wybierając wartość podziału, przy czym ostatni – K5 wybiera potencjał masy pozornej, która jest zarazem masą dla przebiegu wejściowego. Wartość tego potencjału jest ustalana za pomocą przetwornika cyfrowo-analogowego – znanego już nam MAX522 (U4) oraz wzmacniacza operacyjnego TL061, pracującego jako wtórnik.



Rys. 1. Schemat obwodów wejściowych oscyloskopu

Aby ograniczyć szumy, dodatkowo przed wejściem nieodwracającym wzmacniacza operacyjnego zastosowano filtr RC (R13, C27, C28). Po wyborze przez mikrokontroler odpowiedniego podziału sygnału analizowanego, jest on wzmacniany w 2-stopniowym wzmacniaczu zbudowanym na szybkim wzmacniaczu operacyjnym OPA2350

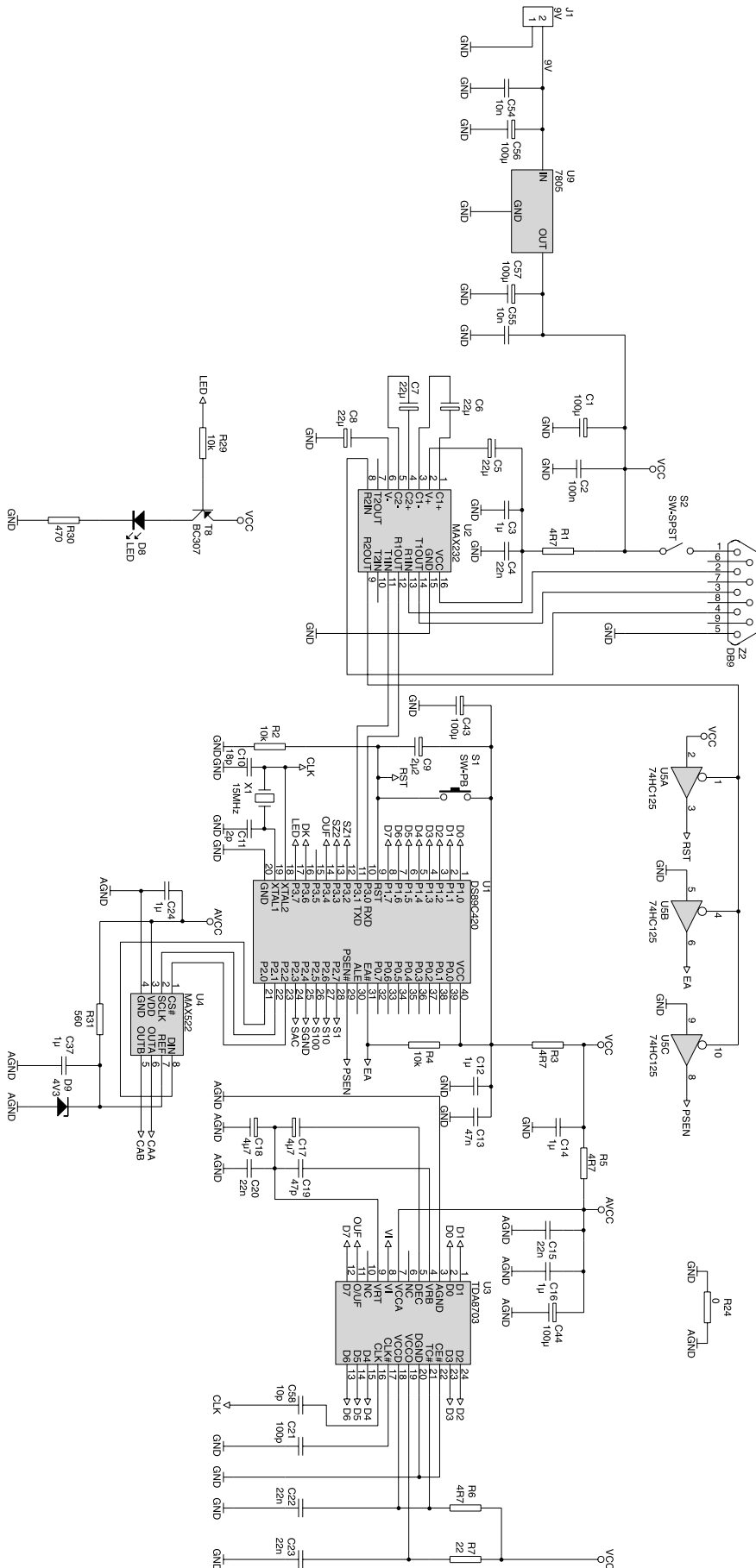
(U7). Układ ten produkowany przez firmę Burr-Brown posiada bardzo dobre parametry, tj. pasmo 38 MHz, prędkość zmian napięcia 22 V/μs, bardzo niski poziom szumu, oraz mały współczynnik zniekształceń nieliniowych THD<0.0006. Pierwszy stopień wzmacniacza wejściowego wzmacnia sygnał x2 albo x4, drugi zaś

x1, lub x5. Do ustalenia wzmocnienia służą przełączniki K6, K7, przełączające odpowiednie obwody sprzężenia zwrotnego RC układu U7. Zakres napięcia wejściowego przetwornika analogowo-cyfrowego TDA8703 (U3) zawiera się w przedziale 1,5 V dla wartości 00h do 3,5 V dla wartości FFh. Daje to zakres przetwarzania rów-

ny 2 V. Ekran oscyloskopu jest podzielony na 10 działek poziomych napięcia, stąd też wynika naturalny zakres przetwornika A/C wynoszący 200 mV/dz. Z dostępnych podzielników oraz mnożników możemy otrzymać następujące zakresy pomiarowe napięć:

- 10 V/dz: 100 x2 x1,
- 5 V/dz :100 x2 x2,
- 2 V/dz :100 x2 x5,
- 1 V/dz :10 x2 x1,
- 0,5 V/dz :10 x2 x2,
- 0,2 V/dz :10 x2 x5,
- 0,1 V/dz :1 x2 x1,
- 50 mV/dz :1 x2 x2,
- 20 mV/dz :1 x2 x5,
- 10 mV/dz :1 x4 x5.

Uformowany i dopasowany do zakresu przetwornika A/C przebieg podawany jest na układ wyzwala- nia oraz na filtr RC (R28, C52) zestrojony na częstotliwość około 5 MHz, a następnie po filtracji na wejście TD8703, w którym realizo- wana jest kwantyzacja sygnału. Do wyzwala- nia oscyloskopu wykorzystano kompara- tor LM311 (U8), którego zadaniem jest porównywanie napięcia sygnału analizowanego z napięciem poziomu wyzwala- nia, ustalanego za pośrednictwem przetwornika cyfrowo-analogowego U4. Wynik porównania informuje mikrokontroler, w zależności od wybranego rodzaju wyzwala- nia (narastającym lub opadającym zbo- czem), od którego momentu ma zacząć pobierać próbki. Przetworniki- em pomiarowym w tym układzie jest popularny, tani i ogólnie do- stępny przetwornik video TDA8703 produkowany przez Philipsa. Układ ten posiada pasmo przenoszenia równe 20 MHz, a częstotliwość przetwarzania 40 MHz przy 8-bitowej rozdzielczości. Synchronizacja układu TDA8703 z mikrokontrolerem DS89C420 jest zrealizowana przez taktowanie obu układów wspólnym przebiegiem zegarowym. Przetwornik A/C pracuje ze stałą częstotliwością, wynoszącą 15 MHz w trybie *transparent*. Oznacza to, że na wejściu portu P1 układu U1 pojawiają się z tą częstotliwo- ścią próbki sygnału wejściowego. W przystawce oscyloskopowej mi- krokontroler DS89C420 pełni rolę bufora dla próbek, układu sterują- cego pracą podzespołów, oraz od- powiedzialny jest za komunikację z PC. Taktowanie mikrokontrolera zegarem 15 MHz jest niewystar-



Rys. 2. Schemat bloku mikrokontrolera

czające do uzyskania próbkowania 10 MS/s, dlatego też częstotliwość zegarowa jest wewnętrznie powielana w stosunku 2-krotnym, dając częstotliwość pracy kontrolera równą 30 MHz. Zastosowanie rezonatora kwarcowego o częstotliwości 15 MHz pozwoliło uniknąć problemu, jaki pojawił się w poprzedniej wersji oscyloskopu. Kwarce dla częstotliwości równej i większej niż 30 MHz często pracują na 3. harmonicznej i podpięte na „żywca” do wejść XTAL startują na częstotliwości 3-krotnie niższej. Były z tym kłopoty w poprzednim rozwiązaniu.

Wewnętrzna pamięć SRAM mikrokontrolera o pojemności 1024 bajtów jest wykorzystywana do buforowania próbek. Układ DS89C420 pobiera dane z portu P1 z częstotliwością odpowiednią dla wybranej podstawy czasu. Dane z przetwornika pojawiają się tu co około 60 ns. W związku z tym, że od-

czyt próbek nie jest stały, może pojawić się zjawisko *aliasingu* opisywane w projekcie cyfrowego oscyloskopu – analizatora stanów logicznych (EP 10-11/2003). Do komunikacji oscyloskopu z komputerem wykorzystano łącze szeregowe pracujące z maksymalną prędkością wynoszącą 115200 b/s. Do uzyskania tej prędkości konieczne było wykorzystanie możliwości taktowania licznika T1 bezpośrednio zegarem oscylatora przemnożonym przez 2. Układ DS89C420 jest do tego przystosowany. Domyślnie układ pracuje w trybie standardowym dla 51-ki, czyli xtal/12. Prędkość portu ustalono na 3000000:32:(256-248) = 117187 b/s. Błąd względem UART-a w komputerze wynosi około 1,7%, mieści się więc w dopuszczalnym zakresie. Dopasowanie poziomów napięć TTL – RS232 zapewnia standardowy układ scalony MAX232 (U2). Dodatkowo, na płytce urządzenia

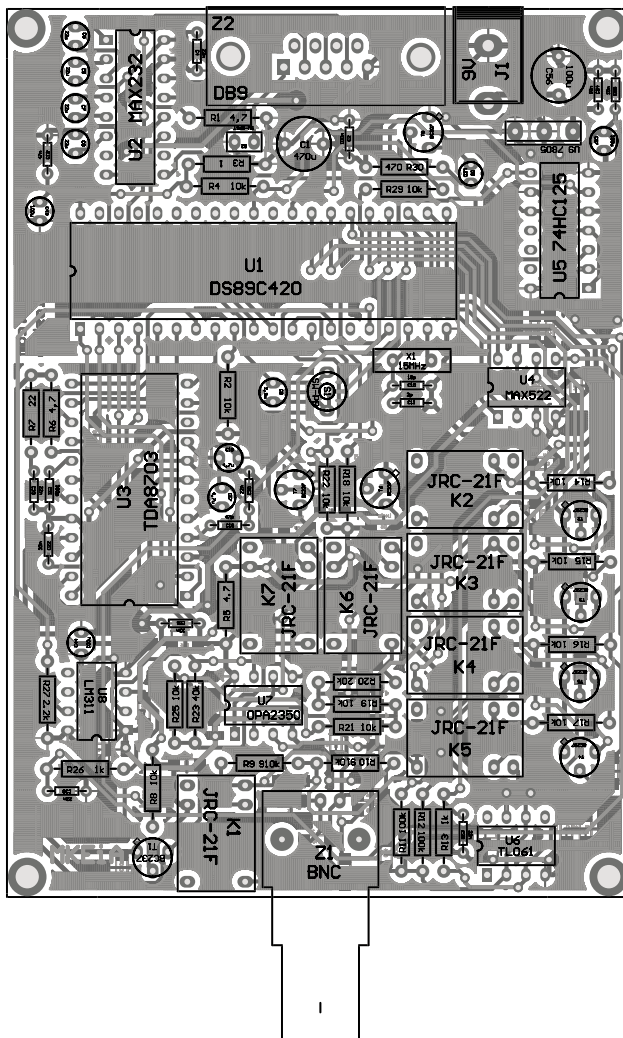
został umieszczony prosty układ przełączający, zbudowany na 3 buforach trójstanowych 74HC125 (U5), którego zadaniem jest wprowadzenie mikrokontrolera w stan umożliwiający jego programowanie. Dzięki temu, nie jest wymagany programator. Do przełączania w stan umożliwiający zaprogramowanie posłużono się linią sterującą DTR portu szeregowego PC.

Przystawka oscyloskopowa pobiera około 250 mA przy zasilaniu +5 V i może być zasilana z portów komputera, jeżeli przewidują one takie obciążenie. Przewidziano również (a może przede wszystkim) możliwość zasilania zewnętrznego i do tego celu został dobudowany prosty układ oparty na stabilizatorze 7805 (U9). Do zasilania wystarczy 9 V zasilacz prądu stałego o wydajności prądowej 250 mA. W trybie pracy z zasilaniem oscyloskopu z portów komputera zworka S2 powinna być zwarta, zaś podczas pracy z zewnętrznym zasilaczem rozwarta, tak aby nie dopuścić do zasilania PC-ta z zasilacza. Na płytce znajduje się również dioda LED (D8), której zadaniem jest sygnalizowanie komunikacji z komputerem.

Montaż i uruchomienie

Cały układ został zmontowany na płytce 2-stronnej o wymiarach 115 mm x 85 mm (rys. 3). Do montażu wykorzystano elementy przewlekane oraz SMD w obudowach 1206. Montaż nie powinien więc sprawić większych problemów. Lutowanie rozpoczynamy od elementów SMD, ale bez kondensatorów dzielnika wejściowego (C33, C34, C35, C36, C41, C42) oraz kondensatorów wzmacniacza wejściowego (C45, C46, C47, C48, C49, C50, C51). Następnie umieszczamy rezystory, układy scalone, przekaźnik, kondensatory i pozostałe elementy. Po zmontowaniu układu, należy zaprogramować mikrokontroler DS89C420. Zanim tego dokonamy, będziemy potrzebowali przewodu łączącego płytkę oscyloskopu z komputerem. Kabel z obu stron jest zakończony wtykiem DB9, od strony komputera żeńskim, a od strony oscyloskopu męskim. Końcówki przewodu łączymy zgodnie z opisem podanym w tab. 1.

Końcówki Z2(1) złącza przystawki oscyloskopowej nie musimy podłączać, jeżeli korzystamy z za-



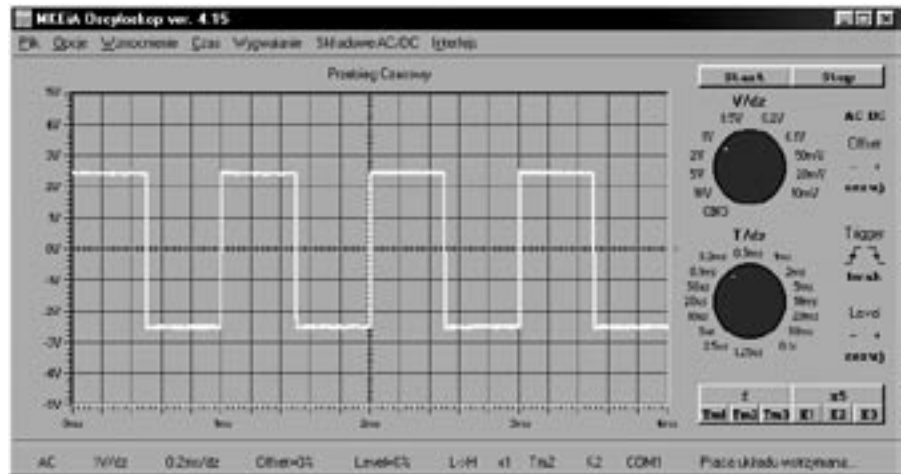
Rys. 3. Płytką drukowana oscyloskopu

silacza, wtedy zworka S2 powinna być rozwartha, by nie dopuścić do zasilania komputera. Jeżeli chcemy korzystać z zasilania z komputera, to do Z2(1), doprowadzamy napięcie +5 V, wówczas zworka S2 powinna być zwarta. Najlepiej napięcie to pobrać z zasilacza komputera i wyprowadzić je na zewnątrz np. umieszczając na zasłepce gniazdo.

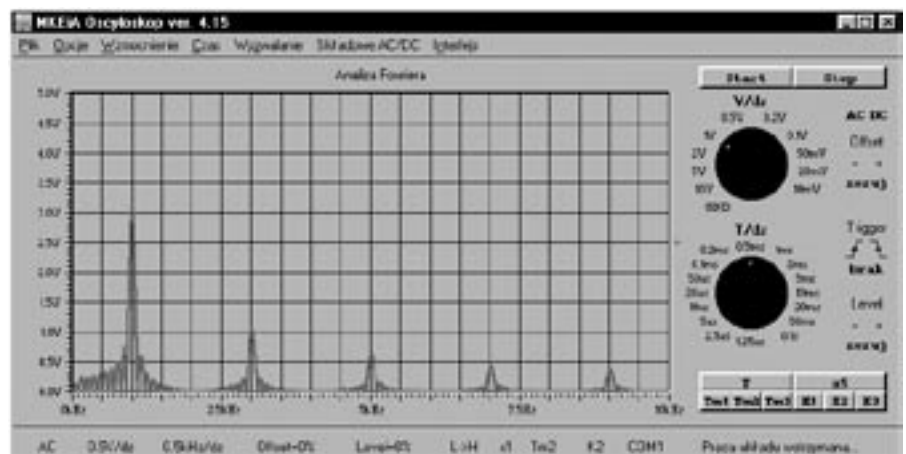
Do zaprogramowania mikrokontrolera można wykorzystać oprogramowanie firmowe MTK, które można ściągnąć bez żadnych opłat spod adresu: ftp://ftp.dalsemi.com/pub/microcontroller/dev_tool_software/mtk/. Po pomyślnym załadowaniu programu sterującego do Flasha, przystępujemy do instalacji oprogramowania na PC. Instalacja ta wykonuje się automatycznie za pomocą programu InstallShield Wizard. Po zakończeniu instalacji, uruchamiamy oprogramowanie i rozpoczyna się normalna praca oscyloskopu (dioda LED miga). Przystępujemy zatem do strojenia dzielnika i wzmacniacza wejściowego.

Strojenie dzielnika i wzmacniacza wejściowego

Dobór pojemności rozpoczynany od dzielnika, ale zanim zaczniemy ten etap uruchamiania, musimy zwrócić na chwilę nóżki 1 i 2 wzmacniacza operacyjnego OPA2350, tak aby pierwszy stopień pracował jako wtórnik. Sondy oscyloskopowe standardowo posiadają impedancję wejściową równą 1 MΩ || 25pF, taką więc impedancję wejściową również posiada przystawka oscyloskopowa. Zgrubnie oszacowane wartości pojemności (C33=27 pF, C34=180 pF, C35=27 pF i C36=180 pF) wlotowujemy, a następnie przełączamy czułość w programie na 1 V/dz, a do wejścia podłączamy generator przebiegu prostokątnego o napięciu około 5 V. Na ekranie powinien pojawić się przebieg przypominający prostokąt. Przy źle zestrojonym



Rys. 4. Okno przebiegu czasowego



Rys. 5. Okno analizy częstotliwościowej

dzielniku kształt tego napięcia może się znacznie różnić od prostokąta. Jeżeli wyświetlony na ekranie przebieg jest zróżniczkowany, to należy dodać pojemność C41 o wartości kilkunastu pikofaradów. Jeżeli przebieg będzie skałowany, to trzeba zmniejszyć C34 o kilkanaście pikofaradów. Gdy mamy już na ekranie przebieg prostokątny dla danej częstotliwości (najlepiej 1 kHz), należy sprawdzić zachowanie się dzielnika dla szerszego pasma. Zmieniamy w tym celu częstotliwość generatora od 100 Hz do 100 kHz. Obserwowany przebieg nie powinien zmieniać swojego kształtu, ani wartości. Jeżeli będzie się zmieniał, to dokonujemy drobnej korekty pojemności. Gdy dobierzemy już odpowiednio pojemności, stroimy następny podział przez 10 podobnie jak powyżej, ale przełączamy czułość na 10 V/dz i jednocześnie zwiększamy amplitudę. Na koniec zostaje nam zestroić poziom masy pozornej, w tym celu

klikamy na pokrętle czułości GND i zmieniając wartość rezystora R31 ustalamy przebieg na wartość 0. Po zestrojeniu dzielnika przystępujemy do doboru pojemności sprzężenia zwrotnego wzmacniacza. Wlotowujemy pojemności C49, C50, przełączamy czułość na 0,2 V/dz i zmniejszamy amplitudę sygnału wejściowego na 1 V, a następnie dokonujemy korekty pojemnością C51, tak jak poprzednio. Rozwieramy wcześniej zwarte nóżki 1, 2 układu U7, wlotowujemy kondensatory C46, C47, C48 i przełączamy zakres na 0,5 V/dz. Korekty dokonujemy analogicznie jak poprzednio pojemnością C45. Po zestrojeniu przystawki oscyloskopowej możemy śmiało przystąpić to pracy. Opisane powyżej strojenie może zniechęcić do montażu, ale nie jest ono wcale takie skomplikowane, jak się wydaje, a wlotowanie pojemności takich jak na schemacie (bez zabawy ze strojeniem) może dać całkiem zadowalający efekt.

Tab. 1. Opis wykonania kabla łączącego oscyloskop z komputerem	
Komputer	Oscyloskop
RXD(2)	TXD(3)
TXD(3)	RXD(2)
DTR(4)	PROG(4)
GND(5)	GND(5)
	VCC(1)

Oprogramowanie

Na rys. 4 i 5 przedstawiono okna programu użytkowego. U góry okna znajduje się menu, po lewej stronie ekran przebiegu, po prawej pokrętła czułości, podstawy czasu oraz przyciski funkcyjne. Na dole znajduje się pasek informacyjny. Pracę urządzenia rozpoczynamy wciskając klawisz *Start*, uprzednio dokonując odpowiedniego wyboru portu COM w menu. Dioda LED na płycie powinna migać, co oznacza, że komunikacja z komputerem została nawiązana pomyślnie. Przycisk *Stop* zatrzymuje pracę układu. Pokrętłem górnym dokonujemy wyboru czułości z zakresu od 10 mV/dz do 10 V/dz oraz potencjału masy GND w celu jej kalibracji. Obok pokrętła, po prawej stronie znajdują się przyciski *AC* i *DC*, służące do wyboru rodzaju pracy układu: ze składową stałą lub bez niej. Poniżej są przyciski *-* i *+* oraz *Zeruj*. Dokonujemy nimi regulacji potencjału masy wejściowej, która jest wyrażona w procentach, a klawisz *Zeruj* przywraca pierwotną wartość 0%. Na lewo, poniżej znajduje się pokrętło podstawy czasu od 1,25 μ s/dz do 0,1 s/dz, a na prawo przyciski sposobu wyzwalania (narastającym lub opadającym zboczem) lub braku wyzwalania. Pod nimi znajdują się klawisze *-*, *+*, *Zeruj*, za pomocą których ustawiamy poziom wyzwalania analogicznie do regulacji potencjału masy. Niżej są umieszczone przyciski *f/T*, *x1/x5*, *Tm1*, *Tm2*, *Tm3*, *K1*, *K2*, *K3*. Pełnią one funkcje:

- *f/T* - wybór trybu pracy - oscyloskop/analizator widma.
- *x1/x5* - pięciokrotne rozciągnięcie przebiegu czasowego od środka ekranu, lub jego brak.
- *Tmx* - zadaniem tych klawiszy jest ustalenie częstości pobieranych próbek przez komputer, ma to znaczenie przy słabszych komputerach, kiedy czas rysowania jest porównywalny z czasem odbioru ramki.
- *Kx* - dokonują wyboru rodzaju koloru przebiegów.

Komunikacja pomiędzy płytką oscyloskopu i komputerem odbywa się z prędkością 115200 b/s. Pozostałe parametry transmisji to: 1 bit stopu, brak kontroli parzystości. Ramka wysyłana przez PC składa się z pięciu bajtów, a w odpowiedzi na nią komputer otrzy-

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

R1, R3, R5, R6: 4,7 Ω
 R2, R4, R8, R14...R19, R21, R22, R25, R29, R32...R39: 10k Ω
 R7: 22 Ω
 R9, R10: 910k Ω
 R11, R12: 100k Ω
 R13, R26: 1k Ω
 R20: 20k Ω
 R23: 40k Ω
 R24: 0 Ω (1206)
 R27: 2,2k Ω
 R28: 470 Ω (1206)
 R30: 470 Ω
 R31: 220 Ω (1206)
 R32...R39: 10k Ω (1206)
 R40: 2,2M Ω (1206)

Kondensatory

C1: 470 μ F/25V
 C2: 100nF
 C3, C12, C14, C16, C24...C26, C29, C32, C37...C40, C53: 1 μ F (1206)
 C4, C15, C20, C22, C23, C28, C30: 22nF
 C5...C8: 22 μ F/16V
 C9: 2,2 μ F/16V
 C10: 18pF
 C11: 2pF
 C13: 47nF
 C17, C18: 4,7 μ F/16V
 C19: 47pF
 C21: 100pF
 C33, C35: 27pF (1206)
 C34: 180pF (1206)
 C36, C51: 330pF (1206)

C27, C31: 10nF (1206)
 C42, C49, C52: 68pF (1206)
 C43, C44, C57: 100 μ F/16V
 C45: 33pF (1206)
 C46, C47: 390pF (1206)
 C48: 150pF (1206)
 C50: 100pF (1206)
 C54, C55: 10nF
 C56: 100 μ F/63V
 C58: 10pF (1206)
 C59: 330nF (1206)

Półprzewodniki

D1...D7: 1N417 (1206)
 D8: LED
 D9: Zener C4V3 (1206)
 T1...T7: BC237
 T8: BC307
 U1: DS89C420
 U2: MAX232
 U3: TDA8703
 U4: MAX522
 U5: 74HC125
 U6: TL061
 U7: OPA2350
 U8: LM311
 U9: 7805

Różne

Z1: gniazdo BNC
 Z2: gniazdo DB9 do druku żeńskie
 X1: rezonator 15MHz
 J1: gniazdo zasilające do druku
 K1...K7: przekaźnik JRC-21F
 S1: switch „Reset”
 S2: zworka

muje 1000 bajtów reprezentujących wartości próbek. Pierwszy bajt, jest bajtem sterującym, którego 7. bit oznacza tryb pracy: AC=0, DC=1, 6. bit wyzwalanie: 1 - włączone, 0 - wyłączone, 5. bit określa zbrocze wyzwalania: 1 - narastające, 0 - opadające. Następny bajt, to podstawa czasu: 0 dla 1.25 μ s/dz, 1 dla 2,5 μ s/dz, itd. do 15 dla 0,1 s/dz. Trzeci bajt, to wartość potencjału masy od 0 do 255, punkt zerowy = 143. Kolejny bajt wyznacza poziom wyzwalania z zakresu od 0 do 255, poziom zera = 143. Ostatni bajt to czułość: 0 - GND, 1 - 10 mV/dz, 2 - 20 mV/dz, itd. do 10 - 10 V/dz.

Na stronie <http://mkeia.com> postaram się zamieszczać aktualizację oprogramowania oraz rozwiązania ewentualnych problemów, które mogą powstać podczas montażu

urządzenia. Pytania można kierować bezpośrednio do mnie na adres: info@mkeia.com lub zamieścić na forum EP.

Marek Kopeć

Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: pcb.ep.com.pl oraz na płycie CD-EP8/2004B w katalogu PCB.

Uwaga:

Przekroczenie napięcia wejściowego $V_{pp} > 5$ V dla zakresów 10mV...100mV może uszkodzić wzmacniacz wejściowy!

Pamiętaj, że oscyloskop nie jest odseparowany od komputera, a masa komputera jest często połączona z przewodem ochronnym.