

# Dwukanałowa sonda logiczna z pamięcią próbek

## kit AVT-810

*Laboratoryjny przyrząd, którego konstrukcję przedstawiamy w artykule jest tak uniwersalny, że w wielu przypadkach może spełniać rolę nie tylko inteligentnego próbnika stanów logicznych, ale zastąpić także oscyloskop. Dzięki wbudowaniu pamięci próbek i zaawansowanych metod wyzwalania, funkcjonalność próbnika trudno przecenić. To wszystko zmieściło się w jednym małym procesorze.*

### Podstawowe cechy sondy:

- ✓ dwa kanały wejściowe;
- ✓ pojemność pamięci: 240 próbek na kanał;
- ✓ wyzwalanie: ręczne lub ustawioną kombinacją stanów na wejściach;
- ✓ odstęp próbkowania: 100, 200, 500[ $\mu$ s], 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500[ms], 1, 2, 5[s];
- ✓ zabezpieczenie przeciwprzepięciowe na wejściach do  $\pm 12$ V;
- ✓ zobrazowanie dwóch stanów logicznych: niskiego ( $U_{we} < 1,4$ V) i wysokiego ( $U_{we} > 1,4$ V) przy  $U_{zas} = 5$ V;
- ✓ zasilanie: 4..6V, maksymalny pobór prądu 70mA przy 5V;
- ✓ zabezpieczenie przed odwrotną polaryzacją napięcia zasilającego.

Sonda logiczna jest jednym z podstawowych narzędzi przy uruchamianiu urządzeń techniki cyfrowej. W literaturze pojawiło się już wiele opisów próbników, sond, wskaźników i innych przyrządów, których zadaniem jest pokazywanie stanu logicznego występującego w jakimś punkcie. Zazwyczaj są to układy umożliwiające rozróżnienie stanu niskiego i wysokiego.

Często taki próbnik potrafi też zasygnalizować stan wysokiej impedancji oraz stan zabroniony, gdy napięcie nie mieści się w zakresie napięć dozwolonych. Trochę bardziej rozbudowane układy wydłużają impulsy umożliwiając obserwację krótkich, nawet nanosekundowych impulsów.

W praktyce bardzo często przydatna jest możliwość jednoczesnej obserwacji stanu w kilku punktach. Przy analizie przebiegów okresowych można wykorzystać dwukanałowy oscyloskop. Przebiegi nieokresowe możemy obejrzeć już tylko na oscyloskopie z pamięcią lub analizatorze stanów logicznych. Te ostatnie mają zwykle osiem, szesnaście lub więcej kanałów i ze względu na cenę pozostają zazwyczaj poza zasięgiem elektronika amatora.

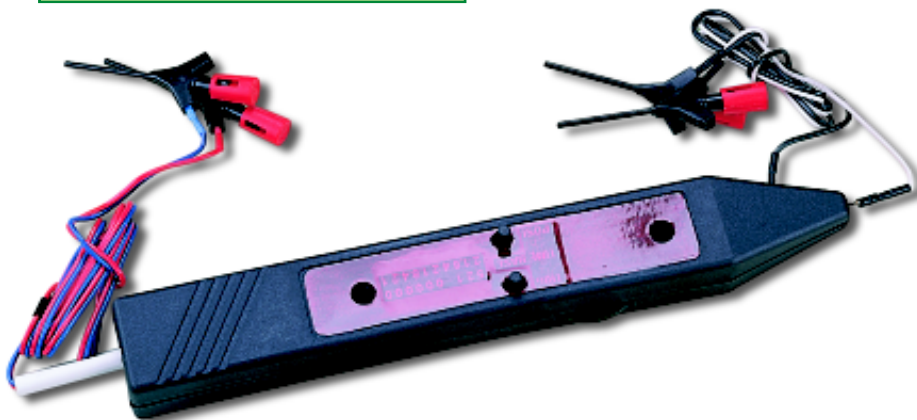
Cel, jaki postawiłem sobie projektując sondę był jasny: chodziło o prosty przyrząd do podglądania

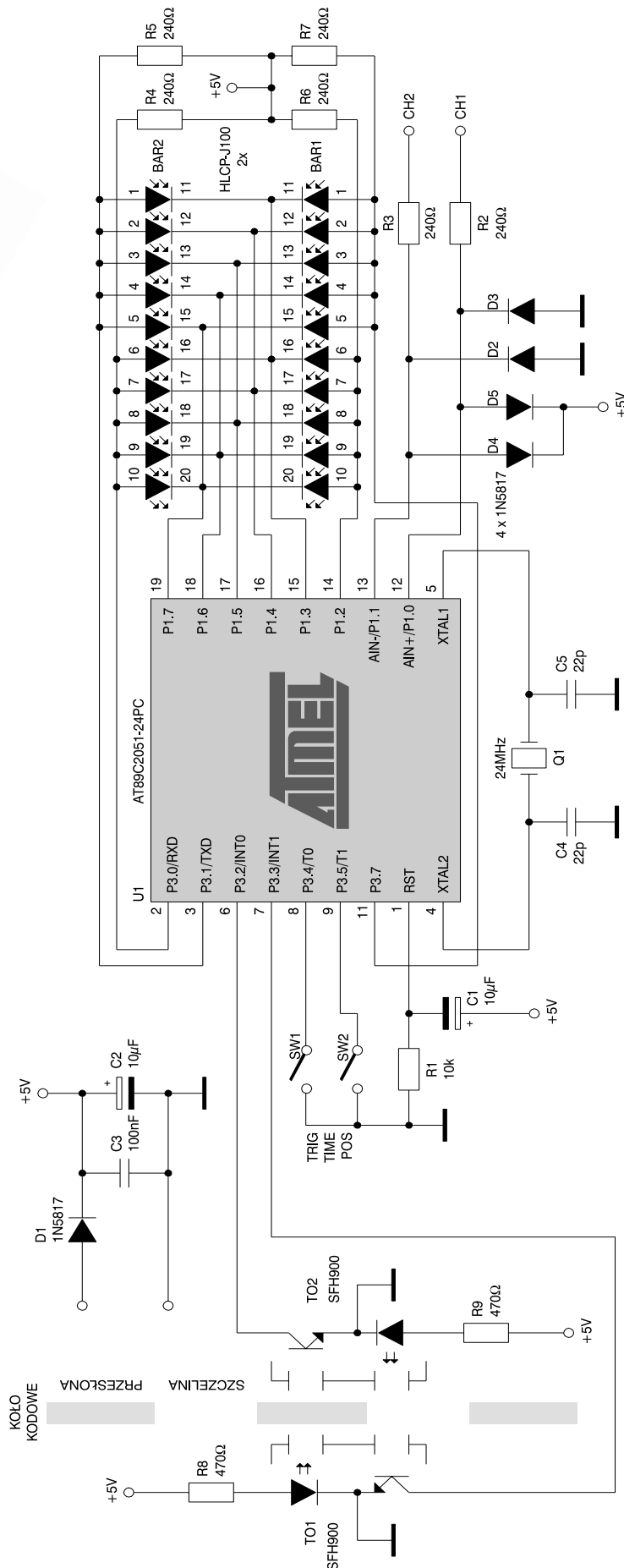


transmisji szeregowych różnego rodzaju oraz sprawdzania czasu trwania sygnałów na wyjściach uruchamianych układów. Pożądane byłoby, aby ów przyrząd umożliwiał obserwację zależności czasowych w dwóch różnych punktach.

Przy takich założeniach powstała „Dwukanałowa sonda logiczna z pamięcią próbek”. „Dwukanałowa” - bo mająca dwa kanały wejściowe, „sonda logiczna” bo układ rozróżnia tylko dwa stany logiczne: niski i wysoki, a „z pamięcią próbek” - to określenie, które wymaga nieco szerszego wyjaśnienia. Otóż stany logiczne na obu wejściach są próbkowane i zapamiętywane, aby umożliwić ich późniejszą analizę. Okres próbkowania można ustawić w zakresie od 100 mikrosekund do 5 sekund. Ustawianie odbywa się w krokach 1, 2, 5. Oznacza to, że można ustawić odstęp próbkowania na 100 $\mu$ s, 200 $\mu$ s, 500 $\mu$ s, 1ms, 2ms, 5ms itd., aż do 1s, 2s i 5s. Pamięć mieści 240 próbek z każdego kanału wejściowego. Przy najmniejszym okresie próbkowania daje to czas zapisu równy  $240 \times 100\mu s = 0,024$  sekundy.

Ręczne zapoczątkowanie próbkowania w potrzebnym momencie wymagałoby nie lada refleksu. Dlatego wprowadzono możliwość ustawienia warunku wyzwolenia.





Rys. 1. Schemat elektryczny sondy.

Jest to kombinacja stanów logicznych na wejściach sondy, której pojawienie się powoduje zainicjowanie próbkowania. Oczywiście, zawsze można uruchomić zapis „z ręki”. Zapis kończy się po wypełnieniu pamięci próbek, co przy maksymalnym odstępie próbkowania daje  $240 \times 5s = 20$  minut.

W takim przypadku może przydać się opcja przerywania próbkowania w dowolnej chwili. Z dotychczasowego opisu mogłoby wynikać, że to prawie dwukanalowy analizator stanów logicznych. Diabeł jak zwykle siedzi w szczegółach. Minimalny odstęp próbkowania  $100\mu s$  daje częstotliwość próbkowania „zaledwie” 10kHz.

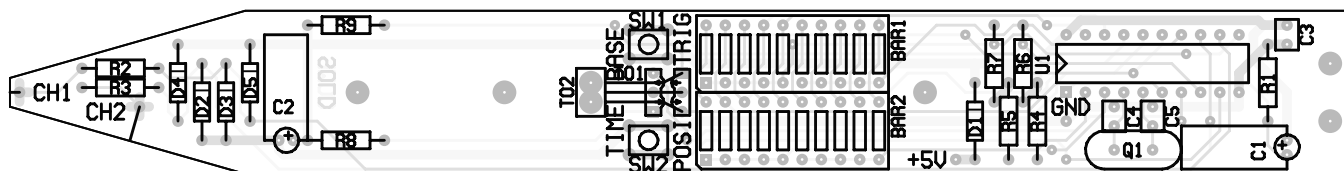
Nie pozwala to wprawdzie na analizę hazardów w układach cyfrowych, ale np. szeregową transmisję o prędkości 9600bit/s można sobie spokojnie obejrzeć. Pamięć o pojemności 240 próbek na kanał też nie jest zbyt imponująca, ale przy właściwie dobranym warunku wyzwolenia w wielu przypadkach wystarczy.

Wyświetlacz składa się z dwóch linijek diodowych (bargrafów). Obsługę sondy umożliwiają dwa przełączniki monostabilne i przetwornik obrotowo-impulsowy. Żaden z dostępnych przetworników nie pasował do obudowy sondy, zatem zdecydowałem się na samodzielne wykonanie tego podzespołu. Jest to bodaj najbardziej pracochłonna część sondy. Poza tym układ elektroniczny jest nieprzyzwoicie prosty, zawiera tylko jeden układ scalony - mikrokontroler AT89C2051 firmy Atmel i kilka elementów dyskretnych.

### Opis układu

Schemat elektryczny sondy przedstawiono na rys. 1. Sygnał wejściowy kanału pierwszego wchodzi przez szeregowy rezystor R2 na ogranicznik diodowy D3, D5. Dalej napięcie jest podawane na wejście P1.0 (AIN+) procesora U1. Dzięki temu rozwiązaniu uzyskano zabezpieczenie wejścia procesora przed przekroczeniem dopuszczalnych napięć wejściowych.

Wejście AIN+ charakteryzuje się ponadto minimalnym, żeby nie powiedzieć szczątkowym, prądem wejściowym rzędu  $\pm 10\mu A$ . Zatem dołączenie wejścia sondy



Rys. 2. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej.

w dowolne miejsce badanego układu nie powinno w żaden sposób wpływać na jego pracę. Dla kanału drugiego układ wejściowy jest identyczny. Tutaj sygnał zanim dotrze do pinu P1.1 (AIN-) musi przejść przez rezystor R3, a do dozwolonej wartości jest ograniczany przez diody D2 i D4. Do ustawiania trybu pracy służą dwa mikroprzełączniki SW1 i SW2. Stan przycisku SW1 (TRIG) jest odczytywany przez procesor wejściem P3.4. Przycisk SW2 (PO-SI) jest podłączony do pinu P3.5. Drgania styków tych przełączników są filtrowane programowo.

Poruszanie się po pamięci próbek, ustawianie odstępów próbkowania i warunku wyzwolenia umożliwia optyczny przetwornik obrót/impuls. Jak wspomniano wcześniej, ze względów praktycznych został on wykonany samodzielnie i umieszczony bezpośrednio na obwodzie drukowanym.

Przetwornik składa się z dwóch transoptorów odbiciowych TO1, TO2 i koła kodowego. Transoptory odbiciowe zawierają w jednej obudowie diodę LED emitującą światło w zakresie podczerwieni i fototranzystor. W normalnym trybie pracy transoptora odbiciowego fototranzystor odbiera promieniowanie „swojej” diody świecącej odbite od przeszkody pokrytej warstwą refleksyjną. Cechą charakterystyczną takiego elementu jest doskonałe dopasowanie widmowe. Fototranzystor osiąga największą czułość dokładnie przy takiej długości fali, jaką emituje dioda LED. U nas te transoptory wystąpią w trochę nietypowej roli. Dioda LED jednego transoptora będzie oświetlała fototranzystor drugiego transoptora i odwrotnie, LED drugiego transoptora oświetla fototranzystor pierwszego. Pomiedzy nimi będzie przesuwano koło kodowe z wyciętymi otworami. Zatem z dwóch transoptorów odbiciowych zbudujemy dwa miniaturowe transoptory szczelinowe. Przetwornik zbudowany w ta-

ki sposób nie ma imponującej rozdzielczości, ale w naszym przypadku te 8 impulsów na jeden obrót całkowicie wystarczy.

A teraz przejdźmy do szczegółów jego konstrukcji. Dioda świecąca transoptora TO1 jest podłączona do napięcia +5V przez rezystor R8 ograniczający prąd. Katoda diody świecącej i emiter fototranzystora są połączone wewnątrz transoptora i podłączone do środkowego wyprowadzenia. U nas to wyprowadzenie jest połączone z masą. Kolektor fototranzystora jest połączony z pinem P3.3 procesora. Gdy fototranzystor jest oświetlony przez diodę LED transoptora TO2, to na tym wejściu panuje niski stan logiczny. Gdy fototranzystor jest zasłonięty, wewnętrzne podciągnięcie do zasilania w procesorze wymusza stan wysoki. Prąd diody świecącej transoptora TO2 jest ograniczany przez rezystor R9. Kolektor fototranzystora tego transoptora jest połączony z wejściem P3.2.

Jako wyświetlacz zastosowano dwie linijki diod świecących BAR1 (górna) i BAR2 (dolna). Każda linijka składa się z dziesięciu niskoprądowych diod świecących w kolorze czerwonym. Diody z obu bargrafów połączono w matrycę 4 razy 5. Dzięki temu do sterowania całym wyświetlaczem zużyto tylko dziesięć wyprowadzeń procesora. Wyjścia procesora mogą w stanie wysokim dostarczyć prąd o natężeniu zaledwie kilkudziesięciu mikroamperów. Diody zawarte w zastosowanych bargrafach świecą dostatecznie jasno przy prądzie około 0,7mA. Przyjęto multipleksowane sterowanie wyświetlaczem, czyli w danej chwili świeci tylko jedna dioda. Jeśli chcemy, aby wartość średnia prądu płynącego przez diodę wynosiła 0,7mA, to przez 1/20 czasu musi przez nią płynąć prąd dwudziestokrotnie większy. Konieczną wartość prądu, czyli 14mA zapewniły dodatkowe rezystory podciągające R4, R5, R6 i R7.

Układ sterowania programatora zrealizowano na procesorze AT89C2051 (U1) taktowanym sygnałami z oscylatora z rezonatorem kwarcowym Q1 o częstotliwości 24MHz. Kondensator C1 i rezystor R1 zapewniają poprawny start procesora po załączeniu zasilania. Napięcie zasilające +5V jest czerpane z układu badanego. Dioda D1 zabezpiecza sondę przed skutkami odwrotnego podłączenia napięcia zasilającego, o co w przypadku sondy podłączanej chwytakami, wcale nie tak trudno. Pobór prądu w stanie spoczynku, gdy wszystkie diody LED są wygaszone, wynosił w układzie modelowym 30mA. Przy wszystkich diodach zapalonych pobierany prąd wzrastał do około 70mA.

## Oprogramowanie

Program dla procesora sterującego napisano w języku C (IAR Systems). Z trudem udało się „upchać” go w 2KB pamięci programu. Pozostało zaledwie kilka wolnych bajtów. Wewnętrzna pamięć danych procesora została wykorzystana do ostatniego bajtu. Program składa się z programu głównego i procedur obsługi przerwania od timerów T0 i T1.

Program główny składa się z jednej pętli (nie kończącej się). Przy każdorazowym jej przebiegu program główny odczytuje stan wyjść przetwornika obrotowo-impulsowego oraz wykonuje jedną z czterech faz. Te cztery fazy noszą robocze nazwy: ODSTĘP, WYZWÓL, PATRZ, PRÓBK. W każdej fazie procesor najpierw wykonuje czynności właściwe danej fazie, a następnie sprawdza, czy nie zostały spełnione warunki przejścia do innej fazy programu. Fazą początkową jest faza PATRZ, która rozpoczyna się od interpretacji odczytanych wyjść przetwornika obrót/impuls. Jeśli wykryto obrót koła kodowego, odpowiednio zmieniany jest adres kursora. Następnie aktualizowany jest stan diod górnego bargrafu (BAR1)

zgodnie z zawartością pamięci próbek kanału CH1. Przed wyświetleniem dolnego rzędu sprawdzany jest stan przycisku POSI. Jeśli przycisk jest wciśnięty, na dolnym bargrafie ukazuje się adres kursora. Nigdy nie mogłem zapamiętać, jak wyglądają niektóre cyfry heksadecymalne wyświetlone w postaci binarnej, a dodawanie i odejmowanie takich liczb do dzisiaj pozostawiam kalkulatorowi.

Dla wygody Czytelników (i mojej) adres kursora jest wyświetlany w postaci trzech cyfr BCD. Pierwsze dwie diody (od lewej) oznaczają setki, kolejne cztery dziesiątki, ostatnie cztery jednostki. Adres może przyjmować wartości od 1 do 240.

Przykładowo, jeżeli na wyświetlaczu znajduje się wskazanie:

01.0100.1001 oznacza, że kursor znajduje się na pozycji 149; 10.0100.0000 to 240, czyli adres ostatniej próbki.

Jedynka (1) symbolizuje zapaloną, a zero (0) zgaszoną diodę. Kropki wprowadzono tylko dla przejrzystości zapisu.

Jeśli przycisk POSI jest zwolniony, na diodach wyświetlane są zapamiętane próbki kanału drugiego. Przed wyjściem z tej fazy sprawdzany jest stan przełącznika TRIG. W przypadku, gdy procesor stwierdzi naciśnięcie tego przycisku, zeruje pamięć próbek i przechodzi do fazy WYZWÓL. Jeśli razem z TRIG wciśnięto przycisk POSI, program przechodzi do fazy ODSZTĘP. Faza ODSZTĘP umożliwia zmianę okresu próbkowania. Bieżący okres próbkowania pojawia się na górnym wyświetlaczu. Stan wyświetlacza należy interpretować w następujący sposób: pierwsza dioda (od lewej) oznacza cyfrę 5 (pięć), kolejna cyfrę 2 (dwa), a trzecia to jedynka. W danej chwili tylko jedna z tych diod może być zapalona. Pozostałe diody odpowiadają zerom liczby wyrażonej w mikrosekundach.

Oto kilka przykładów:

001.0.111111 odpowiada 1000000µs, czyli 1s;  
100.0.000111 to 5000µs, czyli 5ms;  
010.0.011111 to 200000µs, czyli 200ms;  
001.0.000011 to 100µs i jest to najkrótszy okres próbkowania.

Zmiany okresu próbkowania w zakresie od 100µs do 5000000µs (5s) dokonuje się przez obracanie kołem kodowym, przy naciśniętych obu przyciskach. Faza WYZWÓL służy do ustawiania stanu, którego pojawienie się na wejściach zainicjuje cykl zapisu próbek do pamięci. W tej fazie pierwsze od lewej diody pokazują aktualny stan na odpowiadających im wejściach. Drugie diody oznaczają stan, przy którym nastąpi wyzwolenie. Dla obu kanałów dozwolone wartości to zero logiczne-dioda zgaszona, jedynka logiczna-dioda zapalona, dowolny stan-dioda migająca. Przykładowo, jeśli na „ekranie” sondy zobaczyemy coś takiego: 11.00000000.

11.00000000 to oznacza, że na wejściach obu kanałów są teraz jedynki logiczne, a wyzwolenie nastąpi, gdy stan logiczny na wejściu kanału pierwszego zmieni się na niski. Jeśli chcemy uruchomić próbkowanie „z ręki”, należy kręćąc kołem kodowym doprowadzić do stanu, w którym obie diody migają, tak jak to przedstawiono poniżej :

1x.00000000  
1x.00000000  
(x-symbolizuje migającą diodę)

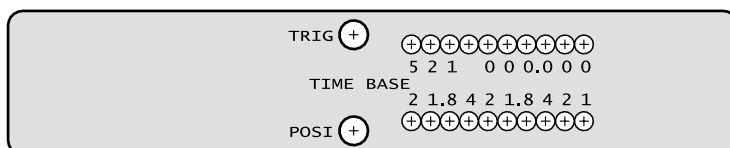
Po zwolnieniu przycisku TRIG program przechodzi do fazy PRÓBK. Faza próbkowania rozpoczyna się sprawdzeniem warunku wyzwolenia. Gdy warunek zostanie spełniony, następuje zezwolenie na przyjęcie przerwania od timera T1. Podprogram obsługi tego przerwania dokonuje co zadany odcinek czasu próbkowania wejść CH1 i CH2, a odczytane wartości zapisuje kolejno do pamięci próbek. Próbkowanie trwa do zapełnienia pamięci próbek,

chyba że wcześniej procesor wykryje naciśnięcie przycisku POSI. W obu przypadkach następuje natychmiastowe przejście do fazy PATRZ. Na cały czas próbkowania wyświetlacz jest wygaszany.

Niezależnie od programu głównego, podprogram obsługi przerwania od timera T0 realizuje wyświetlanie multipleksowane. Procedura ta zgodnie z zawartością „pamięci ekranu” zapala lub gasi diody świecące oraz dokonuje cyklicznej zmiany stanu świecenia diody dla uzyskania efektu migania. Miganie jest realizowane w ten sposób, że przez 200ms dioda LED pozostaje w stanie wynikającym z zawartości pamięci, a przez 50ms jej stan jest zmieniany na przeciwny. Dzięki temu, nawet przy szybkim przesuwaniu się po „ekranie”, wyraźnie widać, w którym miejscu znajduje się kursor i jaką wartość ma próbka, na którą aktualnie wskazuje.

Do fazy USTAW program wchodzi tylko wówczas, gdy w chwili załączenia zasilania są naciśnięte oba przyciski: TRIG i POSI. Jest to faza „serwisowa” i służy do testowania działania przycisków, obwodów wejściowych sondy i kalibracji przetwornika obrotowo-impulsowego. W tej fazie diody LED położone najbliżej przycisków świecą, gdy odpowiadające im przyciski są wciśnięte. Sześć środkowych diod górnego wyświetlacza odwzorowuje aktualny stan na wejściu kanału CH1. Te same diody dolnego wyświetlacza pokazują stan na wejściu kanału drugiego. Ostatnie diody w obu wyświetlaczach pomagają przy ustawianiu transpatorów w przetworniku obrotowo-impulsowym.

Sposób ich wykorzystania zostanie opisany później, teraz wystarczy nam, jeśli będziemy wiedzieli, że dioda w bargrafie BAR2 świeci, gdy fototranzystor transoptora TO2 zostanie oświetlony przez diodę LED transoptora TO1. Podobnie, ostatnia dioda w linijce BAR1 zaświeci, gdy promienie podczerwone emitowane przez diodę LED TO1 oświetlą fototranzystor z transoptora TO2. Wyjście z fazy USTAW jest możliwe tylko przez wyłączenie i ponowne załączenie zasilania, już bez uprzedniego wciskania obu klawiszy.



Rys. 3. Proponowany wygląd naklejki na obudowę sondy.

## Montaż mechaniczny

Zanim zaczniemy lutować elementy elektroniczne na płytce drukowanej (rozmieszczenie elementów przedstawiono na **rys. 2**), warto wykonać kilka prostych prac mechanicznych. Przede wszystkim musimy zeszlifować krawędzie płytki na drobnoziarnistym papierze ściernym. Obróbkę kończymy, gdy płytka będzie bez większych oporów wchodzić do obudowy. Teraz to samo robimy z kołem kodowym. Koło kodowe w skali 1:1 przedstawiono na wkładce wewnątrz numeru.

Do jego wykonania wykorzystano laminat o grubości 1,5mm. Średnica zewnętrzna koła wynosi 30,5mm (1200mils). Na obwodzie okręgu o średnicy 22,9mm (900mils) wywiercono 8 otworów o średnicy 4,5mm, a otwór w środku koła wiertłem 3mm. Jeśli wykonujemy koło samodzielnie, najlepszy efekt osiągniemy szlifując koło na wiertarce. Do środkowego otworu koła wkładamy wkręt M3 i silnie dokręcamy. Tak przygotowaną ośkę zaciskamy w uchwycie samocentrującym wiertarki. Przy niezbyt wysokich obrotach wiertarki możemy precyzyjnie wyrównać zewnętrzną krawędź.

Jeśli w posiadanej płytce drukowanej dwa otwory położone przy oznaczeniu „TO2” są metalizowane, musimy tę metalizację usunąć z obu stron płytki i wnętrza otworów. Dokonujemy tego przez podgrzanie metalizacji lutownicą. Gdy cyna, którą pokryto metalizowane otwory rozpułynie się, delikatnie zdrapujemy grotem „oczka” dookoła otworów. Następnie ze środka otworów wypychamy „tulejki”. Okolice obu otworów i całe koło kodowe odfłuszczamy i pokrywamy czarną matową farbą. Chodzi o to, aby światło emitowane przez diody elektroluminescencyjne transoptorów odbijało się od tych powierzchni w jak najmniejszym stopniu.

Po wyschnięciu farby, wkrętem M3x8 przykręcamy koło kodowe do płytki drukowanej od strony lutowania. Koło kodowe powinno obracać się swobodnie, ale bez nadmiernego luzu. Nakrętkę unieruchamiamy przeciwnokrętką lub kroplą cyny. Między koło a płytkę musimy włożyć podkładkę. Zapobiegnie to w przyszłości przetar-

ciu ścieżki biegnącej po stronie lutowania. Mając tak przygotowane części mechaniczne przystępujemy do montażu elementów elektronicznych.

## Montaż elektroniczny

Wszystkie podzespoły programatora zamontowano na jednej, dwustronnej płytce drukowanej, której rysunek przedstawiono na wkładce wewnątrz numeru.

Jako pierwsze wlotowujemy rezystory i diody. Następnie montujemy kondensatory, przy czym kondensatory elektrolityczne kładziemy na płytkę (montujemy „na leżąco”). Teraz przyszedł czas na podstawkę pod mikroprocesor, złącza igłowe i bargrafiy. Bargrafiy wlotowujemy tak, aby diody świecące tworzyły jedną płaszczyznę z powierzchnią obudowy. Jeśli posiadamy rezonator kwarcowy w niskiej obudowie, możemy go zamontować po stronie elementów. Na kwarc w standardowej obudowie naciągamy koszulkę izolacyjną i montujemy po stronie lutowania. Mając przykręcone koło kodowe montujemy transoptor TO1 od strony lutowania w ten sposób, aby powierzchnia diody świecącej i fototranzystora „patrzyły” przez otwór w kole kodowym wprost w dwa otwory w płytce drukowanej. Teraz bardzo krótko obcinamy wyprowadzenia transoptora TO1 wystające na stronę elementów. Transoptor TO2 montujemy po stronie elementów dokładnie naprzeciwko TO1. Jako ostatnie wlotowujemy mikroprzełączniki SW1 i SW2. Teraz pozostało już tylko przylutować dwa przewody zasilające do punktów zaznaczonych na płytce drukowanej jako +5V i GND. Przewody możemy dodatkowo zabezpieczyć przed wyrwaniem za pomocą blaszki z otworami i dwóch wkrętów M3 z nakrętkami. Teraz możemy przystąpić do uruchamiania sondy.

## Uruchomienie

Uruchomienie jak zawsze rozpoczynamy od sprawdzenia poprawności montażu. Należy zwrócić baczną uwagę, czy przy lutowaniu nie powstały zwarcia między polami lutowniczymi. Jeśli sprawdzenie dało wynik pozytywny, wkładamy zaprogramowa-

ny procesor do podstawki, naciskamy oba przyciski i załączamy napięcie zasilające. Jeśli nie dysponujemy zasilaczem stabilizowanym +5V, do uruchamiania wystarczy płaska bateria 3R12 dająca 4,5V. W momencie załączenia „ekran” sondy powinien wyglądać natępująco:

```
10111110x x-dowolny stan
10111110x
```

Pierwsze diody w obu bargrafach pokazują stan przycisków i po ich puszczeniu powinny zgasnąć. Sześć środkowych LED-ów wskazuje stan na wejściach CH1 i CH2. W układzie modelowym stan wysokiej impedancji na wejściu był interpretowany przez procesor jako jedynka logiczna, stąd sześć zapalonych diod na środku obu wyświetlaczy. Może to jednak nie być regułą, ponieważ zgodnie z katalogiem wejścia AIN+ i AIN- nie mają wewnętrznych rezystorów podciągających. W każdym razie, dotknięcie igłą kanału pierwszego do plusa zasilania powinno zapalić diody w górnym bargrafie BAR1, a zetknięcie z masą musi je wygasić. Diody dolnego bargrafu BAR2 powinny tak samo reagować na eksperymenty z wejściem kanału drugiego. Ostatnia dioda w tej linii świeci, gdy zostanie oświetlony fototranzystor z transoptora TO2. Wskaźnikiem przewodzenia fototranzystora z transoptora TO1 jest ostatnia dioda w BAR1. Przy powolnym obracaniu koła kodowego zgodnie z ruchem wskazówek zegara te dwie diody powinny zapalać się w pokazanej niżej sekwencji:

```
xxxxxxxxx0 xxxxxxxxxxx1
xxxxxxxxx1 xxxxxxxxxxx0
xxxxxxxxx0
xxxxxxxxx0 xxxxxxxxxxx0
xxxxxxxxx1 xxxxxxxxxxx1
xxxxxxxxx0
```

Jeśli któraś z diod nie świeci w ogóle, należy „wycelować” odpowiadający jej fototranzystor w znajdującą się naprzeciwko diodę świecącą. Może też zdarzyć się przypadek, że dioda świeci bez przerwy. Oznacza to, że fototranzystor widzi światło „swojego” LED-a, odbite od nie dość dokładnie zmatowionej powierzchni płytki lub koła kodowego. Należy wówczas powtórnie pokryć te miejsca matową, czarną farbą. Jeśli i to nie pomoże, należy stop-



niowo zwiększać wartość rezystorów R8 i R9, do chwili uzyskania oczekiwanego efektu.

### Przygotowanie obudowy

Jeśli chcemy, aby sonda służyła nam jako przyrząd warsztatowy, warto poświęcić trochę czasu i umieścić sondę w obudowie. Wymiary płytki drukowanej przystosowano do obudowy typu TS firmy Cyfronika.

Obudowa składa się z dwóch części, nazwijmy je umownie częścią górną i dolną. Rozpoczynamy od przyłożenia do dolnej części zmontowanej płytki drukowanej sondy z przykręconym kołem kodowym. Na bocznych ściankach zaznaczamy miejsce w którym należy wyciąć obudowę, aby koło obracało się swobodnie. Następnie skracamy o około 1mm słupek dystansowy bardziej oddalony od ostrza obudowy. Dzięki temu obudowa powinna się domknąć także w przypadku, gdy pod procesor zamontowaliśmy zwykłą podstawkę.

W tylnej ściance wycinamy półokrągły otwór, przez który wprowadzimy kabel zasilający. Do wykonania wszystkich tych czynności wystarczy skalpel lub ostry

nóż. Trochę bardziej pracochłonne jest przygotowanie części górnej. Zaczynamy od wycięcia drugiej połówki otworu dla kabla zasilającego. Następnie przykładamy płytkę drukowaną i na skośnej ściance zaznaczamy miejsce, w którym należy wykonać otwór do podłączenia drugiego kanału. Otwór wykonujemy wiertłem o średnicy 3mm.

Pozostała jeszcze do wykonania najbardziej pracochłonna czynność-trasowanie i wywiercenie otworów pod przyciski i linijki diod świecących. W modelu wykonaliśmy osobne otwory pod oba przyciski i dla każdej diody świecącej. Jest to jednak bardzo niewdzięczna metoda. Wymaga dużej precyzji, a uzyskany efekt łatwo zepsuć, jeśli nie zrobimy otworu dokładnie nad diodą lub przyciskiem. Bardziej racjonalne jest wycięcie jednego otworu obejmującego przyciski i oba bargrafy. Taki otwór można następnie przykryć czerwoną folią samoprzylepną lub cienką płytką czerwonego pleksiglasu. Otwory pod przyciski łatwo teraz wykonać, gdyż widać je pod przezroczystą „płytą czołową”. Opisy przycisków i diod wykonujemy na zwykłej kartce i przyklejamy do folii (plexi) od spodu. Przykładowy wygląd płyty czołowej z opisem przycisków i wyświetlaczy przedstawiono na **rys. 3**.

Pozostaje jeszcze tylko skrócić wkrety, które są dostarczane w komplecie z obudową. Bez tego, po silnym dokręceniu, ich ostre końce mogą wystawać na zewnątrz obudowy.

### Instrukcja obsługi

Obsługa sondy jest dość prosta, a niektóre czynności zostały już wcześniej omówione. Zazwyczaj rozpoczynamy pracę od ustawienia podstawy czasu. W tym celu naciskamy oba przyciski i kręcąc kołem kodowym ustawiamy potrzebny okres próbkowania. Potem wybieramy kombinację stanów wejściowych, przy których nastąpi rozpoczęcie zapisu próbek do pamięci lub po prostu wyzwalamy zapis „z ręki”.

Cykl zapisu możemy w każdej chwili przerwać naciskając klawisz POSI. Gdy na wyświetlaczu pokaże się migający kursor, możemy rozpocząć przeglądanie za-

rejestranych przebiegów. Jeśli interesuje nas czas trwania jakiegoś impulsu lub np. odstęp dwóch zboczy, naprowadźmy kursor na początek tego zdarzenia i naciskamy klawisz POSI. Na dolnym wyświetlaczu pojawi się aktualna pozycja kursora. Jeśli to samo powtórzymy w innym miejscu, to znając odstęp próbkowania, możemy wyliczyć czas, jaki upłynął między tymi zdarzeniami.

W praktyce często zdarza się, że chcemy na bieżąco śledzić stan logiczny panujący w jakimś miejscu. Także w takim przypadku sonda może okazać się pomocna. Wystarczy przytrzymać klawisz TRIG, a pierwsze diody na obu wyświetlaczach pokażą aktualny stan na wejściach CH1 i CH2. Jeśli sonda ma pracować w taki sposób przez dłuższy czas, warto odłączyć na chwilę zasilanie, wcisnąć oba przyciski i ponownie załączyć zasilanie. Sonda wejdzie w „tryb serwisowy”, a sześć środkowych diod będzie wskazywać poziom logiczny na wejściach. Taki tryb pracy będzie trwał aż do wyłączenia zasilania.

**Tomasz Gumny, AVT**

### WYKAZ ELEMENTÓW

#### Rezystory

R1: 10kΩ/0,25W

R2..R7: 240Ω/0,25W

R8, R9: 470Ω/0,25W

#### Kondensatory

C1, C2: 10μF/16V

C3: 100nF/63V

C4, C5: 22pF

#### Półprzewodniki

U1: AT89C2051-24PC (zaprogramowany)

TO1, TO2: SFH900-x (x-dowolna grupa)

D1, D2, D3, D4, D5: 1N5817

BAR1, BAR2: HLCP-J100 lub podobny, niskoprądowy

#### Różne

Q1: 24MHz (najlepiej w niskiej obudowie HC49/4H)

Z1, Z2: kątowe

Podstawka pod układ scalony

SW1, SW2: mikroswitch do druku H=10mm

Obudowa sondy typu TS o wymiarach 180x25x15mm (Cyfronika)

Kabel zasilający dwużyłowy 0,5m z chwytakami