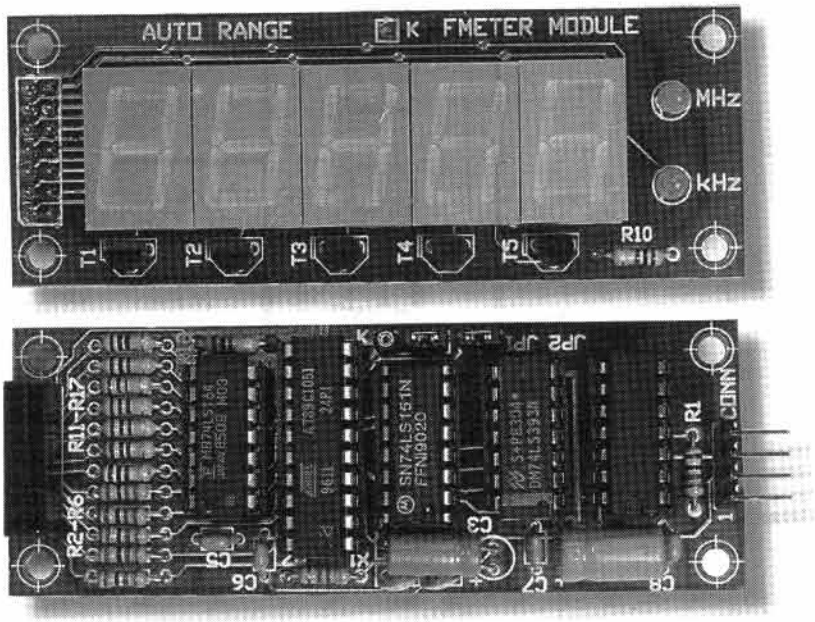
Częstościomierz panelowy

kit AVT-321



Prezentowany w niniejszym artykule uniwersalny moduł miernika częstotliwości i okresu dzięki szerokiemu zakresowi pomiarowemu, w pełni automatycznej zmianie zakresów oraz niewielkim rozmiarom z pewnością znajdzie zastosowanie jako moduł w wielu urządzeniach wymagających ciągłej kontroli częstotliwości. Po wyposażeniu go we wzmacniacz wstępny oraz preskaler umożliwia zbudowanie „kompaktowego", w pełni funkcjonalnego miernika częstotliwości i okresu.

Pośród wielu rozwiązań układów do pomiaru częstotliwości nie może zabraknąć prostego w budowie, a zarazem bardzo funkcjonalnego przyrządu, który nie wymagając żadnej obsługi ze strony użytkownika, umożliwi szybki i jednocześnie dokładny odczyt mierzonej wielkości. Prezentowane urządzenie potrafi zaspokoić nawet najbardziej wyrafinowane wymagania, bowiem jego zakres pomiarowy rozciąga się od kilku herców do 1GHz.

Uzyskanie wymienionych parametrów miernika okazało się możliwe dzięki zastosowaniu nowoczesnej metody pomiaru przebiegu wejściowego z wykorzystaniem mikroprocesora, co także wpłynęło znacząco na komfort obsługi i wymiary przyrządu kwalifikujące go jako wskaźnik panelowy.

Dane techniczne miernika

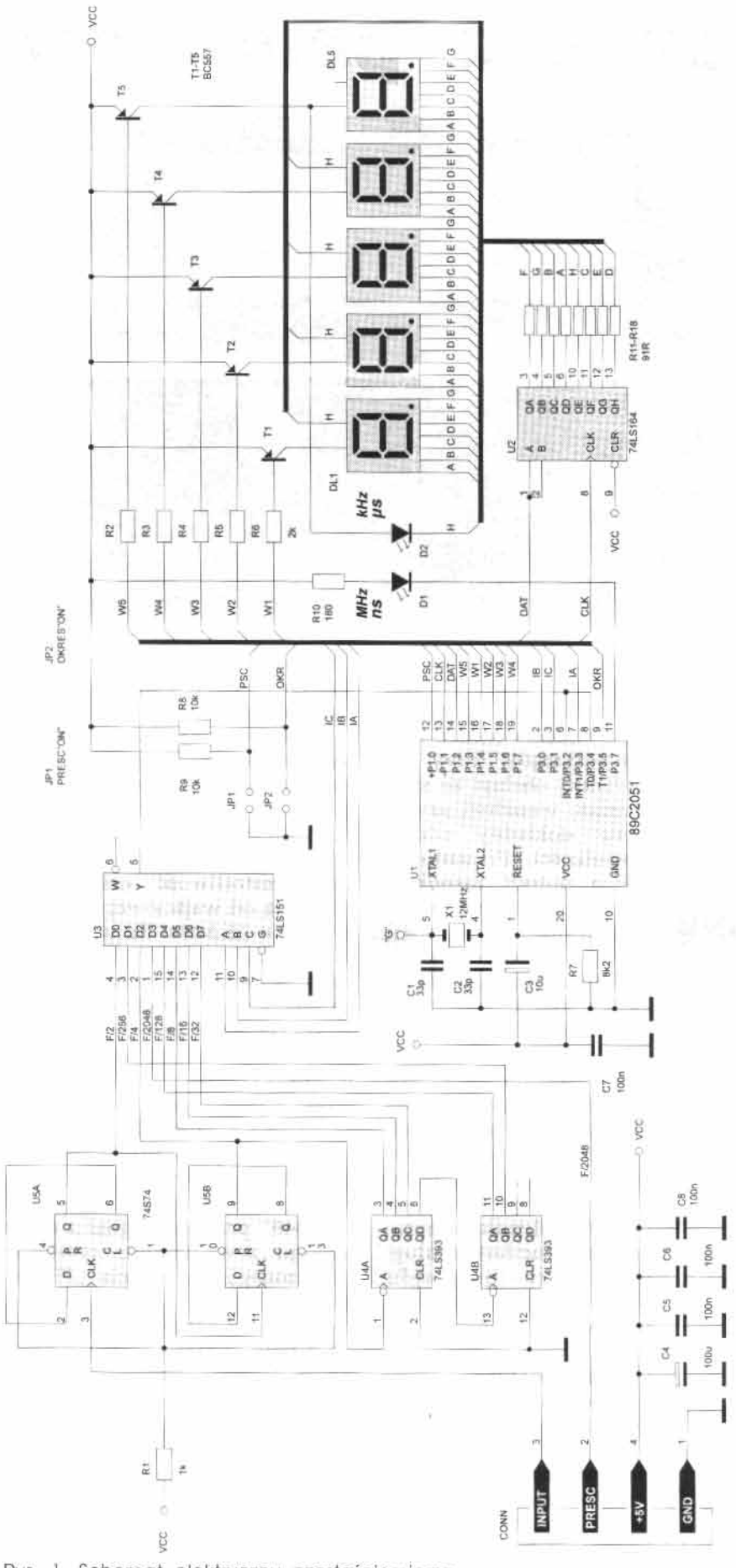
- ✓ zakres mierzonych częstotliwości: 2 Hz...1 GHz,
- ✓ odczyt wartości mierzonej: 5 cyfr (99999),
- ✓ błąd pomiaru: 10^{-6} wartości mierzonej, wzorzec kwarcowy,
- ✓ błąd wskazań: poza polem odczytowym,
- ✓ czas pomiaru: ok. 0,5 sek. dla $f_{we} < 6,5$ MHz na każdym zakresie, powyżej: 0,1 sek,
- ✓ zmiana zakresów: automatyczna w zakresie do 100 MHz,
- ✓ zakresy pomiarowe (symbol "dw" oznacza dokładność wskazań):
  - 1000 Hz (999.99 Hz), dw = 0,01 Hz,
  - 10 kHz (9.9999 kHz), dw = 0,1 Hz,
  - 100 kHz (99.999 kHz), dw = 1 Hz,
  - 1000 kHz (999.99 kHz), dw = 10 Hz,
  - 10 MHz (9.9999 MHz), dw = 100 Hz,
  - 100 MHz (99.999 MHz), dw = 1 kHz,
  - 1000 MHz (999.99 MHz), dw = 10 kHz (z dodatkowym preskalerem),
- ✓ pełna synchronizacja sygnału mierzonego z czasem bramkowania do częstotliwości 6,5 MHz, co umożliwia pomiar z dużą dokładnością na niskim zakresie przy krótkim czasie bramkowania (dw = 0,01 Hz na zakresie 1 kHz i t_{bramki} = 0,5 sek.),
- ✓ wygaszanie zer nieznaczących do trzech (dotyczy zakresu 999.99 Hz),
- ✓ dwa wejścia sygnału mierzonego:
  - 1 - zakres do 100 MHz,
  - 2 - zakres 100 MHz...1 GHz,
- ✓ automatyczna sygnalizacja miana wyniku ("Hz", "kHz", "MHz"; "ns", "µs", "ms"),
- ✓ możliwość odczytu częstotliwości lub okresu mierzonego przebiegu,
- ✓ maksymalna dokładność odczytu okresu: 1 ns,
- ✓ poziom sygnału wejściowego modułu AVT321: TTL, a z dodatkowym modułem AVT-321P: 100mV (fwe<100MHz); 10mV (fwe>100MHz),
- ✓ zasilanie 5V/160mA (8...12V z AVT-321P),
- ✓ wymiary (szer. x wys. x głębok.): 90 x 33 x 27 mm, z modułem AVT-321 głębokość wzrasta do 40 mm.

Opis układu

Schemat ideowy częstościomierza przedstawiono na **rys.1**. Sygnał wejściowy podawany jest na wejście „INPUT" złącza CONN, z którego trafia na przerzutnik U5a, który pracuje jako dzielnik przez 2. Podzielony sygnał zostaje powtórnie dzielony przez 2 w układzie U5b.

Jako wstępny dzielnik U5 zastosowano układ serii „S" - szybkiej, co było konieczne aby zakres mierzonej częstotliwości rozszerzyć do 100 MHz. W efekcie na wyjściu Q układu U5b otrzymujemy częstotliwość czterokrotnie mniejszą od wejściowej czyli maksymalnie 25 MHz. Ta wartość jest akceptowalna dla kolejnego dzielnika, w postaci układu U4, który dzieli sygnał wejściowy przez 2..32. Na wyjściach liczników U4 otrzymujemy częstotliwości: fwe / 8, /16, /32, /64, /128, /256, które wraz z przebiegami podzielnymi przez 2 i 4, powstałych na wyjściach Q przerzutników U5a i b trafiają na wejścia multipleksera U3. Wejście oznaczone jako „F/2048" przenosi sygnał z dodatkowego zewnętrznego preskalera dołączonego do wejścia „PRESC" złącza CONN, który umożliwia rozszerzenie zakresu pomiarowego do 1 GHz, a który zostanie opisany w drugiej części artykułu.

W zależności od poziomów na wejściach sterujących multiplekserem A,B,C (U3) na jego wyjściu Y (pin 5) otrzymujemy odpowiednią częstotliwość jednego z ośmiu wejść D0..D7 układu U3. W tym rozwiązaniu nie wykorzystano możliwości blokowania sygnału



Rys. 1. Schemat elektryczny częstościomierza.

na wyjściu multipleksera, dlatego wejście G układu U3 jest zwarte do masy.

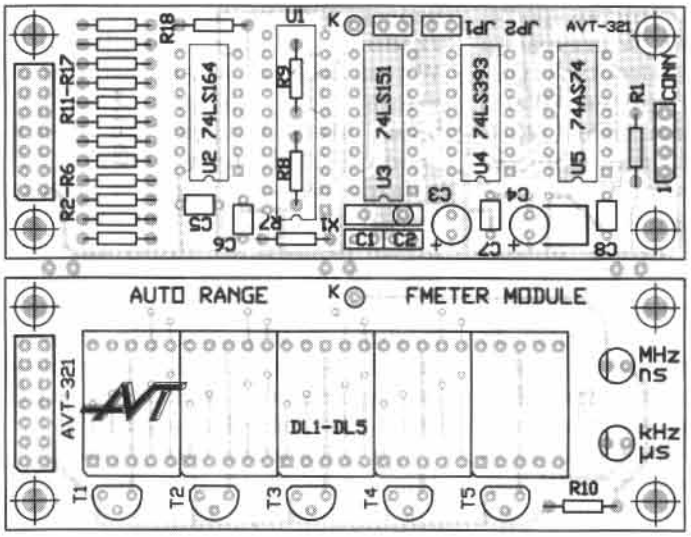
Dalsza droga sygnału jest krótka, kończy się bowiem na wejściach 6 i 8 układu U1. Użyty w rozwiązaniu mikroprocesor - odmiana popularnego '51 posiada 2kB pamięci wewnętrznej, do której został wpisany program kontrolujący pracę całego urządzenia, a więc przełączanie dzielników częstotliwości wejściowej, wybór odpowiedniego zakresu pomiarowego, wykonanie pomiaru, niezbędne obliczenia i wreszcie wyświetlenie mierzonej częstotliwości lub przeliczenie jej na okres.

Sygnał z układu U3 został nieprzypadkowo doprowadzony do dwóch wejść mikroprocesora U1 a mianowicie do wejścia 6 (INT0) i 8 (T0). Pierwsze z nich jest wejściem z detekcją zbocza opadającego sygnału, co wykorzystano przy pomiarze metodą synchronizacji częstotliwości wejściowej z sygnałem bramkowania, drugie jest wejściem wewnętrznego licznika (T0) mikroprocesora, który zlicza impulsy w zadanym czasie bramkowania (0,1 sek.), przy pomiarze w trybie nie wymagającym wspomnianej synchronizacji. Opisany wcześniej układ dzielników częstotliwości wejściowej został zaprojektowany ze względu na maksymalną wartość częstotliwości zliczania licznika T0, która wynosi $f_{max} = f_{xtal}/24$, gdzie fxtal to częstotliwość rezonatora (generatora) kwarcowego X1, w naszym przypadku dla f_{xtal} = 12 MHz, f_{max} = 500 kHz.

Elementy X1, C1 i C2 stanowią zewnętrzny obwód generatora umożliwiającego pracę mikroprocesora oraz są jednocześnie źródłem częstotliwości wzorcowej (wewnątrz układu U1) niezbędnej do pomiaru i określenia przebiegu mierzonego.

Ponieważ stabilność takiego układu nie jest zbyt wysoka, wynosi bowiem 10 ppm, przewidziano możliwość dołączenia zewnętrznego generatora kwarcowego do punktu „G". W takim przypadku elementy X1, C1 i C2 są zbędne i nie należy ich montować.

Układ złożony z elementów C3 i R7 umożliwia poprawny start mikroprocesora po włączeniu napięcia zasilającego.



Rys. 2. Rozmieszczenie elementów na płytkach drukowanych.

Wyświetlanie wyniku odbywa się metodą multipleksowania. Pozwala to oszczędzić sporo miejsca na płytce drukowanej, a przy dobrej jakości wyświetlaczy 7-segmentowych jakość wskazań jest bardzo dobra. Procesor dba o to, aby wynik był wyświetlany zawsze z maksymalną dokładnością - zawsze wykorzystane są wszystkie pozycje wyświetlacza.

W każdej chwili zapalona jest tylko jedna cyfra wyniku, jedna przy częstotliwości przemiatania wyświetlaczy równej 500 Hz, odczyt jest stabilny i pozbawiony efektu migotania, nawet przy gwałtownym ruchu urządzeniem. Wyprowadzenia katod poszczególnych segmentów każdego z wyświetlaczy DL1..5 zostały połączone ze sobą i dołączone do wyjść 8-bitowego rejestru w postaci taniego układu U2 - 74LS164. Układ ten rzadko stosowany w technice cyfrowej do sterowania wyświetlaczy, znakomicie spisuje się we współpracy z mikroprocesorem, bowiem do wpisu danej do rejestru U2 potrzebne są tylko dwie linie sterujące. Funkcja zerowania rejestru U2 nie jest konieczna przy współpracy z układem U1, dlatego jej wejście CLR zostało dołączone do szyny napięcia zasilającego.

Rezystory R11..R18 ograniczają prąd płynący przez segmenty wyświetlaczy do wartości bezpiecznej dla rejestru U2, tak że nie nagrzewa się on nadmiernie nawet podczas długotrwałej pracy. Anody poszczególnych wyświetlaczy są załączane naprzemiennie poprzez tranzystory T1..T5. Nie jest przy tym wymagana polaryzacja baz tych tranzystorów dodatkowym rezystorami, bowiem wyjścia W1..W5 układu U1 mają wystarczającą wydajność prądową w stanie wysokim, co umożliwia zatkanie w jednej chwili odpowiednich tranzystorów a otwarcie tylko jednego w celu wyświetlenia kolejnej cyfry wyniku.

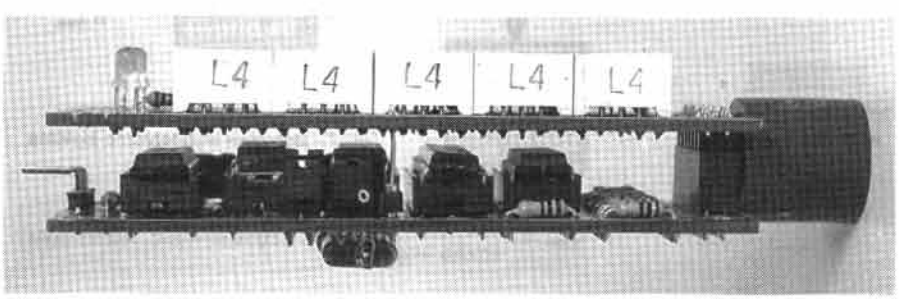
Mikroprocesor przed wyświetleniem kolejnej pozycji na odpowiednim wyświetlaczu najpierw wygasza poprzednio zapalony, następnie poprzez linie CLK i DAT w postaci szeregowej przesyła 8 bitów z w kolejności zgodnej z połączeniem odpowiednich katod segmentów z wyjściami rejestru U2 (w tym czasie wszystkie wyświetlacze są wygaszone), po czym zapala następny wyświetlacz.

Do wyświetlania miana wyniku użyto dwóch diod świecących LED D1 i D2. Pierwsza jest zapalana na zakresach „MHz" („ns"), a uaktywnia ją stan niski na wyjściu 11 układu U1, druga dioda D2 „kHz" („µs") ze względu na brak wolnych wyprowadzeń procesora została dołączona pomiędzy anodę DL5 a katody segmentów H - kropek wyświetlaczy. Wykorzystano tu fakt, że ostatnia kropka na DL5 nie jest wykorzystana podczas prezentacji wyniku pomiaru i „zastępuje" ją właśnie dioda D2. Brak świecenia obu diod sygnalizuje miano „Hz" lub „ms" przy odczycie okresu.

Ostatnim elementem modułu są dwie zwory w postaci jumperów JP1 i JP2. Pierwsza służy do wyboru wejścia częstotliwości mierzonej pomiędzy „INPUT" (do 100 MHz - jumper otwarty) a wejściem preskalera PRESC (100 MHz..1 GHz - jumper zwarty).

Jak się potem okaże wejście to można wykorzystać do dołączenia zewnętrznego przełącznika pomiędzy dwoma zakresami pomiarowymi panelu, przy budowie w pełni funkcjonalnego częstościomierza. Drugi jumper spełnia funkcję przełącznika wyświetlania wyniku w postaci: częstotliwości - jumper rozwarty, lub okresu mierzonego przebiegu - jumper zwarty. Dodatkowo po chwilowym zwarciu JP2 wyświetlacz wskazuje okres sygnału wejściowego przez 5 sekund, po czym powraca do trybu wyświetlania częstotliwości. Oczywiście permanentne zwarcie JP2 umożliwi ciągłą kontrolę okresu sygnału wejściowego. Dla pomysłowych jest to sygnał, że najprościej jest podłączyć monostabilny włącznik do JP2 aby uzyskać wygodną zmianę wskazywanej wielkości.

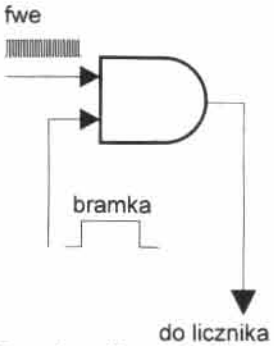
Dodatkowe kondensatory C4 oraz C5..C8 blokują linie zasilające w pobliżu układów scalonych, co zapobiega wzbudzaniu się układu przy pomiarze najwyższych częstotliwości.



Montaż i uruchomienie

Układ zmontowany został na dwóch bliźniaczych wymiarami płytkach drukowanych. Rozmieszczenie elementów przedstawia **rys.2**.

Montaż należy rozpocząć od rozłamania obu płytek i wyrównania ich krawędzi drobnym pilni-

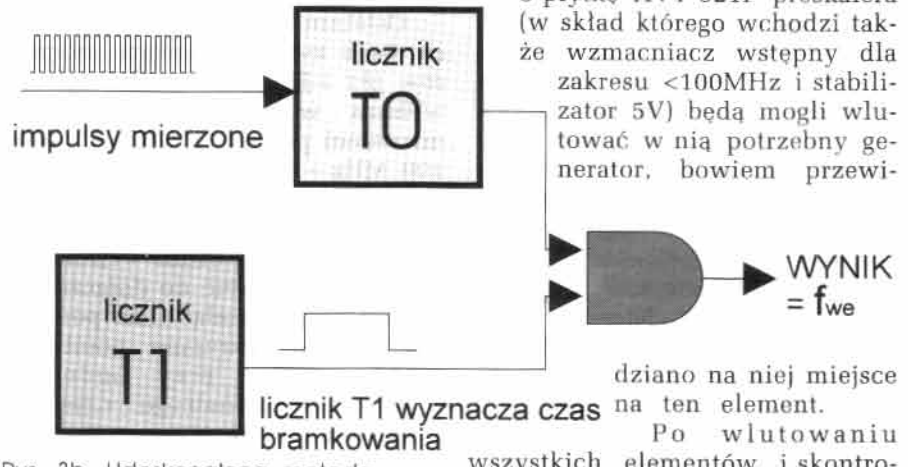


Rys. 3a. Klasyczna metoda pomiaru.

kiem. Następnie montujemy płytkę wyświetlacza. Najpierw należy zamontować rezystor R10, potem wyświetlacze DL1..DL5, a następnie diody LED D1 i D2 oraz tranzystory T1..T5. Te ostatnie przed przylutowaniem należy wcisnąć w płytkę na taką wysokość, aby nie wystawały ponad linię czoła wyświetlaczy. Umożliwi to potem wygodne zamontowanie panelu w obudowie.

Odkładamy na chwilę płytkę wyświetlaczy i rozpoczynamy montaż płytki bazowej od wlutowania rezystorów i podstawek pod układy scalone. Uwaga: rezystory R8 i R9 należy zamontować przed wlutowaniem podstawki pod U1. Następnie montujemy kondensatory, przed wlutowaniem C3 i C4 (elektrolityczne) należy ich wyprowadzenia zgiąć pod kątem prostym tak, aby potem elementy te leżały na płytce drukowanej. Teraz należy podjąć decyzję co do wykorzystania wzorca częstotliwości w postaci rezonatora kwarcowego X1 bądź opcjonalnego generatora kwarcowego 12 MHz. W tym pierwszym przypadku należy wlutować dostarczane w zestawie AVT-321 kondensatory C1 i C2 oraz rezonator X1 - 12 MHz. Uwaga - ten ostatni montujemy od strony spodniej płytki, postępując podobnie jak w przypadku kondensatorów elektrolitycznych, tak aby leżał na płytce. Warto przy tym kawałkiem taśmy izolacyjnej odizolować jego obudowę przez przypadkowym zwarciem wyprowadzeń układów scalonych.

W drugim nie należy montować w/w elementów, a wyprowadzenie oznaczone na płytce drukowanej jako „G" wykorzystać do dołączenia zewnętrznego generatora. Czytelnicy, którzy zdecydują się na uzupełnienie modułu o płytkę AVT-321P preskalera (w skład którego wchodzi także wzmacniacz wstępny dla zakresu <100MHz i stabilizator 5V) będą mogli wlutować w nią potrzebny generator, bowiem przewidziano na niej miejsce na ten element.

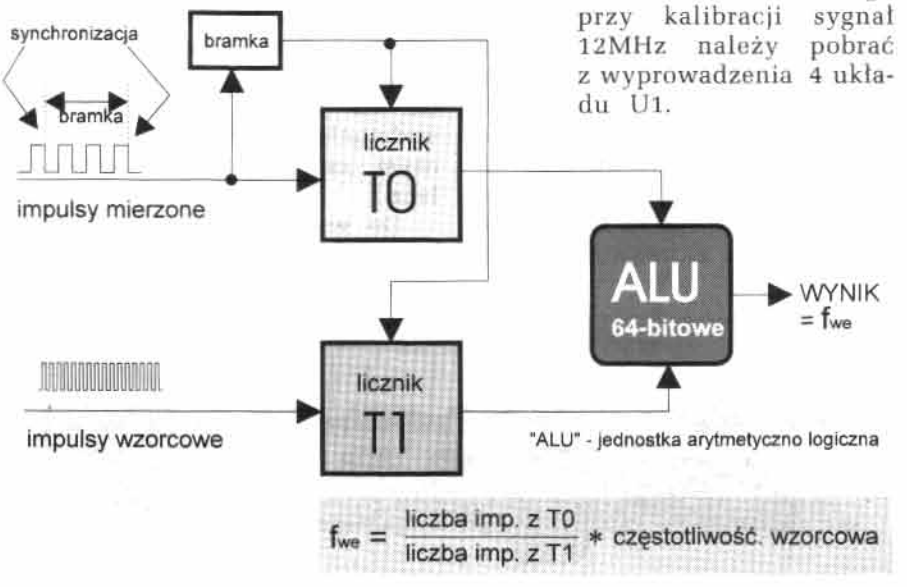


Rys. 3b. Udoskonalona metoda pomiaru częstotliwości.

Po wlutowaniu wszystkich elementów i skontrolowaniu poprawności montażu obie płytki należy skręcić w przysłowiową „kanapkę" jak pokazano na zdjęciu, używając do tego celu czterech śrub M3 oraz tulejek dystansowych o długości 10..12 mm. Następnie za pomocą odcinków srebrzanki (np. tej pozostałej po montażu rezystorów) należy połączyć obie płytki w miejscu oznaczonym na płytce jako dwurzędowe złącze (14-pinowe). W tym miejscu warto zastosować złącze typu „goldpin" (2x7 pinów), które lutujemy od strony spodniej płytki wyświetlaczy, oraz gniazdo do w/w złącza w postaci kostki 2x7, którą lutujemy na płytce bazowej od strony elementów. W ten sposób będzie możliwe łatwe i szybkie rozmontowanie modułu, w wypadku gdy zajdzie taka konieczność. Nie należy także zapomnieć o połączeniu punktów „K" na obu płytkach.

Po połączeniu obu płytek możemy przystąpić do uruchomienia. Potrzebny będzie zasilacz 5VDC ±5% o wydajności 200 mA oraz generator sygnału TTL najlepiej o jak najszerszym zakresie (np. do 100 MHz). Do złącza CONN należy dołączyć zasilanie. Jumpery JP1 i JP2 powinny być otwarte. Na wyświetlaczu pokaże się wynik w postaci „0.00" co oznacza brak sygnału wejściowego. Po dołączeniu generatora do wejścia „INPUT" układ wyświetli aktualną mierzoną częstotliwość. Należy skontrolować poprawność funkcji „OKRES" zwierając na chwilę JP2.

W przypadku wykorzystania jako wzorca rezonatora X1 może okazać się konieczna kalibracja jego częstotliwości, poprzez wymianę ewentualnie dolutowanie kondensatora o niewielkiej pojemności rzędu pF do wyprowadzeń C1 lub C2 od strony spodniej płytki. Korzystając z drugiego miernika wzorcowego przy kalibracji sygnał 12MHz należy pobrać z wyprowadzenia 4 układu U1.



Rys. 3c. Sposób pomiaru częstotliwości w mierniku.

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory
R1: 1kΩ
R2..R6: 2kΩ
R7: 8,2kΩ
R8, R9: 4,7..11kΩ
R10: 180Ω
R11...R18: 91Ω

Kondensatory
C1, C2: 30...33pF
C3: 10µF/10V
C4: 100µF/10V
C5...C8: 100nF

Półprzewodniki
U1: AT89C2051 zaprogramowany
U2: 74LS164
U3: 74LS151
U4: 74LS393
U5: 74AS74 lub 74S74
DL1...DL5: wspólna anoda o podwyższonej jasności np. SA56 lub 52-11EWA,GWA,YWA Kingbright
D1, D2: LED dowolne (np. ϕ=3mm)
T1...T5 - BC557...9

Różne
X1: rezonator kwarcowy 12 MHz
podstawki pod układy scalone

Sposoby pomiaru

Zainteresowanym Czytelnikom przedstawimy teraz sposoby pomiaru częstotliwości wykorzystywane przez nasz układ a właściwie znajdujący się w nim mikroprocesor.

Jak wszystkim wiadomo, klasyczne układy mierników częstotliwości bazują najczęściej na układzie przedstawionym na **rys.3**a. Sygnał częstotliwości mierzonej podawany jest na jedno wejście bramki logicznej, natomiast na drugie wejście podawany jest sygnał tzw. "bramkowania". W efekcie na wyjściu otrzymujemy ciąg impulsów, które zliczane są następnie w liczniku, a wynik wskazywany jest na wyświetlaczu.

Poważną wadą takiego rozwiązania jest zależność dokładności pomiaru i wskazań od czasu bramkowania. Im dłuższy czas bramkowania tym dokładniejszy wynik. I tak np. przy czasie bramkowania 0,1 s możemy mierzyć przebiegi o częstotliwościach powyżej 10Hz (teoretycznie), w praktyce uzyskujemy dokładność 10 Hz ±1 cyfra.

Jeżeli chcemy mierzyć z dokładnością do np. 0,1 Hz czas bramkowania wzrasta do olbrzymiej wartości 10 sekund!

W naszym urządzeniu zastosowano dwie metody pomiaru. Zacznę od prezentacji drugiej, mniej ciekawej, bowiem zbliżonej do zasady bramkowania sygnału wejściowego.

Na rys.3b widać podobieństwo z klasyczną metodą pomiaru. Przyjęto stały czas bramkowania równy 0,1 sek, co przy pomiarze częstotliwości powyżej wspomnianych wcześniej 6,5 MHz daje wynik z dokładnością 10Hz, co przy wyświetlaniu na polu 5-cyfrowym zupełnie eliminuje błąd wskazań.

Gdy częstotliwość sygnału spadnie poniżej 6,5 MHz uaktywnia się pierwsza metoda pomiaru, zrozumienie której pomoże rys.3c. W tym przypadku sygnał bramkowania rozpoczyna się i kończy synchronicznie z opadającym zboczem sygnału mierzonego. W trakcie czasu bramkowania, który nie jest stały i wynosi minimum 0,5 sek. zliczane są impulsy (zbocza) częstotliwości wejściowej, oraz jednocześnie zliczane są przez drugi wewnętrzny licznik procesora T1 impulsy wzorcowe, których częstotliwość w naszym przypadku wynosi 1 MHz. Po zakończeniu bramkowania zmierzona częstotliwość wyraża się prostym wzorem: $f_{we} = L_{we}/L_{wz}*1.000.000$, gdzie: L_{we} - liczba impulsów wejściowych, L_{wz} - liczba impulsów wzorcowych, liczba 1.000.000 pojawiła się we wzorze z przyczyn oczywistych, jest to częstotliwość sygnału wzorcowego (impulsówL_{wz}).

Na uwagę zasługuje fakt zmiennego czasu bramkowania, zsynchronizowanego z sygnałem wejściowym. Procesor po rozpoczęciu kolejnej procedury pomiaru czeka na pojawienie się zbocza na wejściu INT0 układu U1, po czym rozpoczyna zliczanie impulsów wzorcowych oraz w ciągu 0,5 sek. zlicza równocześnie następne zbocza na wejściu INT0. Kiedy minie czas 0,5 sek. następne nadchodzące zbocze zatrzymuje licznik impulsów wzorcowych, następnie obliczany jest wynik. Zwróćmy uwagę że w przypadku kiedy f_{we} będzie równa 2 Hz licznik INT0 zliczy tylko jeden impuls (zbocze-zbocze), w tym jednak czasie zliczone zostanie 500.000 impulsów wzorcowych, co w efekcie po przeliczeniu zgodnie ze wzorem da wynik 2 Hz z dokładnością 0,00001 Hz! Ta prosta zasada pozwala na bardzo dokładne pomiary niskich częstotliwości z dużą dokładnością przy krótkich czasach bramkowania. Nasz moduł wyświetla wynik z maksymalną dokładnością 0,01 Hz, co w większości zastosowań w zupełności wystarcza.

Sławomir Surowiński, AVT