

# Częstościomierz cyfrowy

## - remake kitu AVT-3003



### Do czego to służy?

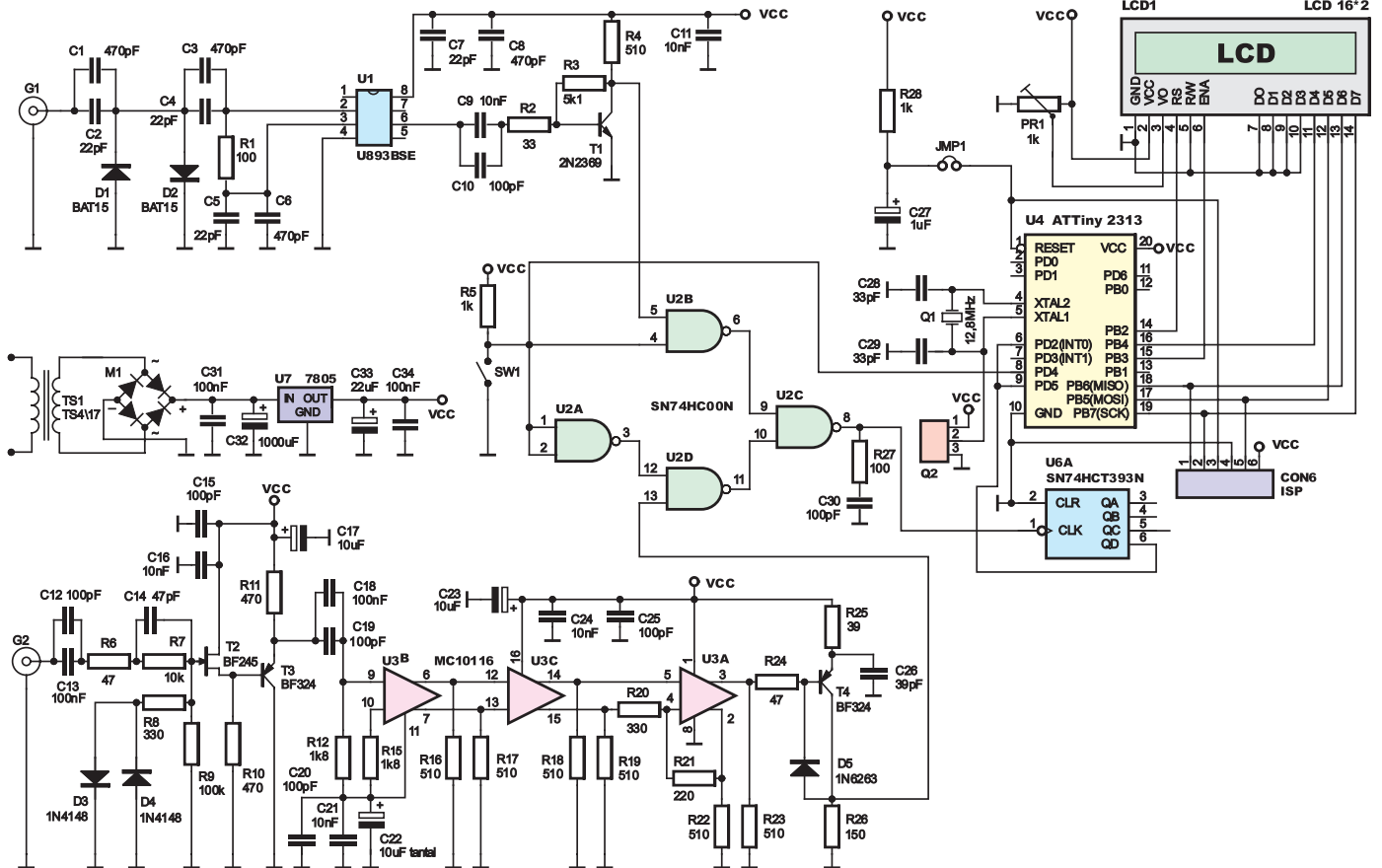
Jednym z przyrządów najbardziej przydatnych dla każdego zajmującego się techniką w.c.z. jest częstościomierz cyfrowy. Kilkanaście lat temu wykonałem swój pierwszy częstościomierz na układach CMOS (16 układów scalonych), który dobrze sprawuje się do tej chwili. Jednak uznałem, że pora już wymienić swego „staruszka” na układ na procesorze. Przeglądając różne rozwiązania zarówno w czasopiśmie, jak i Internecie, stwierdziłem, że żadna z prezentowanych konstrukcji do końca nie odpowiada moim oczekiwaniom lub też cena żądana za zaprogramowany procesor albo zestaw do samodzielnego montażu jest zbyt wysoka w stosunku do możliwości. Moją szczególną uwagę zwrócił kit AVT-3003, opracowany przez niezjącego już pana Zbigniewa Raabe. Wielką zaletą opisanego układu był napisany i udostępniony program w języku BASCOM. W konstrukcji kitu AVT-3003 dostrzegłem pewne niedogodności, główne z nich to: zbyt mały zakres pomiarowy (wynoszący „tylko” 100MHz) oraz mała rozdzielczość pomiaru (problem dotyczy głównie zakresu 100MHz, gdzie zastosowana rozdzielczość jest zbyt mała np. do ustawienia BFO lub doboru rezonatorów do filtra kwarcowego). Usunięcie pierwszej z wymienionych wad przez zastosowanie zewnętrznego preskalera nie jest możliwe bez zmiany

oprogramowania, układ zawsze się będzie włączał na górny zakres pomiarowy. Zdecydowana większość produkowanych preskalerów generuje sygnał wyjściowy nawet bez doprowadzenia sygnału na jego wejście (tzw. preskalery samooscyłujące). Zjawisko drgań samorzutnych preskalera powoduje „oszukanie” układu automatyki zmiany zakresów częstościomierza. Dodatkowo w obecnym rozwiązaniu zastosowałem znacznie poprawiony wzmacniacz wejściowy dla zakresu 100MHz. Podsumowując, proponowany układ jest w zasadzie udoskonalonym kitem AVT-3003 z poprawionym oprogramowaniem. Układ ten z uproszczonym torem 100MHz i nieco inną kombinacją dzielników był publikowany w czasopiśmie „Świat Radio” (wykorzystał on oryginalną płytkę kitu AVT-3003). Obecna płytkę uwzględnia w pełni wymogi techniki w.c.z.

### Jak to działa?

Schemat układu pokazano na rysunku 1. Jedną z najważniejszych zmian w stosunku do kitu AVT-3003 było poprawienie wzmacniacza wejściowego dla zakresu 100MHz. Układ ten bardzo często jest przez konstruktorów traktowany po macoszemu, mimo że decyduje o parametrach częstościomierza. Opisany układ jest bardzo podobny do wzmacniacza wejściowego częstościomierza opracowanego

kilkanaście lat temu przez AVT. Na wejściu wzmacniacza znajduje się wtórnik z tranzystorem polowym i bipolarnym, zapewniający dużą impedancję wejściową dla napięć mniejszych niż 0,6V. Dla napięć większych niż 0,6V o oporności wejściowej decyduje rezystor 330Ω połączony z diodami 1N4148. Diody te zabezpieczają wzmacniacz przed uszkodzeniem przez zbyt duży sygnał wejściowy. Kondensatory na wejściu wzmacniacza odcinają składową stałą. Właściwy wzmacniacz zbudowany jest na układzie scalonym MC10116 będącym potrójnym odbiornikiem linii ECL. Dwa pierwsze odbiorniki pracują jako wzmacniacze liniowe. Trzeci odbiornik linii pracuje jako przerzutnik Schmitta. Tranzystor BF324 dopasowuje poziomy logiczne ECL do standardu TTL. Dioda 1N6263 (Schottky’ego, szybka, o małej pojemności złącza) zapobiega nasyceniu tranzystora, a tym samym zwiększa szybkość przełączania. Pasma tak wykonanego wzmacniacza przekracza 100MHz. Wielką zaletą opisywanego układu jest możliwość zasilania wzmacniacza tylko napięciem 5V. Pomiar powyżej 100MHz umożliwia preskaler na układzie U664 (dzielnik przez 64 w standardzie ECL do 1,3GHz). Osiągnięcie maksymalnej częstotliwości pomiaru równej 2GHz jest możliwe po zastosowaniu układu U893 (oba układy pracują wymiennie na tej płytce drukowanej).

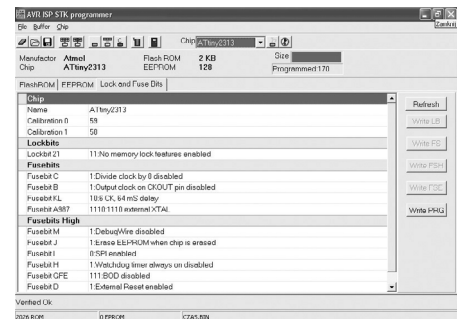


Preskaler jest zabezpieczony przed uszkodzeniem diodą BAT15-099 (dwie diody mikrofalowe w jednej obudowie o małej pojemności złącza), w układzie można również użyć znacznie łatwiej dostępnych diod BAT17. Stosowanie równoległe połączonych pojemności 470 i 22pF na wejściu preskalera zapewnia lepszą równomierność charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej. Rezystor 100Ω dopasowuje impedancję wejściową preskalera do impedancji zastosowanego kabla i złącza. Transzystor 2N2369 wzmacnia poziomy ECL do standardu TTL. Sygnał wejściowy do preskalera U664 (U893BSE) trzeba doprowadzić dobrej jakości kablem 50-omowym, ma to duży wpływ na czułość układu. Wybór toru pomiarowego wykonywany jest za pomocą multiplexera na układzie 74F00. Wyboru dokonuje się za pomocą przełącznika. Informacje o wybranym torze pomiarowym otrzymuje również procesor i wyświetla ją na wyświetlaczu alfanumerycznym. Sygnał z multiplexera dzielony jest przez 16 przez jeden z liczników układu 74F393, drugi licznik pozostaje niewykorzystany. Bez tego dzielnika maksymalna częstotliwość pracy układu wynosiłaby tylko 6,4MHz na zakresie 100MHz, a 409,6MHz na górnym zakresie pomiarowym (przy zastosowaniu generatora 12,8MHz i po odpowiednich zmianach w programie uwzględniających brak dzielnika przez 16). Sercem częstotliciemierza jest procesor ATtiny2313, który zastąpił nieproduk-

wany już procesor AT90S2313. Przejście na ten procesor sprawiło autorowi szereg problemów. Program po skompilowaniu Bascomem w wersji 11.8.3 nie działał, mimo braku jakichkolwiek informacji o błędach. Dopiero skompilowanie programu starszą wersją Bascoma 11.8.1 rozwiązało ten problem. W nowej wersji kompilatora występuje błąd. Bardzo ważną sprawą jest prawidłowe ustawienie fusebitów na procesorze. Prawidłowe ustawienia pokazano na rysunku 2. Funkcją generatora wzorcowego pełni generator termokompensowany 12,8MHz (TCXO). Zastosowanie zwykłego kwarcu nieumieszczonego w termostacie nie ma sensu. Nie wykorzystuje się w pełni możliwości układu. Dokładność pomiaru jest ograniczona przez stabilność zastosowanego wzorca. Liczba cyfr znaczących (tzn. podających rzeczywisty wynik pomiaru) nie powinna być większa niż wykładnik potęgi mówiącej o stabilności wzorca, np. dla wzorca o stabilności  $10^{-6}$  wynik pomiaru nie powinien być podawany z dokładnością większą niż 6 cyfr. Dalsze cyfry są przypadkowe i zależą głównie od temperatury rezonatora kwarcowego. Często stabilność wzorca podaje się również w ppm (częściach na milion, 1 ppm równa się  $10^{-6}$ ). W przypadku trudności z nabyciem generatora termokompensowanego można zastosować stosunkowo łatwo dostępny kwarc 15,36MHz, wymaga to jednak zaprogramowania procesora odpowiednią wersją programu. Pewną wadą układu jest

Rys. 1 Schemat ideowy częstotliciemierza

Rys. 2 Ustawienia fusebitów



fakt, że procesor potrzebuje trochę czasu na obsługę programu i zawiąza nieco częstotliwość pomiaru (doskonale to zjawisko widać przy mierzeniu częstotliwości wzorca, odczyt wynosi 12,80004, zamiast 12,80000). Ponieważ odchyłka jest stała i niewielka, bardzo łatwo ją skompensować, odpowiednio ustawiając trymer TCXO. Innym problemem, jaki napotkałem podczas uruchamiania układu, był fakt, że układ nie chciał pracować z zewnętrznym TCXO przy skonfigurowaniu fusebitów, tak by układ przyjmował sygnały z oscylatora zewnętrznego. Częstotliciemierz działał jednak prawidłowo po podaniu sygnałów ze standardowego zewnętrznego generatora kwarcowego TTL lub wstawienia w podstawkę procesora AT90S2313. Wyjaśnienie tego

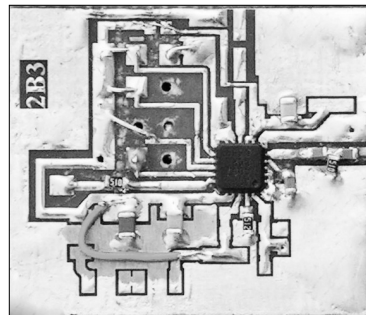
zjawiska okazało się proste: sygnał wyjściowy TCXO ma amplitudę kilkuset miliwoltów, wystarczyło skonfigurować oscylator wewnętrzny procesora ATTiny2313 jako oscylator kwarcowy. Wymusiło to pracę układu oscylatora jako wzmacniacza liniowego ponieważ nie stosowano elementów sprzężenia zwrotnego (kwarcu). Mimo że na pierwszy rzut oka układ zewnętrznego zerowania procesora jest zbędny (sam układ scalony ma go w swojej strukturze), w praktyce jednak wyszła wada fabrycznego układu zerującego, polegająca na bardzo częstym zerowaniu procesora przy podłączeniu zewnętrznej masy (czego nie da się uniknąć w częstotliwościomierzu).

Inna bardzo ważna zmiana w stosunku do kitu AVT-3003 polega na zmianie sposobu wyświetlania wyniku, podane to zostanie na przykładzie: częstotliwość 16MHz wcześniej wyświetlana była jako 16 000 teraz wyświetlana jest jako 16 000 00 (rozdzielczość na zakresie 100MHz wynosi obecnie około 20Hz, a nie jak wcześniej 1kHz i jest całkowicie wystarczająca dla potrzeb amatorskich, oraz od-

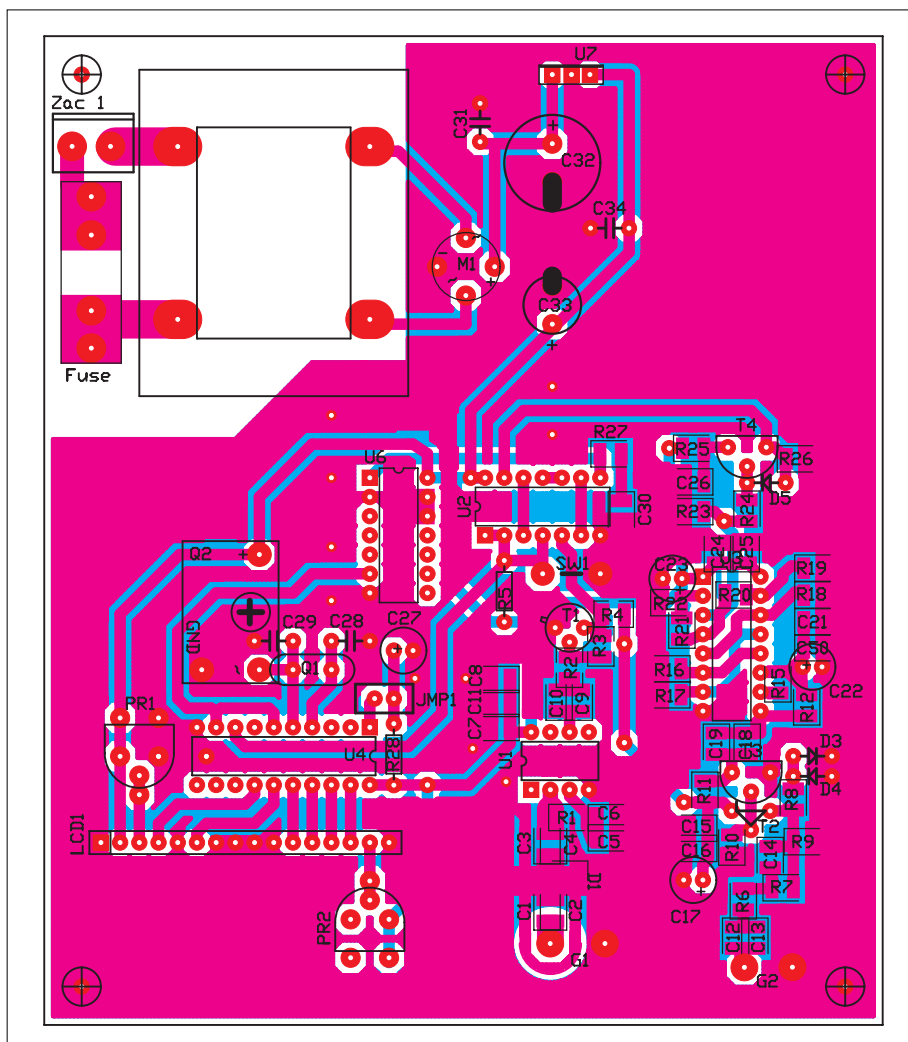
powiada klasie zastosowanego wzorca częstotliwości). Częstotliwość na zakresie 1,3 (2,0) GHz (np. 1,2GHz) będzie wyświetlana jako 1200 000 (nie są rozdzielane na tym zakresie jednostki GHz, wynika zarówno z sposobu wyrażania częstotliwości, często mówimy 1200MHz, jak i braku wolnej pamięci w procesorze). Rozdzielczość pomiaru na zakresie 1,3GHz (2,0GHz) wynosi 1kHz i jest całkowicie wystarczająca. Zastosowany sposób prezentacji wyniku pomiaru jest znacznie bardziej czytelny od przyjętego w kicie AVT-3003 (zwalnia z liczenia cyfr wyświetlanych, aby odczytać wynik pomiaru). Konse-

kwencją przyjętego rozwiązania jest brak funkcji licznika impulsów (i tak zresztą w zdecydowanej większości przypadków niepotrzebnej, uzyskane cenne bajty pamięci zostały wykorzystane do poprawy sposobu wyświetlania wyników pomiarów). Pewną wadą zastosowanego sposobu wyświetlania wyników jest widoczne przez krótki ułamek sekundy przesuwanie cyfr. Był to jednak jedyny sposób osiągnięcia poprawy czytelności wyników (brak wolnej pamięci w procesorze na inny sposób). Zjawisko to nie jest praktycznie widoczne na standardowych wyświetlaczach alfanumerycznych, jeśli ustawione są prostopadle (normalne ustawienie w częstotliwościomierzu, wyświetlacz nie leży). Efekt ten jest bardziej widoczny na dużych wyświetlaczach alfanumerycznych. Jeśli to komuś przeszkadza, nic nie stoi na przeszkodzie, by odpowiednie linijki programu usunąć. Mimo tej lekkiej niedogodności autor uważa, że nie warto tego robić (autor zaobserwował to zjawisko dopiero po roku eksploatacji, uruchamiając drugi częstotliwościomierz z dużym wyświetlaczem i bardzo dokładnie się przyglądając staremu częstotliwościomierzu).

Fot. 1



Rys. 3 Schemat montażowy częstotliwościomierza



## Montaż i uruchomienie

Cały układ zmontowano na dwustronnej płytce drukowanej, pokazanej na rysunku 3.

### Wykaz elementów

<b>Rezystory</b>	C22..... 10µF tantal
R1, R27..... 100Ω	C26..... 39pF
R2..... 33Ω	C27..... 1µF
R3..... 5,1kΩ	C28, C29..... 33pF
R4..... 510Ω	C31, C34..... 100nF
R5, R28..... 1kΩ	C32..... 1000µF
R6, R24..... 47Ω	C33..... 22µF
R7..... 10kΩ	<b>Półprzewodniki</b>
R8, R20..... 330Ω	D1, D2..... BAT15
R9..... 100kΩ	D3, D4..... 1N4148
R10, R11..... 470Ω	D5..... 1N6263
R12, R15..... 1,8kΩ	LCD1..... LCD 16*2
R16-R19, R22, R23. 510Ω	M1..... RB157
R21..... 220Ω	T1..... 2N2369
R25..... 39Ω	T2..... BF245
R26..... 150Ω	T3, T4..... BF324
PR1..... 1kΩ	U1..... U893BSE
<b>Kondensatory</b>	U2..... SN74HC00N
C1, C3, C6, C8... 470pF	U3..... MC10116
C2, C4, C5, C7... 22pF	U4..... ATTiny 2313
C9, C11, C16,	U6..... SN74HCT393N
C21, C24..... 10nF	U7..... 7805
C10, C12, C15, C19,	<b>Pozostałe</b>
C20, C25, C30... 100pF	G1, G2..... BNC
C13, C18..... 100nF	JMP1..... jumper
C14..... 47pF	Q1..... 12,8MHz
C17, C23..... 10µF	TS1..... TS417

Płytkę drukowaną jest dostępna w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2820.

Natomiast **fotografia 1** prezentuje preskaler do 7GHz, na kostce Analog Devices ADF4007, wypróbowany z tym układem. Do montażu płytki użyto wiele elementów SMD 0805. W całym układzie starannie odsprężono zasilanie. W przypadku problemów ze zdobyciem układów w technologii 74F (oszczędniejsze energetycznie) lub 74S można zastosować układy w technologii 74HCT, ograniczy to jednak maksymalną częstotli-

wość mierzoną do około 50MHz na zakresie pomiarowym 100MHz. Nie jest to jednak duży problem. Zarówno preskaler U893, jak i U664 mierzą sygnały już od 30MHz (nie ma luk w zakresach pomiarowych, oba zakresy częściowo się pokrywają). Pokazywanie przypadkowych wyników pomiarów na górnym zakresie pomiarowym, bez doprowadzenia sygnału zewnętrznego, jest zjawiskiem normalnym (preskalery samooscyłujące) i wy-

ka z dużej czułości zastosowanych układów (preskalerów). Po podłączeniu zewnętrznego sygnału efekt ten ustępuje. Opisany miernik kalibrujemy, mierząc częstotliwość generatora kwarcowego o możliwie dużej częstotliwości i zrównując trymerem TCXO wskazania naszego częstotliciemierza z częstotliciemierzem wzorcowym.

**Rafał Orodziński**  
*sq4avs@gmail.com*