

# Kalibrator częstotliwościomierza

Większość z nas, budując różne urządzenia radiowe, mierzy ich częstotliwość. Pomiar taki obarczony jest jednak błędem wynikającym z braku kalibracji częstotliwościomierza. Praktycznie wszystkie opisane w literaturze układy częstotliwościomierzy mają generator wzorcowy zbudowany na zlinearyzowanej bramce (układy mikroprocesorowe) i zawierają przypadkowy rezonator kwarcowy. Błąd kalibracji takiego częstotliwościomierza może wynieść nawet  $\pm 3\text{kHz}$  na  $10\text{MHz}$ . W jednym z układów, by wymusić pracę na częstotliwości znamionowej, autor musiał użyć dławika włączonego w szereg z rezonatorem kwarcowym. Wartość błędu odczytu rzędu  $300\text{--}400\text{Hz}$  na  $9\text{MHz}$  całkowicie uniemożliwia poprawne ustawienie częstotliwości rezonatorów pilotujących dla filtru SSB, nie mówiąc już o problemie pracy poza pasmem. Problem ten jest mniejszy dla profesjonalnych konstrukcji częstotliwościomierzy, gdyż posiadają one wzorce o mniejszych zakresach przestrajania i mają gwarantowany zakres generowanych częstotliwości. W fabrycznych konstrukcjach jako wzorce stosuje się generatory termokompensowane (TCXO), a najdroższe urządzenia mają wzorce termostatowane (OCXO) lub nawet podwójnie termostatowane (DOCXO). Generatory TCXO mają zwykle większy zakres przestrajania niż generatory termostatowane. Istnieją wzorce, w których zakres przestrajania ograniczony jest do  $1\text{Hz}$  na  $10\text{MHz}$  (DOCXO). W Polsce są powszechnie dostępne dwa dobre źródła częstotliwości wzorcowej. Pierwszym z nich jest nadajnik Warszawa I ( $225\text{kHz}$ ). Wadą tego układu jest potrzeba zbudowania odbiornika radiowego o odpowiednim paśmie prze-

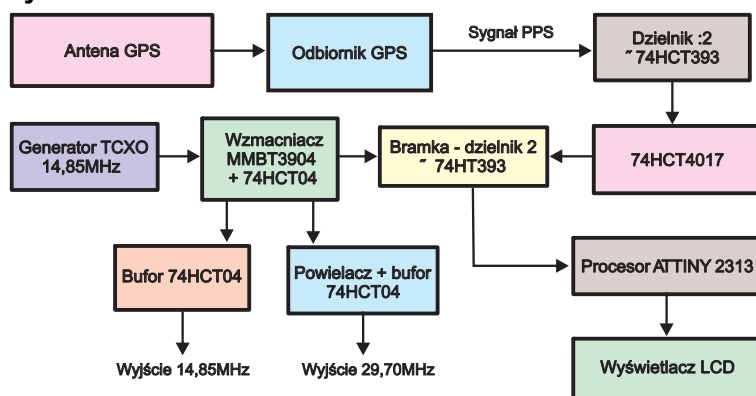
puszczania (filtr kwarcowy) i duża podatność układu na zakłócenia elektromagnetyczne (przetwornice zasilaczy, monitory, telewizory, elektronarzędzia), a w przypadku większych odległości od nadajnika – wpływ propagacji jonosferycznej. Najprostszym rozwiązaniem problemu dokładnego pomiaru częstotliwości jest wykorzystanie odbiorników systemów nawigacji satelitarnej GPS. Jako sygnał wzorcowy najlepiej jest wykorzystać sygnał PPS (pulse per second – sygnał jednosekundowy). Zdecydowana większość odbiorników GPS, sprzedawanych w postaci modułów, ma wyprowadzony ten sygnał na złączu odbiornika. Sygnał PPS uzyskuje się w odbiornikach GPS dzięki obróbce sygnałów obieranych z satelitów nawigacyjnych systemu GPS (każdy satelita ma na swoim pokładzie atomy cezowy wzorec częstotliwości). Obecna cena modułów odbiorników GPS na poziomie  $40\text{--}70$  złotych zachęca do wyboru tego rozwiązania. Do tej kwoty należy doliczyć jeszcze około  $30$  zł na antenę aktywną. Stabilność sygnału PPS podawana przez producenta dla wykorzystywanego przez autora odbiornika wynosi  $200\text{ns}$ , co daje odchyłkę sygnału jednej sekundy na poziomie  $5 \cdot 10^{-8}$ , przekłada się to na błąd  $2\text{Hz}$  na  $10\text{MHz}$  (odbiornik firmy

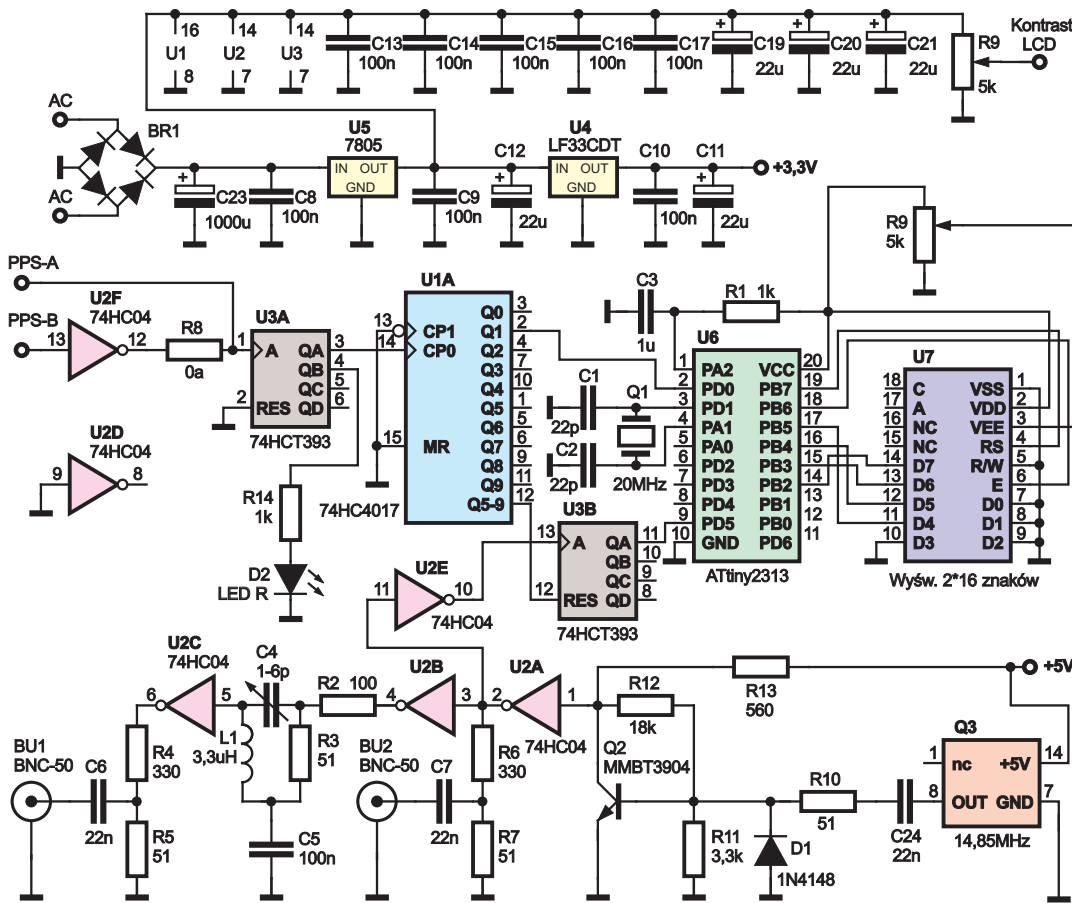
NovAtel, Superstar II). Wydłużając czas zliczania do  $10\text{s}$ , błąd ten jeszcze ulega zmniejszeniu, zmniejsza się również wpływ czasu propagacji układów cyfrowych. Zmierzony przez autora jitter odbiornika Superstar II na poziomie prawdopodobieństwa  $95\%$  wyniósł  $52\text{ns}$  (liczba próbek  $373$ ). Wartość niestabilności sygnału PPS zależy od liczby widzianych satelitów, a tym samym od ustawienia i jakości anteny. Jednak kalibrator dla krótkofalowca powinien dawać na wyjściu nie  $1\text{Hz}$ , tylko jakąś wysoką częstotliwość radiową. I taki sygnał daje opisywany kalibrator. Tak właściwie to daje on sygnał o umiarkowanej stabilności, ale wyświetlacz kalibratora pokazuje dokładną częstotliwość tego sygnału, mierzoną na bieżąco właśnie z wykorzystaniem wzorcowego sygnału GPS.

## Opis układu

Schemat blokowy urządzenia pokazano na **rysunku 1**, a na **rysunku 2** – ideowy. Opisany układ jest właściwie częstotliwościomierzem, który mierzy sygnał własnego generatora wzorcowego (w naszym przypadku taniego generatora termokompensowanego o częstotliwości  $14,85\text{MHz}$  – cena na Allegro  $3,5$  zł). Można również wykorzystać generatory o innej częstotliwości, wymaga to jedynie niewielkich zmian w kodzie źródłowym. Sygnał generatora  $14,85\text{MHz}$  jest wzmacniany w tranzystorze impulsowym MMBT3904 (nie wolno zastępować go tranzystorami typu BC) a następnie buforowany przez inwerter układu  $74\text{HC}04$ . Sygnał oscylatora podawany jest na jeden z liczników układu  $74\text{HC}393$  (licznik binarny) – pracuje on jako dzielnik częstotliwości przez  $2$ , a jednocześnie bramka licznika częstotli-

Rys. 1





Rys. 2

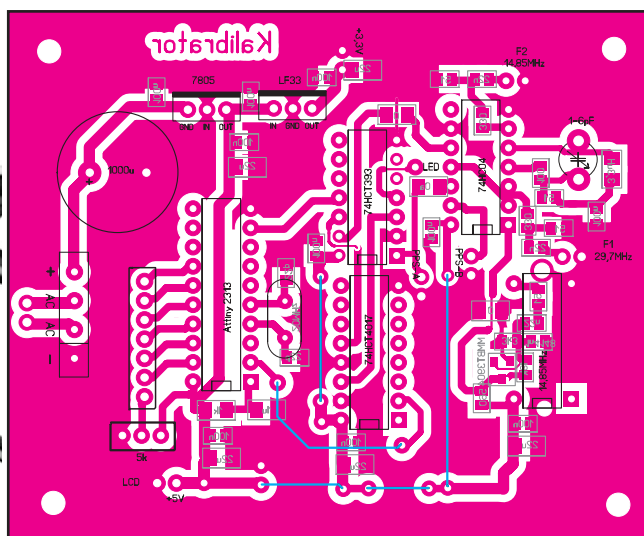
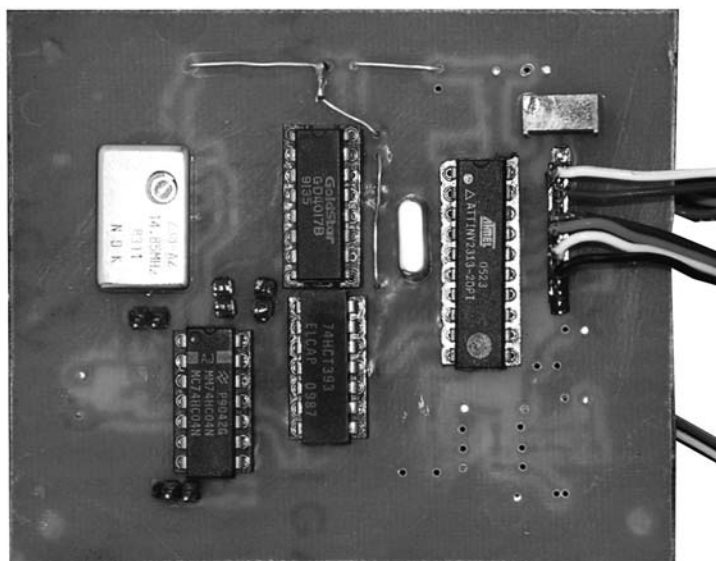
wości. „Bramę” licznika otwiera stan niski na wejściu zerującym licznika 74HCT393. Zastosowanie dzielnika częstotliwości przez 2 jest konieczne ze względu na zapewnienie współczynnika wypełnienia mierzonego przebiegu na poziomie 50% i częstotliwość zastosowanego rezonatora kwarcowego w układzie ATTiny2313. Maksymalna mierzona częstotliwość przez układ ATTiny2313 może wynieść maksymalnie połowę częstotliwości sygnału zegarowego procesora w przypadku wypełnienia przebiegu mierzonego na poziomie 50% (w naszym przypadku jest to 10MHz). Drugi z liczników częstotliwości układu 74HCT393 pełni funkcję dzielnika częstotliwości sygnału PPS przez 2. Przebiegi sterujące pracą licznika (procesor ATTiny2313) i „bramki” (druga część układu HCT393) wytwarza układ 74HC4017 sterowany podzielonym przez 2 sygnałem PPS (licznik Johnsa). Wytworzony sygnał bramkujący otwiera bramkę na czas 10s, co uwzględniając zastosowanie dzielnika częstotliwości przez 2 w torze bramkowania, daje teoretyczną rozdzielczość pomiaru 0,2Hz. Wartość ta jest jednak zaokrąglona przez procesor do 1Hz (wynika to również ze stabilności zastosowanego generatora TCXO). Zastosowany generator jest na tyle stabilny, że w czasie między kolejnymi pomiarami częstotliwości zmiana częstotliwości gene-

ratora TCXO nie jest większa niż 2Hz na 29,7MHz). Pełny cykl pomiarowy trwa 20 sekund. Ponieważ wraz ze wzrostem mierzonej częstotliwości maleje względny błąd pomiaru w układzie, zaprojektowano dodatkowy powielacz częstotliwości na bramce 74HC04. Układ w praktyce wydziela najlepiej drugą harmoniczną (co świadczy o nie 50-procentowym wypełnieniu powielanego przebiegu). Harmoniczną wydziela się w szeregowym obwodzie LC (trymer 1-6pF i dławik 3,3μH). Poziom sygnału wyjściowego z bramki 74HC04 jest obniżany do wartości około 0,8V przez dzielnik oporowy (330Ω, 51Ω), przyjęte rozwiązanie jest jak najbardziej prawidłowe. Często zdarza się, że zbyt duży poziomy sygnału wejściowego powoduje, że miernik częstotliwości podaje nieprawidłowe odczyty (zwykle 2. lub 3. harmoniczną przebiegu mierzonego). Przyjęte rozwiązanie pozwala na zastosowanie typowych kabli koncentrycznych do połączenia kalibratora z układem kalibrowanym. Gdy kalibrowany częstościomierz ma wejście wysokoomowe, należy pamiętać o obciążeniu kabla po stronie porównywanego częstościomierza rezystorem 51Ω. W przypadku, gdy badany częstościomierz ma tor wejściowy o impedancji zbliżonej do 50Ω, rezystora 51Ω po stronie wejścia częstościomierza porównywanego nie należy stosować.

nak prawdą w Polsce, bowiem odbiornik ma wpisane w pamięci współrzędne z innego regionu geograficznego, co wydłuża czas startu odbiornika. Przepuszczenie to potwierdza fakt, że po zastosowaniu baterii podtrzymującej na płytce odbiornika GPS start odbiornika jest bardzo przyspieszony. Praktycznie wszystkie dostępne na rynku moduły GPS mają soft, który pozwala odpowiednio skonfigurować odbiornik i „podejrzeć” jego pracę. Wykorzystany przez autora odbiornik pobiera 150mA prądu przy 3,3V. Sygnał PPS w tym odbiorniku jest krótkim impulsem o stanie logicznym wysokim. Piny 1, 2 odbiornika stanowią zasilanie układu odbiornika GPS i anteny aktywnej, pin 19 jest wyjściem sygnału PPS. Antenę odbiornika należy położyć w miejscu jak najmniej przesłanianym przez budynek, ewentualnie na parapecie okna. Element U2F (bramka 74HC04) stosuje się w przypadku, gdy zбочem wzorcowym odbiornika GPS jest zбочe opadające, montujemy wtedy rezystor 0a (wykorzystujemy wejście PPS-B). W przypadku, gdy zбочem wzorcowym jest zбочe narastające, nie montujemy elementu 0a a wejście bramki U2F zwieramy do masy przez rezystor 0Ω (wykorzystujemy wejście PPS-A). W ponad 90% przypadków odbiorników GPS zбочem wzorcowym jest zбочe narastające. Ważne jest, by w przypadku odbiornika GPS, zasilanego z 3,3V układ PPS, był kierowany

## Montaż i uruchomienie

Program kalibratora został napisany w Bascomie i jest bardzo prosty, zasadę jego działania wyjaśniają komentarze. Program można ściągnąć z Elportalu. Podczas konfiguracji fusebitów ważne jest, by podział sygnału zegarowego przez 8 był wyłączony. Wgrywając plik hex do procesora, nie podłączamy kondensatora resetu (pin 1 ATTiny2313). Ważnym parametrem jest wybór odpowiedniego odbiornika GPS, zastosowany przez autora odbiornik Superstar II jest jednym z tańszych (cena około 40 zł na Allegro). Wybierając odbiornik GPS, warto zwrócić uwagę na to, by sygnał PPS miał jitter na poziomie nie większym niż 200ns oraz by generował sygnał PPS dopiero w chwili, gdy jest w pełni zsynchronizowany (trwa to zależnie od siły sygnału i widoczności satelitów od 5 do 10 minut). W karcie katalogowej producenta podane jest, że odbiornik Superstar II startuje w czasie poniżej jednej minuty, nie jest to jednak



Rys. 3

do układu wykonanego w technologii HCT (w naszym wypadku 74HCT393) lub w przypadku, gdy zboczem wzorcowym jest zbieżność opadająca, na układ 74HCT04. Dioda LED D2 miga w takt sygnału PPS odbiornika GPS po podzieleniu go przez 4. Element ten jest opcjonalny. Rezystor ograniczający prąd diody LED znajduje się na kablu łączącym go z diodą (rezystor przewlekany). Napięcie 5V do zasilania układów HC, HCT wytwarza stabilizator typu 7805, 3,3V stabilizator o niskim spadku napięcia typu LF33. Stabilizatory mogą wymagać niewielkiego radiatora. Kontrast wyświetlacza ustawia się potencjometrem wieloobrotowym 5kΩ. Strojenie powielacza kalibratora wykonujemy, mierząc częstotliwość na wyjściu bramki współpracującej z obwodem rezonansowym (U2C). Trymer ustawiamy w pozycji środkowej między położeniami trymera, dla którego uzyskujemy stabilne wskazania podwojonej częstotliwości wyjściowej. Do strojenia trymera używamy stroika ceramicznego lub z tworzywa ze względu na fakt, że każda z elektrod trymera znajduje się na potencjale w.c.z. Wyjście BU2 jest wyjściem częstotliwości niepowielonej, wyjście BU1 jest wyjściem częstotliwości TCXO powielonej dwukrotnie. Sprawdzenie poprawności pracy badanego częstotliwościomierza sprowadza się do porównania częstotliwości generowanej przez kalibrator (widocznej na wyświetlaczu alfanumerycz-

nym 2\*16 znaków) i odczytanej przez badany częstotliwościomierz. W celu łatwiejszego odczytu częstotliwości wprowadzono przecinek oddzielający setki Hz od kHz. W przypadku nieotrzymania sygnału PPS podczas startu systemu układ pokazuje komunikat Kalibrator v 1.0, utrata sygnału GPS na jakiś czas po starcie systemu powoduje wyświetlenie komunikatu „czekam na sygnał”. Prototypowa płytka jest

nico inna od docelowej (rysunek 3) i wykorzystuje elementy głównie typu 0805, rezystory 0Ω rozmiaru 1206 pełnią funkcję zwór. Cały układ zbudowany jest na jednostronnej płytce drukowanej i w zasadzie może być wykonany nawet przez początkującego radioamatora.

Rafał Orodziński SQ4AVS  
sq4avs@gmail.com

### Wykaz elementów

#### Kondensatory

C1,C2	22pF SMD
C3	1μF SMD
C4	1-6pF
C5,C8-C10,C13,C14-C17	100nF SMD
C6,C7,C24	22nF SMD
C11,C12,C19,C20	22μF/16V SMD
C23	1000μF/16V

#### Rezystory

R1,R14	1kΩ SMD
R2	100Ω SMD
R3,R5,R7,R10	51Ω SMD
R4,R6	330 SMD
R11	3,3kΩ SMD
R12	18kΩ
R13	560Ω
R8	0a – tekst

R9 ..... 5kΩ potencjometr wieloobrotowy

#### Półprzewodniki

BR1	B250C1500
D1	1N4148 SMD
D2	LED czerwona
Q2	MMBT3904
U1	74HC4017
U2	74HC04 (74HCT04 patrz tekst)
U3	74HCT393
U4	LF33
U5	7805
U6	ATTiny2313-DIL20
U7	Wyświetlacz 2*16 znaków

#### Pozostałe

BU1,BU2	BNC-50
L1	3,3μH
Q1	20MHz
Q3	14,85MHz TCXO

Płytkę drukowaną jest dostępna w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2898.