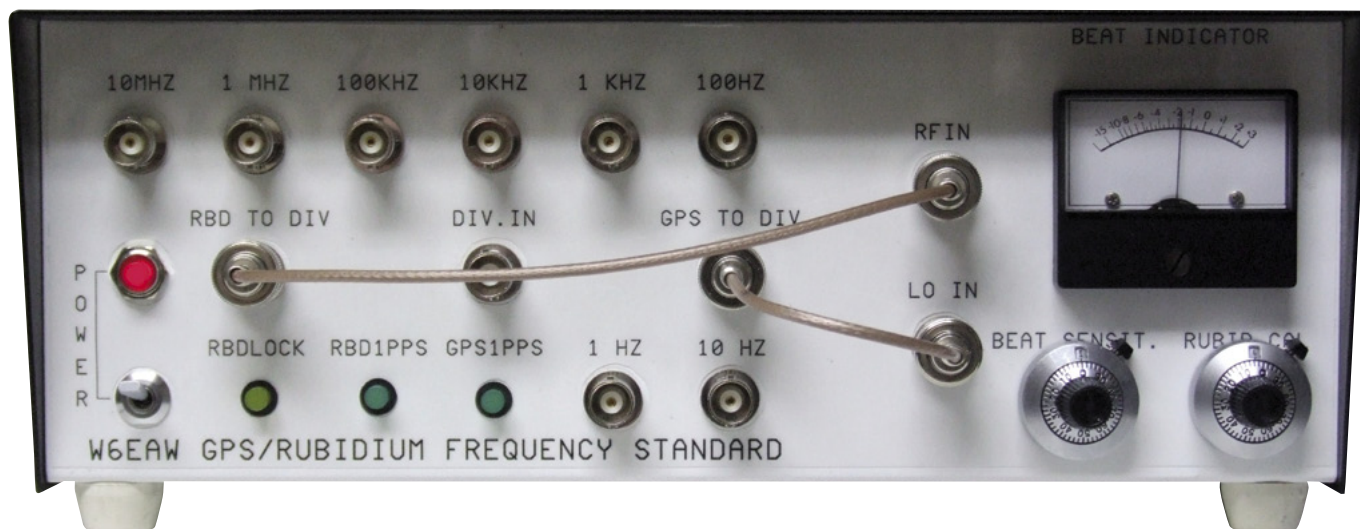


Dział „Projekty Czytelników” zawiera opisy projektów nadesłanych do redakcji EP przez Czytelników. Redakcja nie bierze odpowiedzialności za prawidłowe działanie opisywanych układów, gdyż nie testujemy ich laboratoryjnie, chociaż sprawdzamy poprawność konstrukcji. Prosimy o nadsyłanie własnych projektów z modelami (do zwrotu). Do artykułu należy dołączyć podpisane oświadczenie, że artykuł jest własnym opracowaniem autora i nie był dotychczas nigdzie publikowany. Honorarium za publikację w tym dziale wynosi 250,- zł (brutto) za 1 stronę w EP. Przyniesionych tekstów nie zwracamy. Redakcja zastrzega sobie prawo do dokonywania skrótów.



Rubidowy, korygowany GPS-em wzorzec częstotliwości i czasu

Projekt
194

Od zarania radiokomunikacji istniał problem generowania sygnału o stabilnej częstotliwości i jej pomiaru. Wielki skok, jaki dokonał się w technologii półprzewodnikowej, wzrost skali integracji i postęp w wielu dziedzinach nauki dają niemal idealne narzędzia rozwiązujące wspomniane wcześniej problemy.

Urządzenia używane w amatorskiej radiokomunikacji są wyposażone w syntezery DDS zapewniające dużą dokładność i stabilność częstotliwości, pokrycie bardzo szerokiego pasma częstotliwości, małą zawartość szumów fazowych itp. W dalszym ciągu jednak ich główny element – zegar kwarcowy „ożywiający” DDS – podlega powolnemu starzeniu się płytki kwarcowej i innych komponentów, co zmusza do okresowej kalibracji częstotliwości za pomocą odpowiednio dokładnego wzorca.

Stacje radiowe (jak np. WWV) nadające sygnały o częstotliwościach 5, 10 i 15 MHz wystarczają do zgrubnej kalibracji urządzeń, chociaż ich użycie wiąże się nieraz z koniecznością przezwyciężenia problemów z propagacją, zakłóceniami sygnału radiowego itp. Stara metoda „dudnieniowa” stwarza

kłopoty przy kalibracji podczas emisji SSB, ponieważ druga wstęga jest wycinana i przy dużej stromości filtra kwarcowego słyszalność bardzo małej częstotliwości jest praktycznie niemożliwa.

Najlepsze obecnie wzorce atomowe – wodorowe i cezowe są na ogół poza zasięgiem radioamatora. Ale radioamator może mieć do nich dostęp za pośrednictwem systemu satelitów GPS. Wspomnę tu o artykule autorstwa SQ4AVS i SP2IQW zamieszczonym w „Świecie Radio” w styczniu 2009, w którym opisano budowę wzorca częstotliwości i czasu z użyciem odbiornika GPS.

Zamieszczony w miesięczniku „QEX” artykuł Boba KE6F pt. *Atomic Frequency reference for your shack*, sprowokował mnie do budowy własnego wzorca z użyciem łatwo-dostępnego na portalu www.e-bay.com

generatora rubidowego. Podczas konstrukcji zdecydowałem się dodać także wzorzec z odbiornikiem GPS *Thunderbolt Precision GPS Standard*. Obydwa wzorce są oferowane najczęściej przez chińskich sprzedawców na aukcjach z opcją „kup teraz”. Płaci się za pomocą serwisu PayPal, który ubezpiecza kupującego. Sprzedawcy są bardzo solidni, dostarczają wszystkie potrzebne informacje.

Podczas wyszukiwania ofert wystarczy w oknie wyszukiwarki na stronie www.ebay.com wpisać *EFRATOM 10 MHz rubidium frequency standard*, a pojawi się kilkadziesiąt ofert w cenach od 50 do 100 dolarów. Wzorzec typu FRS-C jest tańszy, bo wymaga specjalnego wtyku, który trudno kupić. Model LPRO-101 jest nieco droższy, ale łatwiejszy w montażu (**fotografia 1**). Przynajmniej te urządzenia pracowały w telefonii komórkowej w Chinach przez około 5 lat i po wymianieniu na nowsze modele są sprzedawane z tzw. demobilu po bardzo niskiej cenie (w porównaniu do ceny nowego zegara rubidowego, która wynosi około 950 dolarów).

Czytelnik zdecydowany na nieco większy wydatek może nabyć na e-bay *Thunder-*



Rysunek 1. Schemat wzorca czasu i częstotliwości z generatorem rubidowym i odbiornikiem GPS

bolt Precision GPS 10MHz 1 PPS Standard Easy Kit w cenie od 150 do 190 dolarów. Zestaw zawiera wszystko, co jest potrzebne do uruchomienia: wzorzec, zasilacz, zewnętrzną antenę aktywną z koncentrycznym kablem połączeniowym oraz przewód do portu szeregowego komputera RS232 lub do połączenia ze specjalnym monitorem LCD, który umożliwia wyświetlanie aktualnych parametrów wzorca. Mając ten zestaw, nie musimy kupować wzorca rubidowego, bo to wzorzec GPS jest dokładniejszy i dostarcza przebieg sinusoidalny o napięciu $5 V_{pp}$ i częstotliwości 10 MHz oraz jeden impuls na sekundę (sygnał o częstotliwości 1 Hz) z ogromną dokładnością.

Sygnał o częstotliwości 10 MHz można podać na wejście dzielnika częstotliwości w celu uzyskania niższych częstotliwości (jak w prezentowanym układzie) lub użyć tego wzorca dla wszystkich urządzeń cyfrowych: liczników, generatorów, analizatorów widma i innych, w tym również dla transceivera. Wykonany wzorzec będzie służył nam i innym do kalibracji generatorów OCXO i TCXO.

Dużo niższym kosztem można zbudować tylko wzorzec rubidowy z chłodzeniem i dokonać jednorazowej kalibracji (raz na długi czas) u kogoś, kto ma wzorzec GPS. Ja zbudowałem obydwa wzorce bardziej z ciekawości, ale na stałe używam wzorca korygowanego GPS-em.

Budowa

Schemat ideowy wzorca pokazano na rysunku 1. Jego głównymi elementami są odbiornik GPS (*Thundebolt GPS Disciplined Clock*) oraz wzorzec z lampą rubidową (Rubidium Frequency Standard LPRO-101). Reszta układów wypracowuje napięcia niezbędne dla obu modułów lub odbiera ich sygnały wyjściowe.

Sygnały wyjściowe z obu wzorców są doprowadzone do złącza GPS TO DIV (odbiornik GPS) oraz RBD TO DIV (generator rubidowy) umieszczonych na panelu czołowym urządzenia. Za pomocą przewodów można je następnie podać na wejście zespołu dzielników częstotliwości wykonanego na układach U1...U4 (74HCT390) dzielących sygnał o częstotliwości 10 MHz przez

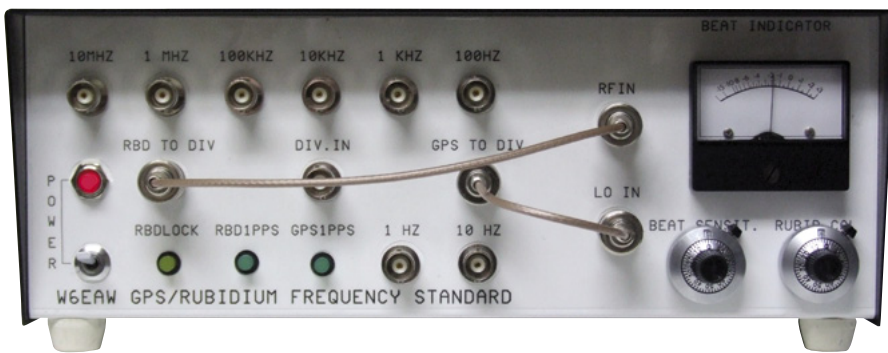
10^7 . Sygnały z wyjść poszczególnych dekad są podawane poprzez układ buforujący U5 (74HCT241) na gniazda umieszczone na płycie przedniej (fotografia 2). Za ich pomocą można odbierać z wzorca sygnały o częstotliwości 1 Hz, 10 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz i 10 MHz. Przebieg z wyjścia AY1 układu U5 jest podawany na kolejny bufor – U6 (74HCT241). Gniazda połączone z jego wyjściami są umieszczone na panelu tylnym (fotografia 3) i dostarczają sygnałów o częstotliwościach 5 MHz i 10 MHz (podział przez 2 za pomocą U4B).

Wyjście odbiornika GPS dostarczające sygnał o częstotliwości 1 Hz (1 peak per second) doprowadzono do uniwibratora U7A (74HCT221) pełniącego funkcję układu wydłużającego impuls, tak aby można było go zaobserwować. Do jego wyjścia jest dołączona dioda LED, która migocze w takt generowanego (a w zasadzie – odbieranego) sygnału.

Podwójnie zrównoważony mieszacz SRA-6 (można tu zastosować podobny wykonany przez siebie) jest wygodnym instrumentem mogącym posłużyć do kalibracji urządzeń i pomiaru różnicy dwóch zbliżonych do siebie sygnałów o różnicy częstotliwości wynoszącej kilka Hz. Wtedy strzałka mikroamperomierza drga i wychyla się z położenia środkowego w obie strony. Potencjometr wielobrotowy pomaga ustawić amplitudę sygnału różnicowego na tyle, aby wskazówka mikroamperomierza nie uderzała o ograniczniki umieszczone przy końcach skali.

Zastosowano gotowe zasilacze impulsowe z uwagi na małe wymiary oraz konieczność uniknięcia zmiennego pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50 Hz, które może zakłócić pracę lampy rubidowej. Zasilacz wielonapięciowy kupiłem w zestawie z wzorcem GPS. Zasilacz $+24 V_{DC}$ pochodzi ze starego laptopa. Ze względu na duże straty mocy musiałem użyć dwóch stabilizatorów LM7805 z radiatorami. Po lewej stronie wzorca rubidowego jest umieszczona dodana później mała płytka drukowana z komparatorem LM311 i przełącznikiem RL1. Do tej płytki idzie 3-żyłowy przewód od czujnika temperatury LM35Z przyklejonego do płytki pośredniczącej pomiędzy wzorcem rubidowym i wentylowanym radiatorem.

Całe urządzenie z obydwooma wzorcami, zasilaczami, dzielnikami częstotliwości i detektorem różnic częstotliwości i fazy mieści się w obudowie o wymiarach 28 cm×19 cm×10 cm. Aby uniknąć stosowania dużego radiatora do chłodzenia wzorca rubidowego, zastosowałem mały, miedziany radiator używany do mikroprocesorów w komputerach PC (fotografia 4). Radiator ten ma mały, ale skuteczny wentylator zasilany z prostego układu kontrolnego z czujnikiem temperatury obudowy wzorca rubidowego, dzięki czemu układ kontrolny



Fotografia 2. Płyta czołowa wzorca czasu i częstotliwości



Fotografia 3. Panel tylny wzorca czasu i częstotliwości

reaguje szybciej na zmianę temperatury, niż gdyby czujnik był zamocowany do radiatora. Przy temperaturze obudowy poniżej 27°C wentylator jest zasilany napięciem ok. 5 V_{DC}. Powyżej tej temperatury przełącznik RL1 zwiiera rezystor R36 i wentylator otrzymuje 7 V_{DC}, zwiększa obroty, a dzięki temu wzrasta skuteczność chłodzenia. Napięcie 7 V_{DC} jest wypadkowe pomiędzy +5 V_{DC} i +12 V DC. Ten typ regulacji ON/OFF plus bezwładność temperaturowa działają wystarczająco dobrze, by utrzymać w przybliżeniu stałą temperaturę wzorca rubidowego. Niezależnie od tego drugi, niewielki wentylator wyciąga nagrzane powietrze z wnętrza obudowy głównej. Pokazano go w lewym, górnym rogu na fotografii 4. Spód obudowy ma nawiercone otwory między zasilaczami i wzorcem rubidowym, pełniące funkcje wlotów chłodnego powietrza.

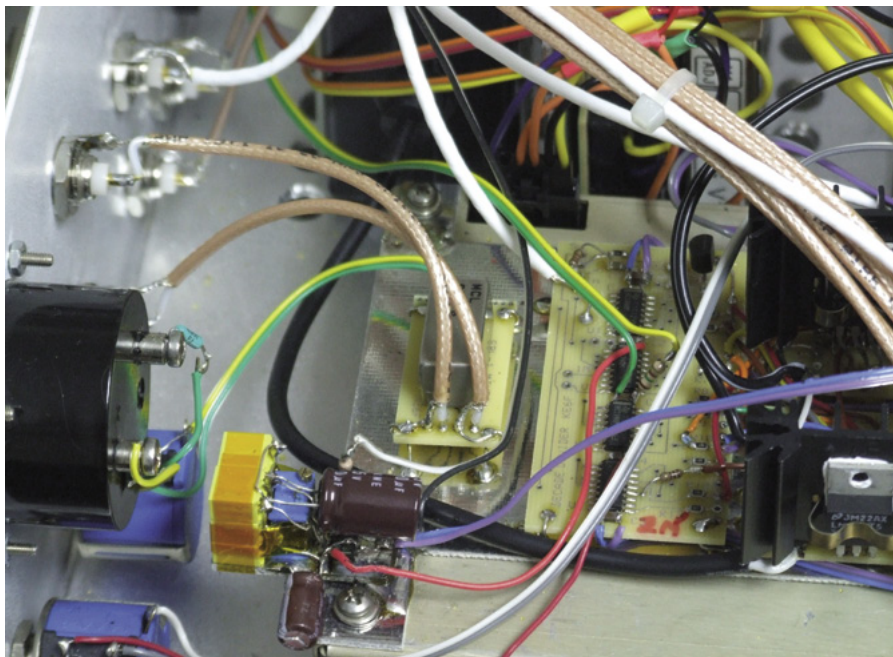
Wzorzec rubidowy „EFRATOM” jest widoczny na fotografiach z naklejką opisującą wyprowadzenia sygnałów i zasilania. Pin „LAMP V” służy do oceny żywotności lampy rubidowej i zgodnie z danymi producenta powinien dostarczać napięcia przynajmniej +5...6 V_{DC}. Według sprzedawcy +4 V_{DC} jest oznaką szybkiego uszkodzenia lampy przy pracy ciągłej.

Urządzenie jest wyposażone w kilka sygnalizacyjnych diod LED. Żółta dioda LED świeci jako alarm do czasu uzyskania stabilności przez generator rubidowy. Gaśnie po około 7...9 minutach, co oznacza, że układ pracuje normalnie. Czerwona dioda LED sygnalizuje włączenie zasilania. Zielona dioda LED mruga w takt częstotliwości 1 Hz po najniższym dzielniku częstotliwości U4A.

Moduł wzorca GPS ma wejście dla aktywnej (z wewnętrznym wzmacniaczem) anteny typu „bullet”. Antena powinna być zainstalowana na zewnątrz, najlepiej na dachu budynku, tak aby mogła odbierać sygnał z wszystkich dostępnych satelitów GPS. Przy użyciu długiego kabla od anteny do wzorca, trzeba zadbać o to, aby straty były jak najmniejsze oraz dokonać korekty opóźnienia sygnału w kablu, o czym mówi instrukcja wzorca.

Monitorowanie parametrów GPS

Odbiornik GPS jest wyposażony w gniazdo umożliwiające kontrolę jego pracy. Jest to gniazdo DB9 interfejsu RS232. Do monitorowania pracy wzorca można użyć jednego z kilku programów, o których będzie mowa dalej. Programy te podają dokładną godzinę UTC oraz datę, a oprócz tego pokazują wszystkie parametry układów elektronicznych wzorca, liczbę satelitów będących w jego zasięgu, współrzędne geograficzne i inne. Idealny do monitorowania jest laptop na przykład typu IBM ThinkPad T-30, ponieważ można go kupić za niecałe 100 dolarów (fotografia 5). Jest on wyposażony



Fotografia 4. Wentylator z radiatorem zastosowany do chłodzenia wzorca rubidowego

zony w interfejs szeregowy RS232, którego nie ma większość nowszych laptopów. Jest także bardziej odporny od PC na wpływ energii RF obecnej przy radiostacji, włączająca gdy ta pracuje z mocą rzędu 1,5 kW PEP. Alternatywnie specjalny, mały monitor LCD oferowany za około 20 dolarów może pokazywać parametry wzorca kolejno, w dwóch liniach. Zapewnia mniejszy komfort, ale jest znacznie tańszy.

Jak wspomniano, za pomocą gniazda DB9 (port szeregowy RS232) są przesyłane informacje o wszystkich parametrach pracy wzorca i umożliwia wprowadzenie zaawansowanych nastaw („setup” w oknie „Thunderbolt Monitor” – fotografia 6).

Inny interfejs graficzny „KE5FX Thunderbolt” monitorujący wzorzec KE5FX przez Internet wyświetla bardzo dokładny czas UTC dużymi cyframi i może pracować równocześnie z programem Thunderbolt Monitor, który monitoruje wzorzec GPS przez port RS232. „Lady Heather” to inny program, który może monitorować nasz wzorzec GPS. Programy te są oferowane przez sprzedawców modułów na e-bay za darmo lub dostępne w Internecie.

Zastosowanie wzorca

Moje domowe laboratorium jest na stałe połączone z wykonanym przeze mnie wzorcem. Wykorzystuje go częstościomierz



Fotografia 5. Program Thunderbolt Monitor uruchomiony na komputerze IBM ThinkPad T-30



Fotografia 6. Parametry odbiornika GPS

o zakresie do 26 GHz, analizator charakterystyki przenoszenia filtrów oraz generator strojeniowy do 10 GHz. Również mój transceiver TRx ICOM 7800 jest kontrolowany za jego pomocą.

Wzorzec GPS jest bardzo dokładny i dlatego można go użyć do wykonania kalibracji różnych urządzeń np. generatora OXCO o częstotliwości 10 MHz. W tym celu wyposażono urządzenie w mieszacz SRA-6, o którym była mowa wcześniej. Po doprowadzeniu sygnału wzorcowego do wejścia „LO IN”, a kalibrowanego do wejścia „RF IN” przy niewielkiej różnicy częstotliwości strzałka mikroamperomierza wychyla się z położenia środkowego w obie strony. Potencjometr wieloobrotowy R24 pozwala na ustawienie amplitudy sygnału różnicowego, tak aby wskazówka mikroamperomierza mieściła się w skali. Następnie korygujemy częstotliwość urządzenia kalibrowanego, aby spowolnić te wahania aż do zatrzymania pośrodku. To jest idealny przypadek dowodzący braku różnicy częstotliwości i fazy. Zależnie od stabilności oscylatora kalibrowanego różnica fazy może się bardzo

wolno zmieniać. Będąc pewnym dokładności naszego wzorca, można powiedzieć, że kilkakrotna zmiana fazy w ciągu godziny to dobry wynik dla kalibrowanego generatora OXCO.

Jeżeli naszym wzorcem będzie uprzednio kalibrowany za pomocą GPS wzorzec rubidowy, to przed kalibracją ten wzorzec musi być też dobrze wygrzany przez czas przynajmniej około godziny. Do korekcji częstotliwości wzorca rubidowego służy wieloobrotowy potencjometr „RUBID.CAL” dołączony do wejścia „EXT.C FIELD” w sposób jak na rysunku 1.

Wykonanie napisów na panelu czołowym

Na zakończenie podam opis metody wykonania praktycznie niezniszczalnych napisów na płycie czołowej, która przyda się nie tylko przy tym urządzeniu. Ponad 20 lat temu, gdy pracowałem w firmie Verbatim Corporation, moja metoda została zgłoszona do Biura Patentowego USA. Niestety, patent nie został przyznany, ponieważ sprzeciwiła się firma Xerox.

Po pierwsze, musimy wykonać rysunek otworów i napisy na komputerze. Potrzebny do tego będzie odpowiedni program, najlepiej do projektowania płytek drukowanych lub rysunków technicznych, ponieważ jest konieczne wydrukowanie tego rysunku w skali 1:1 na odpornej na wysoką temperaturę folii mylarowej do przezroczy (folia do drukarek laserowych). Następnie wykonujemy odwróconą kopię, także na folii do przezroczy na kopiarce laserowej. Ta kopia teraz da się prawidłowo odczytać, gdy patrzymy od strony czystej folii, a nadruk tonera jest na odwrocie. To już jest materiał do wykonania całej naklejki na płytę czołową. Musimy teraz delikatnie powycinać skalpelem otwory na elementy montażowe płyty. Kładziemy folię stroną nadrukowaną do góry i na tę stronę nakładamy kilka cienkich warstw szybko schnącej, białej farby w sprayu, tak żeby zakryć całkowicie napisy. Po wyschnięciu nakładamy cienką warstwę kleju do naklejek (w sprayu, do kupienia w sklepach z materiałami biurowymi np. w Home Depot). Nie czekając zbyt długo na wyschnięcie, delikatnie, równo i dokładnie przyklejamy tak spreparowaną nalepkę na płytę czołową. W ten sposób czarne lub kolorowe napisy są umieszczone pod folią na białym lub innym tle (zależy od koloru farby w trzeciej operacji). Trwałość tych napisów jest taka duża, że sitodruk nie może konkurować. Poza tym sitodruk jest na ogół drogi, raczej niemożliwy do wykonania w domu.

Życzę powodzenia Czytelnikom, którzy zechcą wykonać podobne urządzenie na bazie tego opisu. W przypadku problemów z uruchomieniem lub zakupem podzespołów proszę o e-mail, a postaram się pomóc w miarę własnych możliwości.

Eugeniusz A. Wołoszczuk
W6EAW
ea114w42@hotmail.com
San Jose
California

REKLAMA

Uniwersalny moduł stabilizatora 500mA

AVTMOD13/5
Vout 5V/500mA

AVTMOD13/9
Vout 9V/500mA

AVTMOD13/12
Vout 12V/500mA

www.sklep.avt.pl

The image shows a green PCB voltage regulator module. It has four circular terminals on the left labeled 'In', 'GND', 'C1', and 'U1'. On the right, it has two circular terminals labeled 'C2' and 'Out', and a 'GND' terminal. A wooden pencil is placed horizontally above the module to provide a sense of scale.