

Cyfrowy generator DDS z układem AD9850

AVT 3111

# DDS wg SQ5RWQ



Opis modelu prezentowanego podczas III Spotkania Krótkofalowców w Kampinoskim Parku Narodowym.

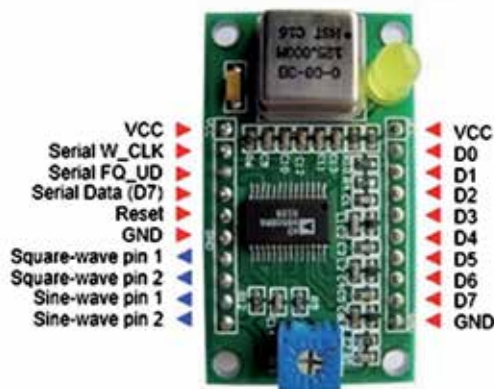
Generatory przestrajane w radiokomunikacji znajdują zastosowanie m.in. w przyrządach laboratoryjnych i serwisowych, jako źródła sygnałów referencyjnych a także jako VFO lub BFO odbiorników i nadajników. Typowe rozwiązania układowe, to klasyczne generatory

analogowe LC lub RC, nierzadko stabilizowane pętlą fazową PLL (lub prostszymi pętlami FLL czy DAFC) czy złożone syntezy, oparte na mieszaniu i powielaniu sygnałów wzorcowych. Wymienione układy charakteryzuje jedna lub więcej cech, ograniczających ich praktyczną użyteczność. Do tych cech należą: niska stabilność częstotliwości, mała czystość widmowa generowanych sygnałów oraz ograniczony zakres i krok uzyskiwanych częstotliwości. Bardzo dobrą alternatywą dla wymienionych grup urządzeń są generatory DDS (ang. Direct Digital Synthesis), w których wykorzystano zasadę odtwarzania wyliczanych „w locie” próbek generowanego sygnału za pomocą przetwornika cyfrowo-analogowego DAC (ang. Digital-to-Analog Converter) ze stałą częstotliwością, wytwarzaną przez wysokostabilny generator kwarcowy. Rozwiązania te są znane w elektronice od wielu lat jednak całkiem niedawno trafiły „pod strzechy” za sprawą niedrogich scalonych syntezerów DDS, np. popularnego układu AD9850 prod. firmy Analog Devices. Kompletny moduł syntezer z układem AD9850, stabilizowanym generatorem i filtrem dolnoprzepustowym LC można nabyć np. na znanym portalu aukcyjnym za kwotę poniżej 50 zł.

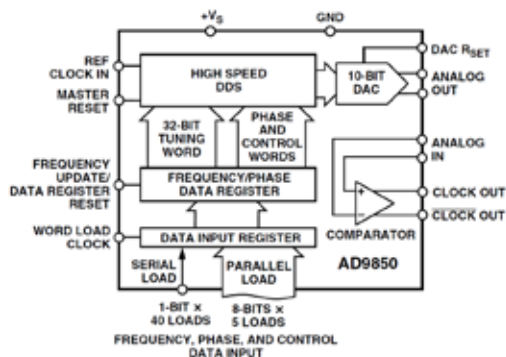
Przykładowy moduł pokazano na rysunku 1 (na rynku moż-

na spotkać co najmniej dwa wykonania zbliżone funkcjonalnie) – wyprowadzenia są w postaci dwóch rzędów 10-pinowych złączy „goldpin”. Pary wyjść generowanych sygnałów (sinusoidalne i prostokątne – w przeciwfazach) oznaczono niebieskimi trójkątami. Z kolei trójkąty czerwone, to wejścia sterujące (programowanie częstotliwości i fazy generowanych przebiegów) oraz zasilanie, które dla wygody podłączenia powtórzone po obu stronach modułu. Proces programowania może odbywać się metodą szeregową lub równoległą. Przy zastosowaniu szybszej metody równoległej aktywnie wykorzystywane są piny D0..D7 (programowanie odbywa się przez przekazanie do układu AD9850 czterech 8-bitowych słów sterujących).

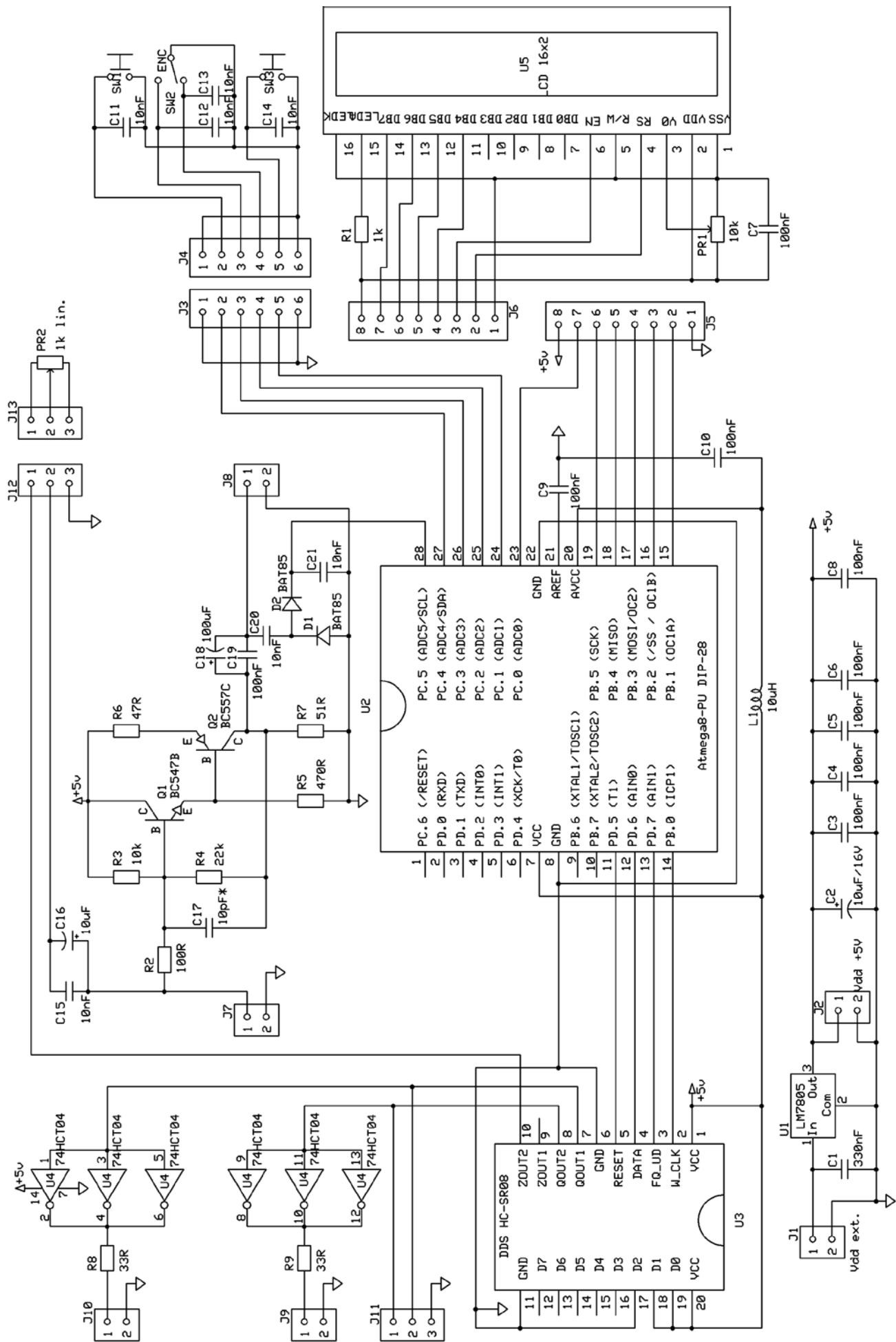
Strukturę wewnętrzną układu AD9850 przedstawiono na rysunku 2. Zduplowany (szeregowy i równoległy) interfejs do programowania częstotliwości i fazy znajduje się w lewej dolnej części schematu blokowego. Przy zastosowaniu układu jako zwykłego generatora wolno przestrajanego (np. ręką operatora urządzenia jako VFO w transceiverze) w zupełności wystarczy wolniejszy transfer szeregowy, wymagający mniejszej ilości połączeń (programowanie równoległe z natury będzie około 8-krotnie szybsze, co może być przydatne gdy układ DDS chcemy wykorzystać jako element modemu FSK czy PSK). W lewej górnej części schematu blokowego AD9850 zarysowano układ odpowiedzialny za wyliczanie próbek generowanego sygnału a obok po prawej stronie pokazano 10-bitowy przetwornik DAC. Sygnały sinusoidalne (w przeciwfazie) na wyjściach przetwornika DAC należy podać na filtry dolnoprzepustowe, eliminujące zjawisko tzw. aliasingu, charakterystycznego dla przetwarzania sygnałów dyskretnych w dziedzinie czasu. Jeden z odfiltrowanych sygnałów sinusoidalnych można następnie podać na wejście wbudowanego w AD9850 szybkiego analogowego komparatora (w prawym dolnym rogu schematu na rys. 2), który



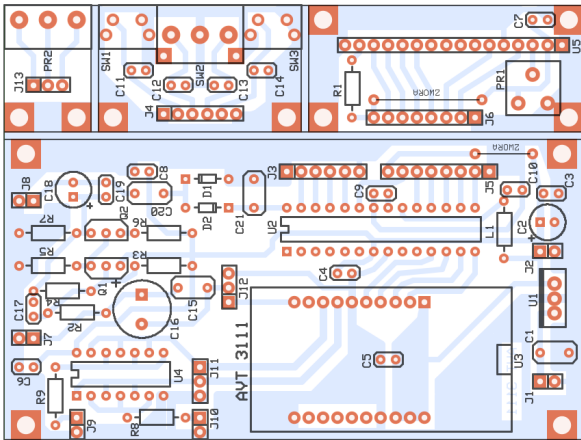
Rys. 1. Uniwersalny moduł generatora DDS z układem AD9850



Rys. 2. Funkcjonalny schemat blokowy AD9850



Rys. 3. Schemat elektryczny generatora



Rys. 4. Płytką drukowaną generatora

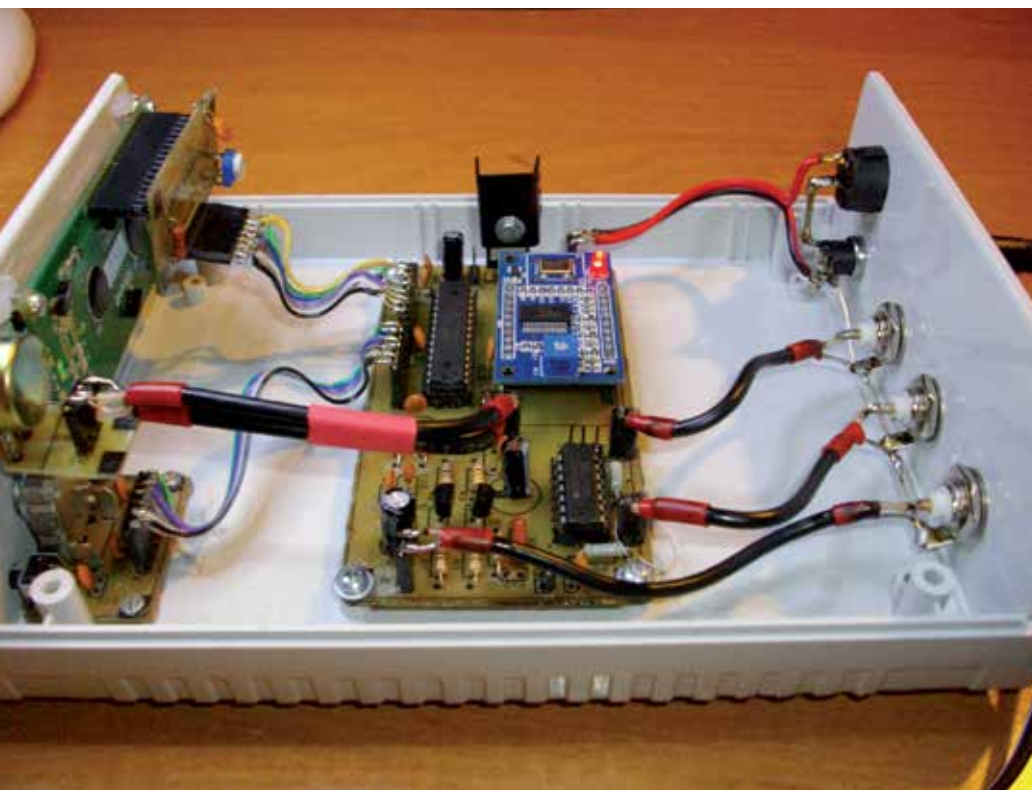
generuje na wyjściach dwa przebiegi prostokątne w przeciwnych fazach. W wykorzystywanym module generatora DDS poziom stałego napięcia odniesienia dla komparatora jest regulowany za pomocą potencjometru montażowego (niebieski kwadratowy element w dolnej części rys. 1). Tę regulację warto wykonać bardzo dokładnie, ponieważ wpływa ona na współczynnik wypełnienia (symetrię) uzyskiwanych sygnałów prostokątnych.

Układ scalony AD9850 może pracować z napięciem zasilania VDD od 3.3 do 5V, przy czym maksymalne częstotliwości taktowania FS oraz wydzielane moce strat ciepłych PT wynoszą wtedy odpowiednio: 155 mW przy 110 MHz oraz 380 mW przy 125

MHz (wyczuwa się lekkie grzanie pracującego układu). Natomiast deklarowana przez producenta wartość parametru SFDR (ang. Spurious-Free Dynamic Range), oznaczającego stosunek amplitudy użytecznego sygnału wyjściowego do najsilniejszego sygnału zakłócającego (miara dokładności odwzorowania sygnału przez przetwornik DAC), przy częstotliwości generowanego sygnału sinusoidalnego równej 40 MHz, jest lepsza od 50 dB, co należy uznać za wartość zadowalającą w większości zastosowań radioamatorskich. Trzeba tu jednak wyraźnie podkreślić, że przy tak małym stosunku częstotliwości generowanej  $F=40$  MHz do częstotliwości próbkowania  $F_s=125$  MHz, równym 0.32, próbkowanie odbywa się zbyt rzadko, by jakość odwzorowania sygnału w dziedzinie czasu była wystarczająca dla większości zastosowań. W praktyce, wykorzystując tylko filtr dolnoprzepustowy LC, zaimplementowany w opisywanym module DDS, jesteśmy w stanie uzyskać przebiegi sinusoidalne i prostokątne o jakości nie budzącej zastrzeżeń (na podstawie obserwacji za pomocą amatorskiego oscyloskopu cyfrowego) tylko w zakresie do kilkunastu MHz. Przy większych wymaganiach na czystość widmową generowanego sygnału warto zastosować dodatkowe filtry dolnoprzepustowe LC

(dla przebiegu sinusoidalnego) czy filtrację fazy sygnału dla przebiegów prostokątnych – np. z zastosowaniem pętli fazowej PLL. Jednak rozwiązaniem, które zdaniem autora należy uznać za najbardziej skuteczne, gdy chcemy naszego DDS-a użyć jako generatora VFO na kilka pasm radiowych, jest zastosowanie dla przebiegów sinusoidalnych dedykowanych filtrów pasmowo-przepustowych LC (o odpowiedniej dobroci) oraz podanie dopiero tak odfiltrowanego sygnału na wejście komparatora (wewnętrznego w układzie AD9850 lub zewnętrznego) formującego przebiegi prostokątne, które mogą okazać się przydatne m.in. w układach SDR z kluczami analogowymi przełączanymi cyfrowo.

W prezentowanej aplikacji przestrajanego generatora DDS postawiono na maksymalną prostotę rozwiązania, pozwalającą utrzymać niski koszt wykonania bez ograniczania możliwości dalszego rozwoju. Schemat elektryczny urządzenia prezentuje **rysunek 3**. Do dyspozycji użytkownika pozostawiono cały dostępny zakres przestrajania modułu DDS (U3) – do 40 MHz maks., regulowany programowo z krokiem od 1 Hz do 1 MHz, zmienianym co dekadę. Do zmiany kroku służą dwa łączniki monostabilne „+/- ΔF” (SW1, SW3) a zmianę częstotliwości dokonuje się przez obracanie mechanicznym enkoderem 24-impulsy/obrót (SW2). Całością steruje popularny mikrokontroler ATmega8 (U2), taktowany wewnętrznym generatorem RC o częstotliwości 8 MHz. Informację o generowanej częstotliwości, nastawionym kroku regulacji oraz (opcjonalnie) poziomie sinusoidalnego napięcia wyjściowego zapewnia typowy alfanumeryczny wyświetlacz LCD 16×2 (U5). Układ został pomyślany tak, by sprawdzić się w różnych zastosowaniach – zarówno jako fragment innego urządzenia (np. VFO) jak i niezależny generator serwisowo-laboratoryjny. W tym celu w projekcie uwzględniono także możliwość zastosowania scalonego stabilizatora napięcia (U1) oraz wzmacniaczy wyjściowych – buforów dla zintegrowanego modułu DDS. Dla obu wyjść cyfrowych funkcję tę pełni układ 74HCT04 (U4) a dla sygnału sinusoidalnego – szerokopasmowy wzmacniacz analogowy z tranzystorami BC547B i BC557B (Q1 i Q2). Oba opcjonalne układy buforowania sygnałów wyjściowych



Przykładowe modułowe wykonanie generatora

w znacznym stopniu zabezpieczają moduł DDS przed skutkami zwarć i przepięć na wyjściach a także zapewniają impedancję wyjściową zbliżoną do 50 Ω w szerokim zakresie generowanych częstotliwości. Dodatkowo, przy zastosowaniu wzmacniacza-bufora dla sygnału sinusoidalnego, umożliwiona jest regulacja i pomiar poziomu napięcia wyjściowego a także jego odczyt na wyświetlaczu LCD.

**Rysunek 4** pokazuje projekt jednostronnej płytki drukowanej o wymiarach ok. 75×100 mm, wykonanej w technice montażu przewlekane (THT). Pomyślano go tak, że fragmenty dedykowane układom peryferyjnym można odciąć od głównej części PCB (np. przez dokładne nacięcie i odłamanie) i umieścić w dogodnej części obudowy projektowanego urządzenia. Na płytce przewidziano też liczne wyprowadzenia złączy typu „goldpin” (J1–J13), z których część jest przeznaczona do łączenia ze sobą wymaganych modułów urządzenia (J3–J4, J5–J6) a inne mają zastosowanie opcjonalne.

Przykładowo, gdy w budowanym urządzeniu mamy do dyspozycji stabilizowane i filtrowane zasilanie +5V, można pominąć stabilizator U1 z kondensatorami C1..C3 a układ zasilic wprost przez złączkę J2. Z kolei rezygnując z obu układów buforowania sygnałów wyjściowych oraz z regulacji i pomiaru napięcia sinusoidalnego, sygnały wyjściowe możemy pobrać wprost z łączówek: J11 oraz J12 albo J7 (po mostkowaniu pinów 1 i 2 w łączówce J12 i po odwróceniu polaryzacji kondensatora C16).

Na ostatniej pokazano przykładowe wykonanie opisywanego urządzenia DDS jako generatora warsztatowego – w pełnej wersji układowej i z wydzielonymi modułami regulacji i wyświetlacza LCD. Podłączenie potencjometru regulacyjnego dla sygnału sinusoidalnego wykonano podwójnym cienkim kablem koncentrycznym 50 Ω, podobnie jak wyprowadzenia sygnałów wyjściowych do gniazd BNC 50 Ω na tylnym panelu przyrządu. Urządzenie z własnym stabilizatorem napięcia LM7805 (lub jego odpowiedni-

kiem), wyposażonym w niewielki radiator, dobrze pracuje z dowolnym zasilaczem prądu stałego 7.12V / 0.5A. Na fot. 6 pokazano przykładowe wykonanie panelu czołowego z kompletem elementów regulacyjnych i wyświetlaczem LCD.

Opisany generator DDS, mimo swej prostoty, spotkał się ze sporym zainteresowaniem kolegów konstruktorów, za których sugestiami i namowami są obecnie rozwijane bogatsze wersje, przystosowane do pracy z komputerem (poprzez interfejs USB), jako samodzielny generator sinusoidalny VFO czy BFO do starszych modeli TRX-ów, generator sygnałów cyfrowych do przetwarzania kwadraturowego I/Q w urządzeniach SDR, samodzielny wobulator i wobuloskop (przydatny np. przy strojeniu filtrów wejściowych w.cz. czy filtrów p.cz.) a także jako generator pomocniczy do półautomatycznych skrzynek antenowych.

**Adam Sobczyk SQ5RWQ**  
sq5rwq@gmail.com