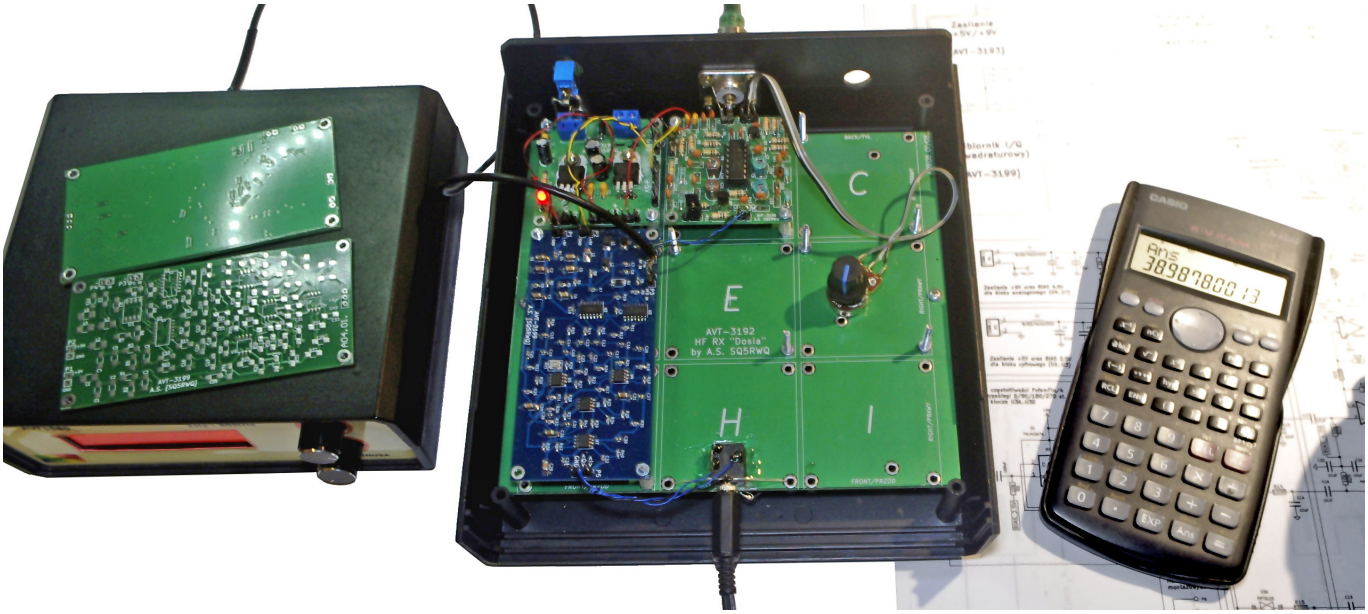


Modułowy odbiornik nasłuchowy na pasma 80 m i 40 m „Dosia" (5)

Piąta część publikacji o odbiorniku nasłuchowym na pasma KF 40 m i 80 m „Dosia" może okazać się ciekawą niespodzianką dla wielu czytelników. Jest to bowiem swego rodzaju przerywnik dotychczasowego cyklu, w którym opisano nowoczesny, dopracowany odbiornik SDR (Software Defined Radio), działający w oparciu o technikę tzw. przetwarzania sygnałów wąskopasmowych metodą kwadraturową.

Na **rysunku 1** przedstawiono sposób podłączenia modułu odbiornika kwadraturowego I/Q w ramach projektu *„Dosia"* oraz zaprezentowano zasadę jego działania. W tej odsłonie *„Dosi"* do uruchomienia odbiornika, oprócz samego modułu **AVT-3199**, wystarczy użyć modułów: **AVT-3193** (zasilacz na napięcia +9 V i +5 V), **AVT-3190** (filtry pasmowe w.cz. 40 m/80 m), **AVT-3192** (płyta podstawy-ekranu) i – opcjonalnie – **AVT-3194** (wzmacniacz wyjściowy audio). Moduł odbiornika kwadraturowego I/Q jest zasilany dwoma napięciami stabilizowanymi, podawanymi na jego wejścia: P1 (+9 V) oraz P2 (+5 V). Oba te napięcia należy oczywiście podać także na wejście zasilania (port P1) modułu filtrów w.cz. (**AVT-3190**) oraz – w przypadku korzystania ze wzmacniacza audio **AVT-3194** – trzeba także dostarczyć napięcie +9 V na port P1 tego modułu. Odfiltrowany pasmowo sygnał w.cz. z wejścia antenowego modułu **AVT-3190** (port P2 – *„RF IN"*) jest dostępny na złączu P3 (*„RF OUT"*) tegoż modułu (nie należy zapomnieć o wyborze właściwego odbieranego pasma selektorem P4 oraz o początkowym ustawieniu potencjometru *„RF GAIN"* na maksimum odbieranego sygnału). Sygnał radiowy w.cz., z wyjścia P3 filtrów należy podać na wejście P4 (*„RF IN"*) modułu odbiornika kwadraturowego I/Q. Natomiast na wejście P3 modułu odbiornika (*„VFO IN"*) należy podać sygnał z zewnętrznego generatora VFO, o częstotliwości ***Fvfo*** 4-krotnie większej od pożądanej częstotliwości środkowej ***Fo*** wycinka pasma KF, który chcemy odbierać (***Fvfo=4*Fo***). Częstotliwość ***Fvfo*** zostanie następnie 4-krotnie podzielona wewnątrz modułu odbiornika I/Q – w procesie uzyskiwania czterech cyfrowych sygnałów kluczujących o częstotliwościach ***Fo*** i fazach: 0, 90, 180 oraz 270 stopni kątowych. Sygnał wyjściowy ***Fvfo*** powinien charakteryzować się: poziomami wyjściowymi CMOS 0/+5 V lub 0/+3,3 V, współczynnikiem wypełnienia jak najbardziej zbliżonym do ***D=50%*** oraz

DODATKOWE MATERIAŁY DO POBRANIA ZE STRONY:

www.media.avt.pl

W ofercie AVT*

AVT-3199, AVT-3192, AVT-3193, AVT-3194

Podstawowe informacje:

- Moduł uniwersalnego wzmacniacza m.cz. z ARW.
- Do zastosowania w dowolnych urządzeniach odbiorczych (i nie tylko).
- Próg zadziałania ARW około 9 „S".
- Zakres regulacji progu zadziałania ARW około ±10 dB.
- Dynamika ARW – lepsza niż 34 dB.
- Napięcie zasilające 9 V DC.

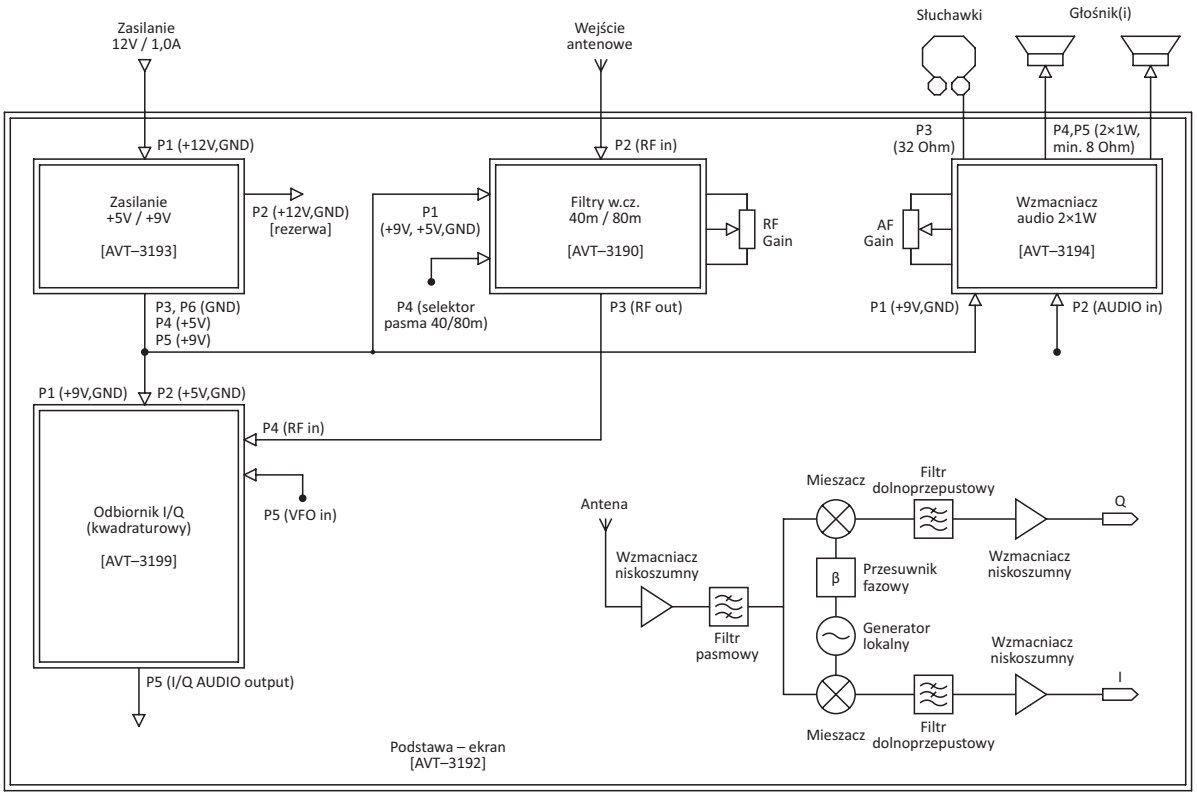
Projekty pokrewne na FTP:
(wymienione artykuły są w całości dostępne na FTP)

AVT-2970	Odbiornik SDR na pasmo 2 m (EdW 2/2011)
AVT-2960	Minitransceiver SP5AHT (80 m/SSB) (EdW 11/2010)
AVT-2934	Odbiornik na pasmo 80 m (EdW 2/2010)
AVT-2925	Odbiornik nasłuchowy „Cypisek" (EdW 12/2009)

*** Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania!**
Podstawową wersją zestawu jest wersja [**B**] nazywana potocznie KITem (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [**B**] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu.
Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:
- wersja [**C**] zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [**B**] (elementy wlutowane w płytkę PCB)
- wersja [**A**] płytka drukowana bez elementów i dokumentacja

Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, posiadają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [**A+**] płytka drukowana [**A**] + zaprogramowany układ [**UK**] i dokumentacja
- wersja [**UK**] zaprogramowany układ

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz!
http://sklep.avt.pl

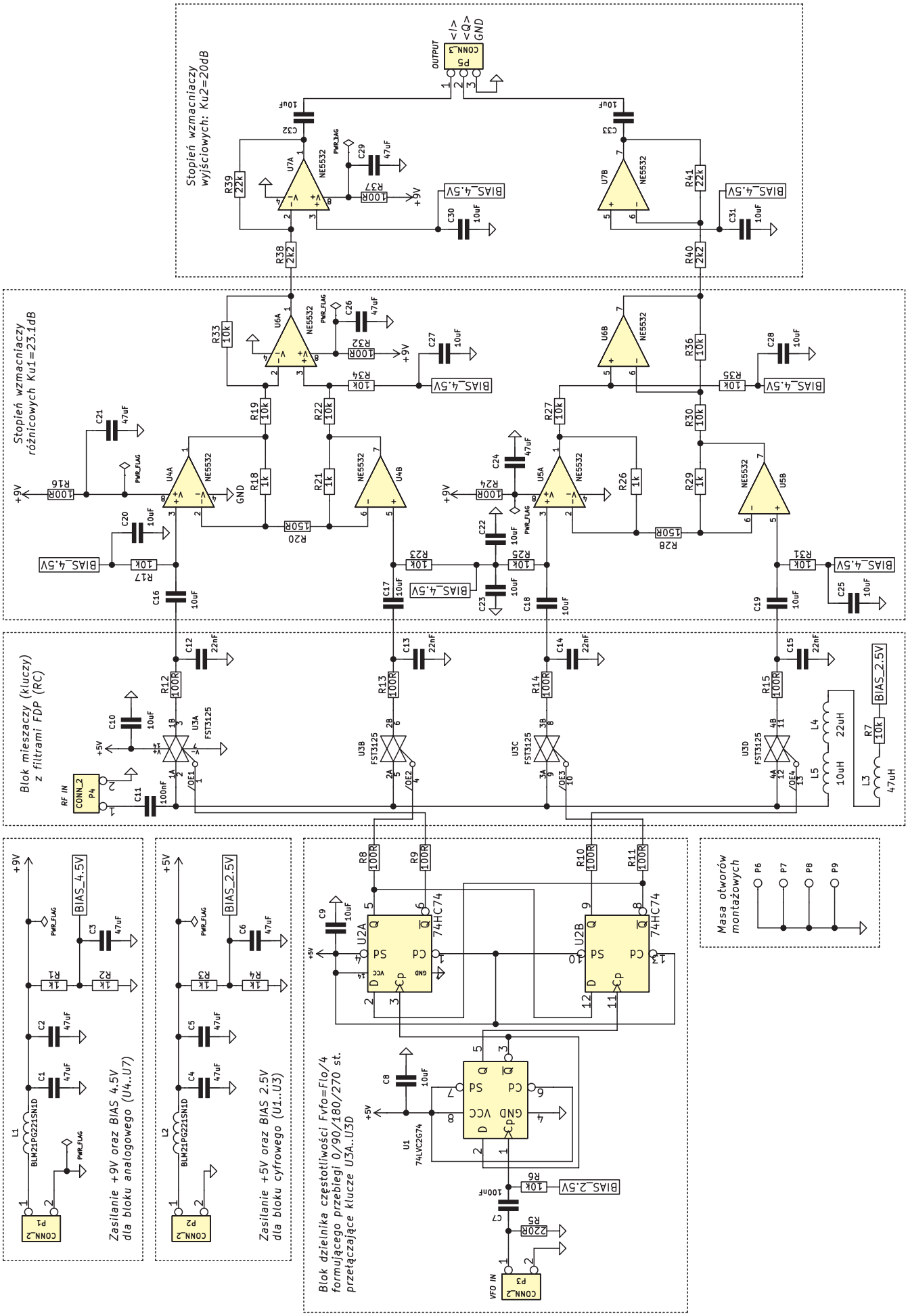


Rysunek 1. Schemat blokowo-montażowy oraz zasada działania odbiornika kwadraturowego SDR I/Q

jak najmniejszymi zniekształceniami amplitudy (szumy i zakłócenia) i fazy (drganie fazy – tzw. *„jitter”*). Przykładowo, jeśli chcemy słuchać pasma HF 80 m w otoczeniu częstotliwości ***Fo=3,700,000Hz***, to na wejście P3 (*„VFO IN”*) odbiornika należy podać sygnał cyfrowy o częstotliwości ***Fvfo=4*Fo=14,8 MHz***. Sygnały kwadraturowe I/Q należy z wyjścia P5 odbiornika podać na wejście stereofoniczne *„AUX”* komputerowej karty dźwiękowej, którą dysponujemy. Sygnały te zawierają się w paśmie podstawowym: od praktycznie 0 Hz do około 45 kHz. Prawidłowe mapowanie sygnałów: synfazowego *„I”* oraz kwadraturowego *„Q”* na kanały wejściowe: prawy *„R”* i lewy *„L”* karty audio nie jest krytyczne i można je z łatwością zamienić w oprogramowaniu komputerowym, używanym do odbioru. Z kolei odebrany monofoniczny sygnał audio m.cz. (z wyjścia karty dźwiękowej) można odsłuchać na słuchawkach podłączonych do komputera, podać na dowolny zestaw nagłośnieniowy audio (np. zintegrowany z monitorem) lub wprowadzić na wejście P2 (*„AUDIO IN”*) opcjonalnego w tym zastosowaniu modułu wzmacniacza m.cz. (**AVT-3194**). Stosując moduł **AVT-3194** należy jednak pamiętać o wstępnym ustawieniu w nim potencjometrem montażowym RV1 właściwej czułości odtwarzania dźwięku.

W prawym dolnym rogu rys. 1 umieszczono schemat logiczny przepływu i przetwarzania sygnałów w pełnym procesie odbioru kwadraturowego ze składowymi I/Q. Odzwierciedla on pracę modułów: aktywnego filtru w.cz. (**AVT-3190**) oraz odbiornika kwadraturowego (**AVT-3199**). Sygnał radiowy z anteny odbiorczej wprowadzony jest przez wzmacniacz niskoszumny (LNA – Low Noise Amplifier) oraz obwody filtrów pasmowo-przepustowych w.cz. (BPF – Band Pass Filter), zlokalizowane fizycznie w module **AVT-3190**. Następnie trafia on na dwa mieszacze odbiorcze, przełączane dwoma sygnałami z generatora lokalnego o tej samej częstotliwości ***Fo***, ale przesunięte względem siebie w fazie o 90 stopni kątowych. Rezultaty obu procesów mieszania są następnie poddawane filtracji dolnoprzepustowej, odcinającej produkty wysokoczęstotliwościowe. Natomiast produkty zlokalizowane w pasmie podstawowym (niskoczęstotliwościowe – *„baseband”*: od 0 Hz do około 45 kHz) trafiają na dwa identyczne niskoszumne wzmacniacze m.cz., których zadaniem jest dostarczenie do dalszych torów przetwarzania składowych: synfazowej *„I”* oraz kwadraturowej *„Q”* o odpowiednio wysokich poziomach sygnałów. Dalej sygnały I/Q są kierowane na porty wejściowe przetworników analogowo-cyfrowych ADC w karcie audio komputera, co odpowiada odebraniu sygnałów elektrycznych I/Q z wyjścia P5 modułu odbiornika **AVT-3199**. Odebrane sygnały I/Q w postaci próbek liczbowych są przetwarzane do postaci pojedynczego sygnału pożądanego wyłącznie na drodze operacji matematycznych, opartych o zastosowanie filtrów cyfrowych FIR (*Finite Impulse Response*) i/lub szybkiej transformaty Fouriera FFT (*Fast Fourier Transformation*), uzupełnionych o zastosowanie transformaty Hilberta (*Hilbert Transformation*). Transformata Hilberta realizuje syntetycznie (na drodze czysto analitycznej – bez zastosowania układów elektrycznych) niezbędną do poprawnego odbioru operację idealnego, szerokopasmowego przesunięcia fazowego sygnałów o 90° kątowych – bez ingerencji w ich widmo amplitudowe. Przetworzony matematycznie sygnał odbierany dalej trafia zwykle na wejście przetwornika cyfrowo-analogowego w karcie audio komputera,

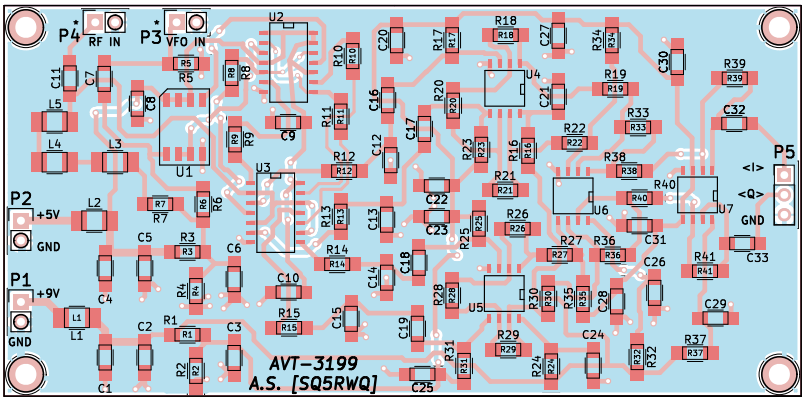
Wykaz elementów:
Moduł odbiornika I/Q (AVT-3199)
Rezystory: (SMD 1206, 1%)
R1...R4, R18, R21, R26, R29: 1 kΩ
R5: 220 Ω
R6, R7, R17, R19, R22...R25, R27, R30, R31, R33...R36: 10 kΩ
R8...R16, R24, R32, R37: 100 Ω
R20, R28: 150 Ω
R38, R40: 2,2 kΩ
R39, R41: 22 kΩ
Kondensatory: (SMD 1206)
C1...C6, C21, C24, C26, C29: 47 μF/16 V
C7, C11: 100 nF
C8...C10, C16...C20, C22....C25, C27, C28, C30...C33: 10 μF
C12...C15: 22 nF
Półprzewodniki:
U1: 74LVC2G74 (SM-8)
U2: 74AC74 (SOIC-14N)
U3: FST3125 (SOIC-14N)
U4, U5, U6, U7: NE5532 (SOIC-8N)
Inne:
L1, L2: BLM21PG221SN1D
L3: 47 μH
L4: 22 μH
L5: 10 μH
P1, P2, P3, P4: złącza „goldpin” męskie (2 piny)
P5: złącze „goldpin” męskie (3 piny)



Rysunek 2. Schemat ideowy modułu odbiorczego SDR I/Q

a następnie na słuchawki lub (opcjonalnie) np. na wejście P2 wzmacniacza **AVT-3194** w odbiorniku *„Dosia”* i wbudowane głośniki.

Na **rysunku 2** pokazano schemat elektryczny modułu odbiornika kwadraturowego I/Q (**AVT-3199**). Na wstępie warto zaznaczyć, że jest to moduł o uniwersalnym zastosowaniu w torze odbiorczym małej częstotliwości praktycznie dowolnego odbiornika radiokomunikacyjnego na pasmo KF – oczywiście, po podaniu odpowiedniego zasilania +5 V/+9 V oraz sygnału przełączającego ***Fvfo***=4·***Fo***. Koncepcję układu w znacznej mierze oparto o dobre rozwiązania układowe, sprawdzone w takich uznanych transceiverech na pasma amatorskie, jak *„Avala”* czy *„Genesis”* (oba wg projektów uznanego serbskiego konstruktora z Belgradu: *Tasić'a Siniša'a "Tasy" YU1LM*), wprowadzając jednak pewne modyfikacje poprawiające istotnie parametry tego odbiornika. Zasilanie napięciem stabilizowanym +9 V podawane jest na port P1 omawianego modułu i filtrowane dławikiem L1 oraz kondensatorami C1 i C2. Natomiast dzielnik R1/R2 z pojemnością C3, blokującą zakłócenia, wytwarza połowę tego napięcia (+4,5 V), przeznaczoną do ustalenia punktów pracy (BIAS) wszystkich zastosowanych w module wzmacniaczy operacyjnych. Analogicznie, na port P2 podawane jest zasilanie +5 V, które przez elementy filtrujące: L2, C4 i C5 podawane jest dalej do zasilania układów cyfrowych oraz na dzielnik oporowy z elementami: R3, R4 i C6, tworzący połowę tego napięcia (+2,5 V), wykorzystywaną do ustalenia punktów pracy: wejścia zegarowego szybkiego przerzutnika *„D”* w układzie U1 oraz wejść kluczy mieszających: U3A...U3D. Wejściowy cyfrowy sygnał zegarowy jest podawany na port P3 układu (*„VFO IN”*), obciążony wewnętrznie rezystorem R5, który ma za zadanie wygaszać oscylacje, jakie mogłyby powstawać w nieobciążonych przewodach doprowadzających przy wyższych częstotliwościach (dla pracy odbiornika w pasmie KF do 30 MHz częstotliwość ***Fvfo*** może przekraczać nawet wartość 4·30=120 MHz). Doprowadzony sygnał taktujący jest następnie zwykle dzielony w dziedzinie częstotliwości przez cztery poprzez parę sprzężonych ze sobą przerzutników *„D”* (rzadziej realizuje się to w oparciu o układ kaskadowych dzielników częstotliwości – jak np. w transceiverach: *„Pilligrim”* czy *„Tulip”*). W tym projekcie rolę tę pełnią układy U2A i U2B, z których wyjść *Q* i */Q* (piny: 5, 6, 9 i 8) pobierane są sygnały w fazach: 0, 90, 180 i 270 stopni kątowych (efekt ten jest uzyskiwany poprzez wzajemne sprzężenia zwrotne: z wyjść *Q* i */Q* jednego przerzutnika na wejście *D* drugiego przerzutnika). Jednak w wielu praktycznych rozwiązaniach przy wyższych częstotliwościach kluczowania występowało pogorszenie jakości uzyskiwanych tą drogą sygnałów



Rysunek 3. Schemat montażowy modułu odbiorczego SDR I/Q

Fotografia 4. Szczegóły montażu modułu odbiornika kwadraturowego I/Q w obudowie „Dosi”

przełączających, skutkujące pogorszeniem zrównoważenia mieszaczy U3A...U3D i, w konsekwencji, znacznym pogorszeniem selektywności odbioru, więc w układzie zastosowano dodatkowe, bardzo skuteczne rozwiązanie zapobiegawcze. Polega ono na wstępnym podziale przez dwa częstotliwości wejściowego sygnału ***Fvfo*** na bardzo szybkim przerzutniku *„D”* (U1 – 74LVC2G74) oraz na podaniu na wejścia zegarowe *CP* właściwych przerzutników formujących U2A/B sygnałów *Q* i */Q* z wyjść układu U1. Zasilanie układów U1 i U2 jest blokowane do masy dla szybkozmiennych zakłóceń pojemnościami: C8 i C9. Uzyskane opisaną metodą cztery różne sygnały taktujące są podawane za pośrednictwem rezystorów R8…R11, blokujących powstawanie oscylacji, na wejścia sterujące */OE1.../OE4* kluczy mieszających U3A...U3D.

We wspomnianych transceiverach wzorcowych jako kluczy analogowo-cyfrowych U3A…U3D użyto układów 74HC4066 lub szybszych 74AC4066. W tym projekcie postanowiono je jednak zastąpić znacznie nowocześniejszymi układami FST3125 – o ponad 10-krotnie mniejszej rezystancji załączonego klucza, bliskiemu zeru czasowi przejścia sygnału przez załączony klucz (***Tp***<0,25 ns) oraz o znikomym opóźnieniom propagacji dla załączania i wyłączania kluczy (rzędu pojedynczych nanosekund). Ogromne znaczenie ma tutaj niska rezystancja własna załączonych kluczy (***Ron***<4 W), ponieważ wszelkie jej nieliniowości, mogące powodować powstawanie ewentualnych zniekształceń nieliniowych i intermodulacyjnych, znacznie łatwiej jest skompensować liniowymi rezystancjami szeregowymi (w tym projekcie zastosowano oporniki R12...R15 o wartościach 100 W) o takich samych wartościach. Jakkolwiek, nadmierne zwiększanie ich wartości nie jest korzystne dla parametrów szumowych i dynamicznych

odbiornika. Zespół czterech kluczy mieszających jest polaryzowany (BIAS) napięciem stałym 2,5 V poprzez szeregowe połączenie rezystora R7 i dławików L3...L5 o różnych indukcyjnościach. Zabieg ten miał na celu wyeliminowanie negatywnych skutków przenikania przez dławiki wyższych częstotliwości po przekroczeniu wartości częstotliwości własnych rezonansów równoległych S.R.F. (*Self Resonance Frequency*). To samo napięcie BIAS jest podawane także na wejście zegarowe przerzutnika U1 (przez rezystor R6) w celu poprawy warunków jego pracy przy jednoczesnym odcięciu składowej stałej sygnału *„VFO IN”* za pomocą pojemności C7. Natomiast sygnał radiowy *„RF IN”*, który ma zostać poddany szerokopasmowej demodulacji kwadraturowej, z portu P4 przez pojemność sprzęgającą C11 trafia równolegle na wejścia wszystkich czterech kluczy U3A...U3D. Z wyjść bramek transmisyjnych, kluczowanych przebiegami cyfrowymi o fazach: 0, 90, 180 i 270 st., sygnał radiowy trafia na wspomniane rezystancje linearyzujące R12...R15, które wraz z pojemnościami C12...C15 tworzą proste dolnoprzepustowe filtry RC. Filtry te znakomicie spisują się w roli eliminatorów składowych w.cz. Częstotliwość graniczna tych filtrów wynosi około ***Fd***=47 kHz, a na jej wartość, oprócz równych rezystancji R12...R15 i pojemności C12...C15 mają wpływ także rezystancje szeregowe: kluczy (4 W) oraz źródła sygnału radiowego (50 W). I tak otrzymujemy dokładnie:

$$Fd=1/[2\cdot P\cdot(100\ W+4\ W+50\ W)\cdot 22\ nF]=46{,}98\ kHz \quad (1)$$

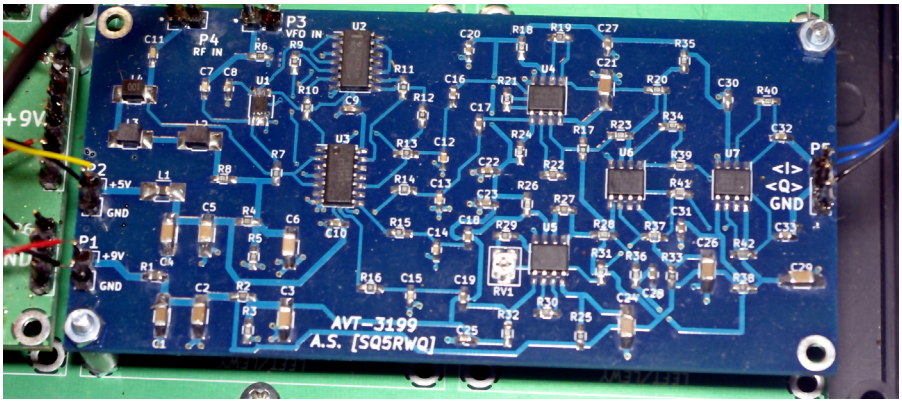
Z tak ukształtowanych w mieszaczach i odfiltrowanych dolnoprzepustowo dwóch par sygnałów, w celu uzyskania pary sygnałów kwadraturowych I/Q, należy wyeliminować składowe wspólne i wyprowadzić ich różnice, a następnie odpowiednio wzmocnić słabe sygnały o poziomach zbliżonych do poziomów odbieranych sygnałów radiowych. Zysk przemiany jest bowiem tutaj zbliżony do jedności, czyli 0 dB. Zadanie to realizują dwa bliźniacze bloki wzmacniaczy różnicowych, skonfigurowanych do pracy z wejściami różnicowymi (symetrycznymi) i asymetrycznym wyjściem. Są to układy parametryczne, o bardzo wysokiej impedancji wejściowej, charakterystyczne dla zastosowań pomiarowych. Na ich wejścia sygnały wprowadzane są poprzez pojemności sprzęgające: C16...C19. Obróbkę składowej synfazowej *„I”* realizują wzmacniacze operacyjne U4A/U4B/U6A wraz z rezystorami R18...R22, R33 i R34, ustalającymi wzmocnienie tego podukładu, które wynosi:

$$Ku1=-[1+2\cdot(R18/R20)]\cdot(R33/R19)=-14{,}33x \quad (2)$$

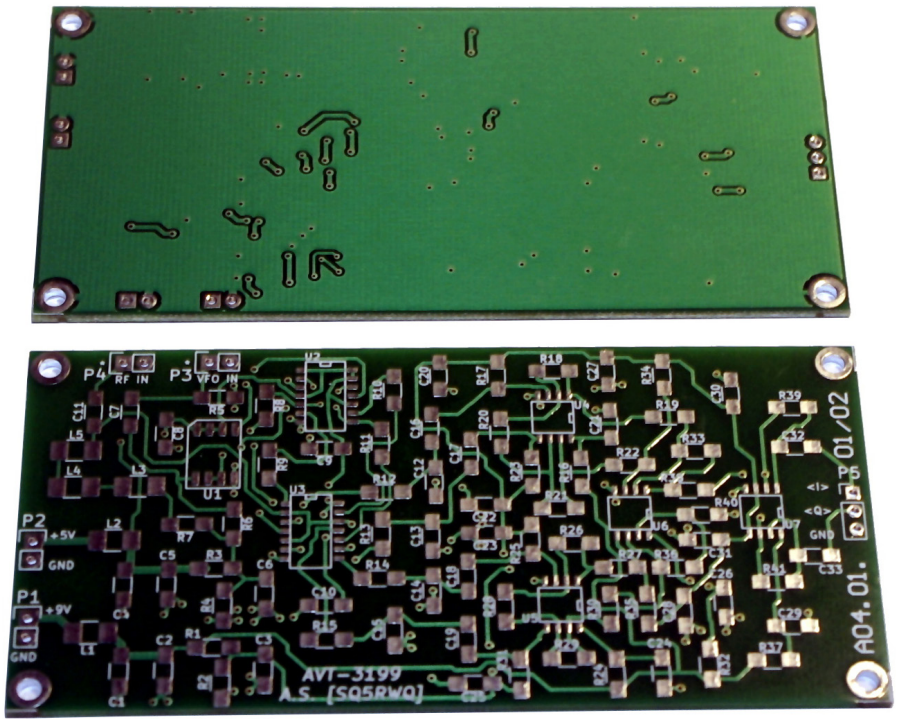
czyli około ***Ku1***=23,13dB, przy czym zależność (2) jest słuszna tylko dla symetrycznej konfiguracji układowej, tzn. przy zachowaniu równości wartości par elementów: R18=R21, R19=R22 i R33=R34. Jako wzmacniacze operacyjne wykorzystano popularne od lat i niedrogie, niskoszumne wzmacniacze operacyjne NE5532. Można w to miejsce zastosować wzmacniacze operacyjne takie, jak TL072 (czy nawet TL082), jednak nie będzie to znacząca oszczędność, a należy spodziewać się znacznego pogorszenia czułości minimalnej odbiornika – z uwagi na wzrost szumów własnych. Można także próbować użyć nieco bardziej niskoszumnych (lepszych), ale też i znacznie droższych wzmacniaczy operacyjnych (jak np. LM4562), co powinno obniżyć próg czułości oraz rozszerzyć zakres dynamiczny odbioru o około 6 dB. Analogiczne do opisanych powyżej funkcji wzmacniających w torze synfazowym *„I”*, dla składowej kwadraturowej *„Q”* pełni je blok z elementami: U5A/U5B/U6B oraz R26...R30, R35 i R36. Za blokami wzmacniaczy różnicowych zlokalizowano wyjściową parę wzmacniaczy napięciowych (z elementami: U7A/U7B, R38/R39 oraz R40/R41) o wzmocnieniach:

$$Ku2=-R39/R38=-R41/R40=-10{,}0x \quad (3)$$

czyli 20 dB, której zadaniem jest zapewnienie odpowiedniego poziomu dla najsłabszych sygnałów odbieranych przy zachowaniu korzystnych własności szumowych i minimalnych zniekształceń nieliniowych. Wzmocnione

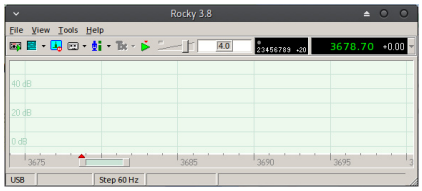


Fotografia 5. Uruchomiony odbiornik kwadraturowy I/Q (widok z lewej strony obudowy)

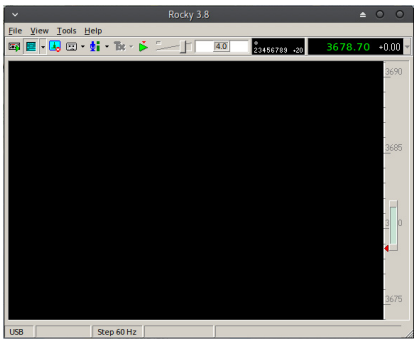


Fotografia 6. Płytka drukowana odbiornika kwadraturowego I/Q wg docelowego projektu (tylko duże elementy SMD)

REKLAMA



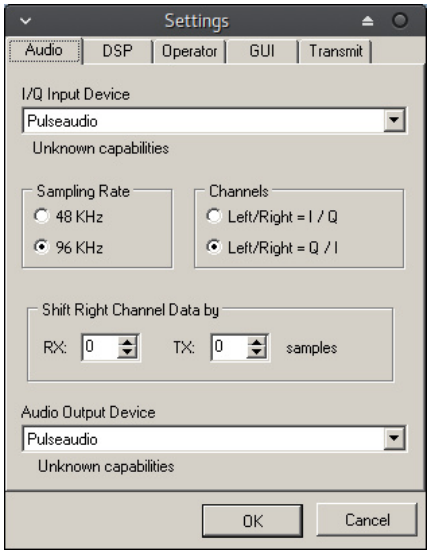
Fotografia 7. Główne okno programu „Rocky" (widok analizatora widma – spektrogramu)



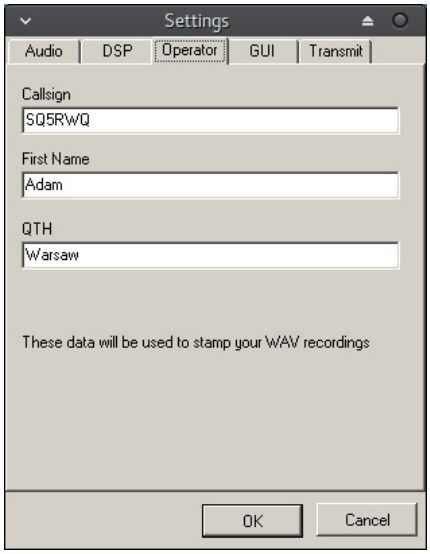
Fotografia 8. Główne okno programu „Rocky" (widok „waterfall'u" – wodospadu)

sygnały kwadraturowe I/Q są wyprowadzane na wyjście P5 poprzez szeregowe pojemności sprzęgające C32 i C33. Rezystory R16, R24, R32 i R37 wraz z pojemnościami C21, C24, C26 i C29 pełnią funkcję separatorów zakłóceń w obwodach zasilających wzmacniaczy operacyjnych, pracujących w układach U4... U7, natomiast oporniki: R17, R23, R25, R31, R34 i R35 oraz pojemności C20, C22, C23, C25, C27, C28, C30 i C31 zapewniają doprowadzenie napięcia 4,5 V (BIAS), ustalającego punkty pracy wzmacniaczy operacyjnych. Rezystory R34 i R35 pełnią podwójną rolę, ponieważ ich wartości mają wpływ także na wzmocnienie i symetrię pracy drugich stopni różnicowych.

Kluczowymi parametrami opisanego modułu odbiorczego są: pasmo odbieranych sygnałów ***B*** [Hz], czułość ***Smin*** [dBu] przy ***SINAD***=6 dB oraz dynamika ***A=Smax--Smin*** [dB], gdzie ***Smax*** jest maksymalnym poziomem sygnału radiowego, który zostanie przeniesiony bez przesterowania (w omawianym odbiorniku zjawisko to wystąpi dość wyraźnie po przekroczeniu określonego progu wartości sygnału ***S***). Pasmo odbieranych sygnałów ***B*** można oszacować jako dwukrotność pasma przenoszenia każdego z kanałów I/Q z osobna, wyznaczoną równaniem (1). W tym przypadku byłoby to więc około B=2·47=94 kHz. Należy jednak mieć na uwadze to, że znacznie „twardsze ograniczenie" wprowadza częstotliwość próbkowania zastosowanej karty audio, która zgodnie z twierdzeniem Nyquist'a (o częstotliwości próbkowania sygnałów ciągłych) nie powinna być mniejsza, niż 2× górna częstotliwość graniczna widma sygnału próbkowanego. W praktyce oznacza to, że zastosowana do próbkowania obu kanałów I/Q karta dźwiękowa powinna mieć możliwość próbkowania ze standardową częstotliwością

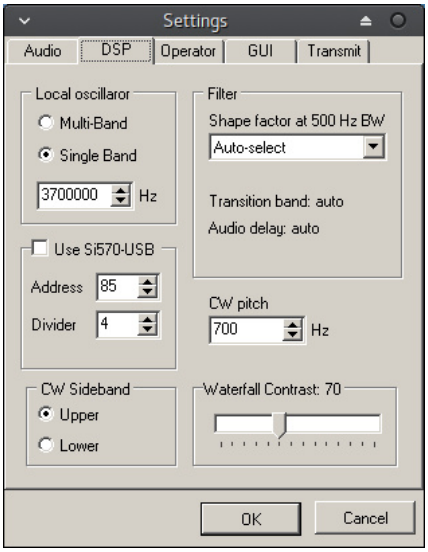


Fotografia 9. Program „Rocky" – zakładka ustawień audio

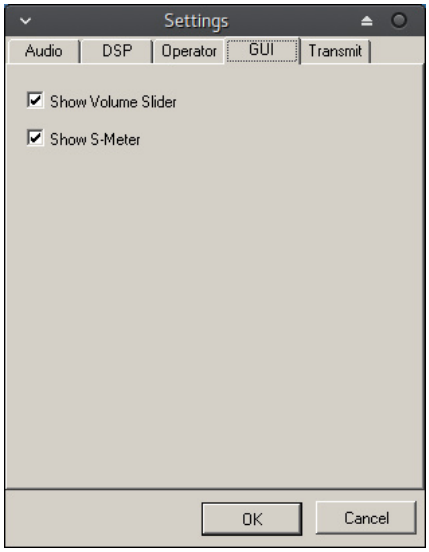


Fotografia 11. Program „Rocky" – zakładka ustawień operatora

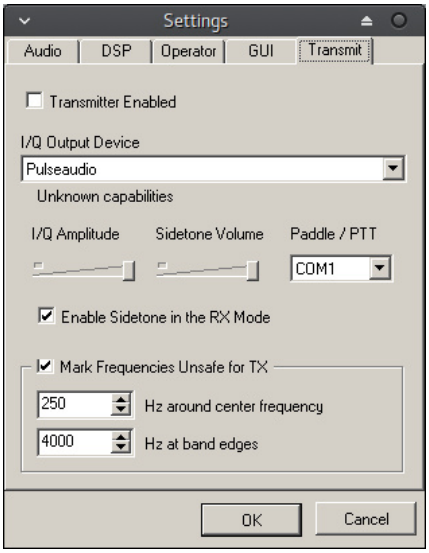
co najmniej ***Fs***=96 kHz, a najlepiej dwa razy więcej, czyli ***Fs***=192 kHz (dwukrotny oversampling). Oczywiście, wejścia przetworników analogowo-cyfrowych ADC w karcie dźwiękowej powinny być poprzedzone odpowiednimi dolnoprzepustowymi filtrami anty-aliasing'owymi o częstotliwościach granicznych nie wyższych, niż właśnie ***Fs***/2. Czułość odbiornika ***Smin*** zależy przede wszystkim od poziomu szumów własnych wzmacniaczy operacyjnych w pierwszych różnicowych stopniach wzmacniających ze wzmacniaczami: U4A/U4B oraz U5A/U5B. Dla wzmacniaczy operacyjnych NE5532 widmowa gęstość szumu w okolicach ***F***=1 kHz wynosi 5 nV/*sqrt*(Hz). Dla pasma sygnału audio SSB o szerokości około 2,5 kHz napięcie własne szumów wyniosło by zatem 5 nV·50=250 nV. Natomiast dla poszerzonego nieco stosownym filtrem odbiorczym pasma sygnałów CW (i podobnych wąskopasmowych – jak np. PSK31 czy RTTY), równego 400 Hz, uzyskujemy szumy pojedynczego wzmacniacza rzędu 5 nV·20=100 nV. Należy jednak uwzględnić sumowanie się mocy nieskorelowanych szumów własnych czterech wzmacniaczy operacyjnych U4A/U4B/U5A/U5B, co oznacza zwiększenie wyliczonych poziomów szumów dwa razy po 3dB, czyli łącznie 6 dB. Po uwzględnieniu wymaganego stosunku sygnału do szumów ***SINAD***=6 dB uzyskujemy finalnie czułości: ***Smin(ssb)***=1 μV oraz ***Smin(cw)***=0,4 μV przy zastosowaniu jako U4 i U5 układów NE5532 oraz ***Smin(ssb)***=0,5 μV i ***Smin(cw)***=0,2 μV przy użyciu kostek LM4562. Górną granicę dla przetwarzania niezniekształconych sygnałów radiowych praktycznie wyznacza niezniekształcony zakres napięć wyjściowych stopni końcowych ze wzmacniaczami U7A i U7B, który dla kości NE5532 można bezpiecznie oszacować jako ***Vdd***–2–2 V=5 Vp-p (zgodnie z kartą katalogową, przyjęto marginesy bezpieczeństwa po 2 V od strony każdej z szyn zasilania). Dla wzmocnienia całego toru przetwarzania równego:



Fotografia 10. Program „Rocky" – zakładka ustawień DSP



Fotografia 12. Program „Rocky" – zakładka ustawień GUI



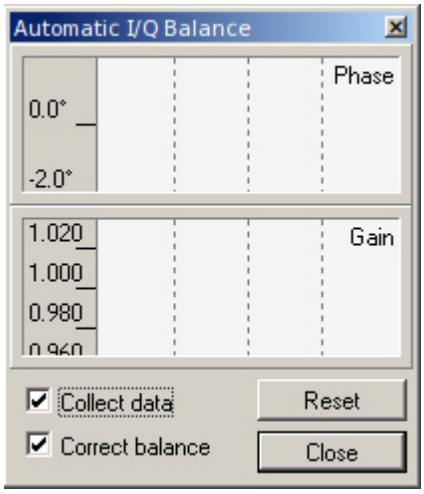
Fotografia 13. Program „Rocky” – zakładka ustawień nadawania (Tx mode)

Ku=Ku1·Ku2=14,33·10,0=143,3x (4)
czyli około 43,1dB, uzyskujemy zatem:
Smax=5 Vp-p/143,3=34,9 mVp-p (5)
co odpowiada ***Smax'***=12,3 mVsk skutecznego napięcia sinusoidalnego. Tak więc dla ***SINAD***=6 dB i wzmacniaczy wstępnych na układach NE5532 uzyskujemy dynamikę ***A(ssb)=Smax'/Smin(ssb)***=81,8 dB oraz ***A(cw)=Smax'/Smin(cw)***=89,8 dB (dla kostki LM4562 wartości te będą większe o wspomniane wcześniej około 6 dB). Jak nietrudno zauważyć, chociaż wyznaczone wartości dopuszczalnych zakresów dynamicznych ***A*** dość znacznie przekraczają zakres podstawowej skali logarytmicznej *„S”* (przedział od 0 do 9 jednostek *„S”*, to około 54,2 dB), to jednak w przypadku odbioru bardzo mocnych sygnałów konieczne może okazać się użycie ręcznego tłumika *„RF GAIN”*, w który został wyposażony moduł filtrów w.cz. **AVT-3190**. Na koniec należy zaznaczyć, że aby uzyskać zadowalającą jakość odbioru dla prawdziwie szerokiego zakresu poziomów sygnałów odbieranych, należy użyć karty dźwiękowej nie tylko o odpowiednio wysokiej częstotliwości próbkowania ***Fs***, ale także o odpowiednio dużej rozdzielczości zastosowanych wejściowych przetworników analogowo-cyfrowych ADC. Jeden bit rozdzielczości ADC, to około 6 dB zakresu dynamiki. Szacunkowo, przyjmując (niewygórowaną) dynamikę modułu odbiornika I/Q rzędu 90 dB, rezerwując kolejne około 40 dB na zakres poziomów interesującego nas odbieranego sygnału audio oraz około 20 dB marginesu na obniżenie rzeczywistego zakresu dokładnego przetwarzania przez ADC, potrzebujemy łącznie co najmniej około 150 dB dynamiki przetworników ADC, czyli 150/6=25 bitów. Prosty wniosek jest więc taki, że zwykła karta audio z przetwornikami 16-bitowymi nie sprawdzi się dobrze w tym zastosowaniu, a sensowna praca z modułem odbiornika kwadraturowego zaczyna się przy użyciu przetworników 24-bitowych (idealnie: 32-bitowych).

Montaż, uruchomienie i współpracujące oprogramowanie

Na **rysunku 3** pokazano schemat montażowy płytki drukowanej omówionego w tym artykule modułu. Natomiast fotografie przybliżają szczegóły montażu urządzenia. Realizujemy go standardowo, tzn. rozpoczynając od elementów najniższych i stopniowo montując coraz to wyższe komponenty. W uruchomionym prototypie zastosowano nieco inne (mniejsze) elementy SMD, jednak docelowa płytka drukowana, dostępna w sprzedaży w sieci AVT (obie strony pokazane na **fotografiach 4…6**) jest przystosowana do wygodnego montażu możliwie największych dostępnych elementów (celowo zastosowano ich dość rzadkie upakowanie). Szczególną ostrożność i staranność warto zachować przy lutowaniu wszystkich układów scalonych. W następnej kolejności montujemy elementy bierne R/L/C, na koniec zostawiając złącza „goldpin” P1...P5. Podłączenie i uruchomienie realizujemy zgodnie ze wskazówkami podanymi w pierwszej części artykułu.

Prawidłowo zmontowany i podłączony układ odbiornika **AVT-3199** nie wymaga strojenia, a wszystkie czynności regulacyjne należy wykonać w oprogramowaniu do obsługi urządzeń SDR, którego zamierzamy użyć. Dostępność darmowych programów jest bardzo duża i mają one ogromne palety dostępnych funkcji, dlatego ta tematyka zostanie tu omówiona tylko skrótowo. Wspomnieć można takie środowiska, jak: ***PowerSDR*** (***http://bit.ly/2Il8j48***, ***http://bit.ly/2IoiLbc***, ***http://bit.ly/2GsTL5R***, ***http://bit.ly/2GH98XR***, ***http://bit.ly/2GLJ3Xy***), ***GQRX*** (***http://bit.ly/2pTKrwO***), ***Rocky*** czy (dla bardziej zaawansowanych użytkowników) rozwiązania oparte o tzw. ***GNU Radio*** (***http://bit.ly/2GtlK18***, ***http://bit.ly/2q1BC59***, ***http://bit.ly/2pVimpz***, ***http://bit.ly/2GJyDHP***). Na potrzeby wprowadzenia czytelnika w świat odbiorników SDR I/Q proponujemy wykorzystać względnie prosty i bardzo popularny program ***Rocky***. **Fotografie 7 i 8** przedstawiają główne okno programu w alternatywnych trybach: spektrogramu i tzw. „wodospadu” (*waterfall*), natomiast **fotografie 9 do 13** przybliżają kolejne zakładki okna ustawień podstawowych programu. Są to kolejno ustawienia: audio, DSP, danych operatora, interfejsu użytkownika (GUI) oraz pracy z nadajnikiem. Ostatnie dwie **fotografie 14 i 15** ujmują okna narzędziowe programowego równoważenia (kompensacji) składowych I/Q w trybie odbioru oraz nadawania (ten ostatni tryb nie dotyczy oczywiście pracy z samym odbiornikiem). Program instalacyjny i szczegółowa instrukcja obsługi programu ***Rocky*** dostępna jest pod adresem: ***http://bit.ly/2GvkiLJ***, natomiast informacje



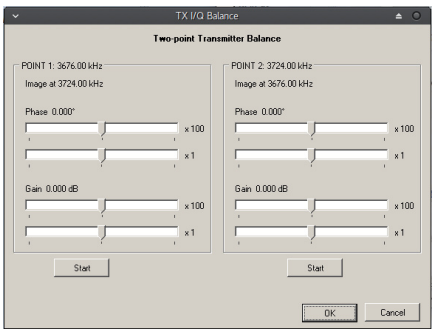
Fotografia 14. Program „Rocky” – okno kalibracji balansu torów I/Q (tryb odbioru – Rx mode)

dla bardziej zainteresowanych czytelników można zdobyć tutaj: ***http://bit.ly/2EbSo5I***. Wykorzystując dowolny ze wskazanych (lub jeszcze inny) program należy pamiętać o możliwości dodatkowego stłumienia zbyt silnych sygnałów odbierancyh za pomocą pokrętła *„RF GAIN”* w module filtrów wejściowych w.cz. **AVT-3190**.

Podsumowanie

W tej części publikacji o odbiorniku nasłuchowym *„Dosia”* zaprezentowano moduł odbiornika kwadraturowego I/Q (**AVT-3199**), przeznaczonego do pracy wg modelu i z oprogramowaniem SDR (*Software Defined Radio*). Z uwagi na zastosowane w projekcie dobre rozwiązania techniczne, możliwe jest uzyskanie realnej czułości odbioru rzędu 0,2 μV i lepszej, co należy uznać za rezultat godny uwagi. Opisany moduł można z powodzeniem wykorzystać w innych konstrukcjach urządzeń SDR. Jako kolejne zostaną zaprezentowane moduły: dwupasmowego generatora VFO **AVT-3195**, miernika poziomu odbieranego sygnału (S-metra) **AVT-3197** oraz wspólnego bloku kontrolno-sterującego **AVT-3198** wraz z dedykowanym panelem czołowym.

Adam Sobczyk SQ5RWQ
sq5rwq@gmail.com
http://sq5rwq.pl



Fotografia 15. Program „Rocky” – okno kalibracji balansu torów I/Q (tryb nadawania – Tx mode)