

Waldemar Sznajder 3Z6AEF

tinyAAT - Automatyczny Tuner Antenowy QRP

Zgłoszenie do konkursu PUK-2011

Data zgłoszenia: 13.08.2011

Nazwa projektu

Automatyczny tuner antenowy QRP.

Opis

Tuner antenowy pracujący w trybie półautomatycznym i automatycznym, przeznaczony dla urządzeń QRP o mocy nadajnika do 15W, głównie w czasie wypraw i aktywności terenowych (SOTA, wyprawy zamkowe, itp).

Uwagi

Konstrukcja optymalizowana dla określonego zastosowania - wypraw terenowych z urządzeniem QRP. Stąd małe wymiary (ok 10x12 cm), znikomy pobór prądu z akumulatora (max. 10 mA), maksymalne uproszczenie obsługi.

Motto

I build them to prove that I existed...

M. A. Erickson, KK5DR

Spis treści

1. Automatyczne Tunery Antenowe.....	5
Czy tunery antenowe są potrzebne?	5
Rozwiązania układowe AAT.....	6
Algorytmy strojenia.....	11
2. Przegląd niektórych konstrukcji AAT QRP.....	13
Konstrukcje fabryczne.....	13
LDG AT11-QRP.....	13
LDG Z11.....	14
KXAT1 Elecraft.....	16
T1 AAT Elecraft.....	16
Konstrukcje amatorskie.....	18
Tuner antenowy QRP DL5MGD.....	18
Moduł tunera antenowego QRP w Pocket TRX UT4UHC.....	20
Tuner easyATU SP-HM Group.....	21
3. Założenia projektu tinyAAT QRP.....	23
Założenia projektowe.....	23
Wybór układu.....	23
Wybór elementów.....	23
4. Opis konstrukcji tinyAAT QRP.....	28
Schemat ideowy.....	28
Płytki drukowane.....	29
Konstrukcja mechaniczna.....	32
Oprogramowanie.....	33
5. Montaż i uruchomienie tinyAAT QRP.....	35
Potrzebne narzędzia, materiały i przyrządy.....	35
Lista elementów.....	35
Montaż.....	36
Programowanie mikroprocesora.....	40
Uruchamianie, strojenie, testy.....	40
6. Obsługa tinyAAT QRP.....	41
Parametry techniczne.....	41
Zasady bezpieczeństwa.....	41
Użytkowanie i obsługa.....	42
7. Modyfikacje i uzupełnienia.....	43
8. Dodatki.....	45
A. Schematy ideowe tunerów antenowych QRP.....	45
B. Karty katalogowe.....	53
9. Literatura.....	57
10. Odnośniki do stron internetowych.....	58
Zastrzeżenia.....	59

1. Automatyczne Tunery Antenowe

Tunery antenowe - półautomatyczne i automatyczne - zarówno wewnętrzne, zewnętrzne, jak i zdalne, dawniej spotykane tylko w zastosowaniach militarnych i profesjonalnych, są obecnie powszechnie używane przez amatorów, jako element uzupełniający wyposażenia radiostacji. Również urządzenia QRP są wyposażane w elementy dostrajania anten. Szczególnie przydatne są automatyczne tuneranty antenowe w czasie wypraw i aktywności w terenie, kiedy pożądana jest szybkość i wygoda obsługi, a jednocześnie wymagane są cechy ułatwiające tego typu zastosowania, tzn. małe wymiary i waga, niski pobór mocy zasilania.

Jakkolwiek na rynku istnieją rozwiązania komercyjne (pół)automatycznych tunerów antenowych przeznaczonych do pracy QRP, to są one dosyć drogie. Jednocześnie pasjonaci pracy małymi mocami w terenie zgłaszały od pewnego czasu potrzebę opracowania amatorskiej konstrukcji takiego urządzenia, które spełniałoby ich wymagania.

Mając przedyskutowane na **Forum Grupy SP-HM** niektóre aspekty konstrukcji tunera antenowego oraz zebrane pewne doświadczenia w budowie zewnętrznej, zdalnej skrzynki antenowej **easyATU-HMG**, zdecydowano o wykonaniu kolejnego kroku, tzn. projekcie i realizacji wersji QRP tunera, wyposażonego w algorytmy automatycznego strojenia. Projekt został nazwany **tinyAAT QRP** i zgłoszony do konkursu **PUK-2011**.

Niniejsze opracowanie opisuje projekt i konstrukcję oraz wykonanie prototypów (pół)automatycznego tunera antenowego tinyAAT QRP.

Czy tuneranty antenowe są potrzebne?

W zakresach amatorskich pasm krótkofalowych rezystancje typowych anten mogą zmieniać się w granicach od 3 do 2000 omów, natomiast składowa reaktancyjna w granicach od -2500 do 500 omów, przy dobroci Q dochodzącej do 500. Anteny te dołączane są linią transmisyjną do wyjścia nadajnika, którego typową impedancję jest 50 omów. Istnieje zatem potrzeba dopasowania obu urządzeń. Oczywiście najlepiej jest, jeśli na każdym paśmie używa się osobnej, odpowiednio dobranej anteny, ale taka sytuacja nie jest zbyt powszechna, a już zupełnie utrudniona - czy wręcz niemożliwa - w czasie pracy terenowej, gdzie zwykle używa się jednej, kompromisowej anteny na kilku pasmach.

Automatyczne tuneranty antenowe **AAT** (ang. *Antenna Auto-Tuner; Automatic Antenna Tuner*) stosuje się tam, gdzie konieczne jest uzyskanie dopasowania i potem automatyczne (bez udziału operatora) utrzymanie go, przy zmieniających się warunkach: częstotliwości pracy i impedancji obciążenia nadajnika.

Tunery półautomatyczne nie śledzą na bieżąco zmieniających się warunków, tylko przeprowadzają proces strojenia na żądanie (po naciśnięciu przycisku przez operatora lub wyzwoleniu zdalną komendą).

Umiejscowienie tunera może być trojakie:

1. wewnątrz nadajnika lub TRX-a (jako moduł wewnętrzny)
2. jako moduł zewnętrzny, blisko nadajnika
3. jako zdalny moduł zewnętrzny, przy antenie

Dwa pierwsze przypadki w zasadzie się nie różnią i mogą być traktowane w przybliżeniu jednakowo, jeśli linia transmisyjna łącząca nadajnik z tunerem jest krótka. Takie

umiejscowienie tunera powoduje, że do impedancji nadajnika dopasowywana jest impedancja układu linia/antena. Jeśli przed zastosowaniem tunera było niedopasowanie (objawiające się fala stojącą w linii, czego miarą był wysoki SWR), to po zastosowaniu tunera dalej będzie istniało to niedopasowanie, tylko że teraz za tunerem. Nadajnik zaś będzie „widział” impedancję zbliżoną do 50 omów.

Lepszym umiejscowieniem tunera automatycznego jest takie, jak w przypadku 3. powyżej. Wtedy w linii nie będzie fali stojącej, zaś tuner staje się niejako elementem anteny (podobnie jak cewki wydłużające skróconych fizycznie anten).

I jeszcze jedna uwaga: tunery *nie służą* do zmniejszania SWR w linii! Podobnie jak błędne jest twierdzenie, że nadajnik może się uszkodzić z powodu wysokiego SWR. Albowiem współczynnik fali stojącej (SWR) jest jedynie *miarą* pewnego zjawiska fizycznego. Natomiast nadajnik może się uszkodzić w wyniku wydzielania dużej ilości ciepła, spowodowanego dużym obciążeniem prądowno-napięciowym wynikającym z niedopasowania i dużej składowej reaktancyjnej obciążenia. A tuner może to niedopasowanie zmniejszyć...

Rozwiązania układowe AAT

Rozwiązania układowe stosowane w (pół)automatycznych tunerach antenowych dotyczą: układu sterującego, układu wykonawczego i układów pomiarowych.

Jako **układ sterujący** powszechnie stosuje się obecnie mikroprocesory jednoukładowe (mikrokontrolery) różnych firm, wyposażone w bufory prądowno-napięciowe oraz ewentualnie w rejstry/bramy rozszerzające ilość linii we/wy. Podstawowy układ często uzupełniany jest w możliwość *zdalnego sterowania*: stąd dodatkowe linie transmisyjne (np. RS485, RS232), rozpoznawanie komend CAT bądź proste sterowanie przewodowe: np. linie kodujące pasmo (kod BCD/binarny lub kod napięciowy), linia wyzwalania strojenia, linia sygnału logicznego zakończenia strojenia.

Najczęściej **układ wykonawczy** realizowany jest jako niesymetryczna bądź symetryczna sieć LC w konfiguracji T, Π oraz w konfiguracji L z pojemnością przełączną na początek (strona TX) lub koniec (strona anteny) indukcyjności (cewki lub zespołu cewek). W tunerach dużej mocy spotyka się rozwiązania z wykorzystaniem silników (krokowych lub ciągłych), które mechanicznie umożliwiają przestrajanie L i C (zob. wbudowane tunery w urządzeniach fabrycznych, jak np. TS450S/AT albo amatorskich: **EZ-Tuner W8ZR**).

Najlepszą konfiguracją dopasowującą jest konfiguracja Π (filtr dolnoprzepustowy). Jednak ze względów praktycznych w większości popularnych tunerów antenowych (pół)automatycznych najczęściej używana jest konfiguracja L (mimo klonieczności przełączania sieci C, jest prostsza w realizacji i tańsza). Jest ona równoważna konfiguracji Π, z jedną gałęzią C=0. Wykazuje przy tym szereg zalet w porównaniu z konfiguracją T, m.in. szerszy zakres dopasowania, mniejsze przepięcia (zob. [...]]).

Szeroki przegląd spotykanych konfiguracji układu wykonawczego przedstawił David Knight **G3YNH** na swojej stronie internetowej (zob. poz [...] Odnośników).

Konfiguracja T sprawdza się doskonale, jeśli SWR systemu nie przekracza 3:1 lub mniej. Natomiast konfiguracja Π lub L, szczególnie jeśli jest montowana przy antenie, jest bardzo dobra do dostrajania nierezonansowych anten drutowych (ang. *random-length wire*) lub anten pionowych, praktycznie w całym zakresie krótkofalowym. Należy przy tym unikać

dokładnie półfalowych długości anten. Najlepiej, jeśli będą to nieparzyste wielokrotności $\lambda/8$ np. $3/8$ -fali, $5/8$ -fali, $7/8$ -fali,... Praktycznym „bezpiecznym” ograniczeniem są długości mniejsze niż 0.4λ albo większe niż 0.6λ oraz ich nieparzyste wielokrotności.

Wymóg unikania długości półfowej anten drutowych podawany jest praktycznie przez wszystkich producentów tunerów automatycznych. Spowodowane jest to tym, że taka antena, zasilana z jednego końca, przedstawia bardzo dużą impedancję, poza użytecznym zakresem dostrajania tunera. Tuner „widzi” bowiem ją, jako rozwarcie (brak anteny), co powoduje powstawanie wysokich napięć na kondensatorach i cewkach sieci LC. Napięcia te mogą przekroczyć dopuszczalne wartości i doprowadzić do uszkodzenia elementów.

W tunerach QRP, dla minimalizacji poboru prądu zasilania sieć LC przełączana jest przekaźnikami bistabilnymi jedno- lub dwucewkowymi, choć spotyka się ekonomiczne rozwiązania z wykorzystaniem zwykłych monostabilnych przekaźników sygnałowych, stosowanych w automatyce przemysłowej.

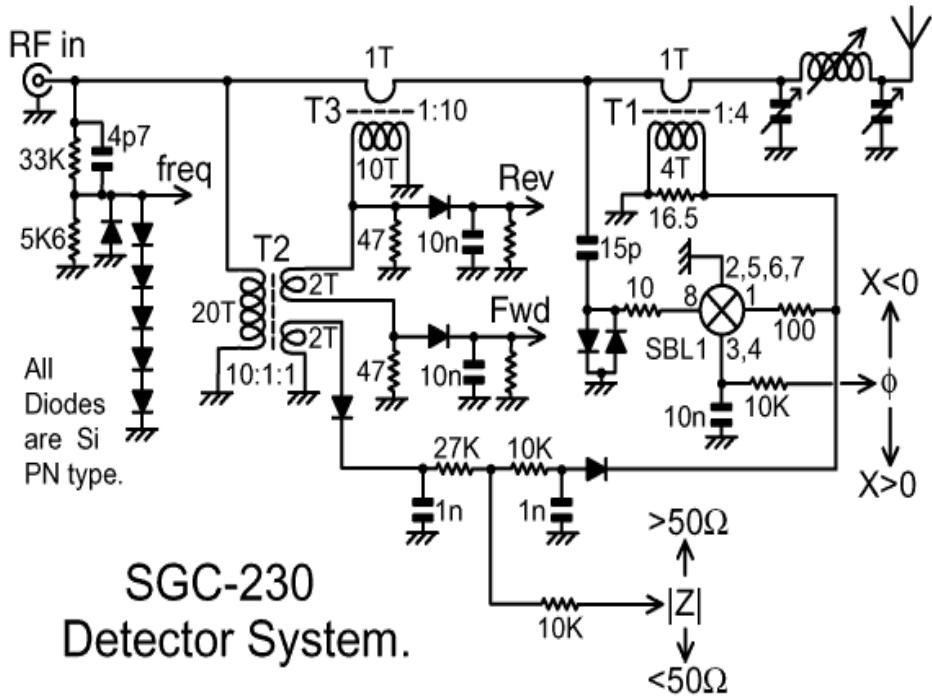
Indukcyjności w tunerach antenowych to cewki powietrzne oraz cewki na proszkowych rdzeniach toroidalnych (materiał 2 i 6), zaś kondensatory - mikowe lub ceramiczne z materiału C0G (NP0), a w tańszych modelach nawet X7R czy Y5V.

Układy pomiarowe w zaawansowanych (czyt. *droższych*) tunerach antenowych potrafią być bardzo rozbudowane, aczkolwiek w wersji minimalistycznej do wyznaczania wartości elementów L/C układu dostrajania, wystarczyłby jedynie pomiar napięcia fali odbitej V_{REV} . Wszystkie inne pomiary dodatkowych parametrów, ułatwiają bądź przyspieszają dostrojenie - przy zaawansowanym algorytmie można uzyskać naprawdę bardzo dobre efekty!

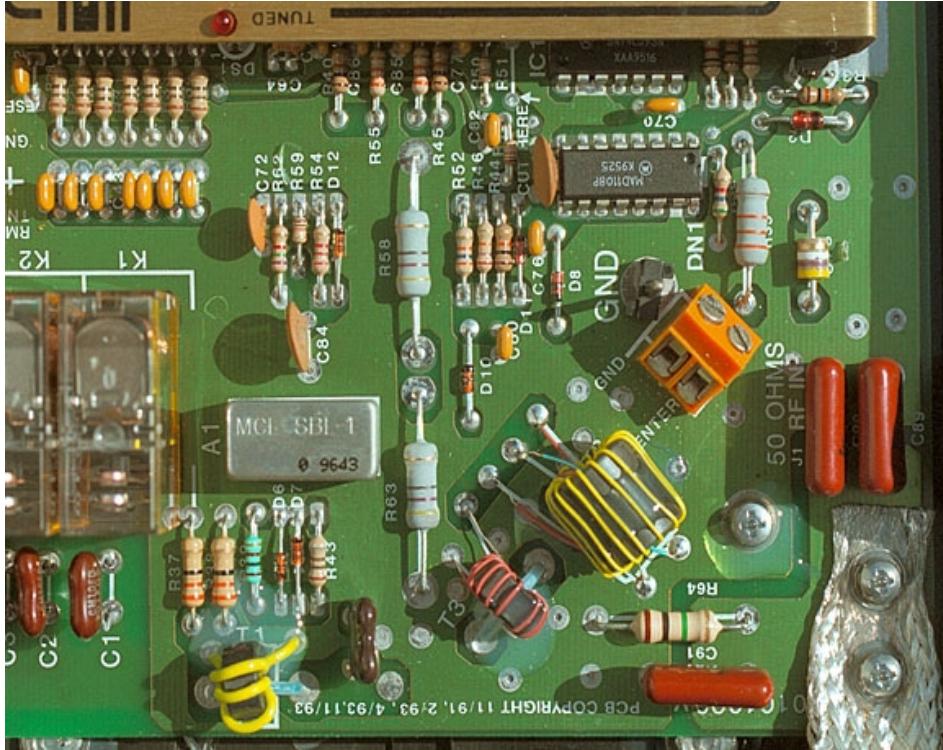
Najczęściej mierzone są: napięcie fali odbitej V_{REV} , napięcie fali padającej V_{FWD} , impedancja Z , faza (a ścisłej: różnica faz między prądem i napięciem w linii) oraz częstotliwość sygnału F:

1. Pomiar **V_{REV}** (napięcia fali odbitej) - konieczny jest dla pracy tunera, jako tzw. *funkcja celu* algorytmu optymalizacji, jakim jest strojenie/dostrajanie.
2. Pomiar **F** (częstotliwości) - ułatwia podjęcie decyzji o wstępnych nastawach (o ile są już zapamiętane dla danego subpasma)
3. Pomiar **V_{FWD}** (napięcia fali padającej) - umożliwia obliczenie VSWR i PWR (mocy).
4. Pomiar **Fazy** (a właściwie różnicy faz napięcia i prądu) - umożliwia szybkie określenie charakteru reaktancji dostrajanej anteny (pojemnościowa czy indukcyjna) i odpowiednie wstępne określenie wartości L i C potrzebnych do kompensacji
5. Pomiar **Z** (impedancji) - a właściwie wystarczy określenie, czy jest ona poniżej, czy powyżej 50 omów (i ew. jak bardzo) - co pozwoli na szybsze podjęcie decyzji o wyborze konfiguracji tunera: C-L czy L-C i odpowiednie przełączenie sieci kondensatorów od strony anteny albo od strony nadajnika.

Dalej przedstawiono dla przykładu uproszczony schemat pomiarowy w tunerze SG-230 (SGC) oraz fotografię praktycznej jego realizacji.



Rys.1. Uproszczony schemat pomiarowy tunera antenowego SG-230.



Fot.1. Praktyczna realizacja układu pomiarowego w tunerze SG-230.

W tunerach antenowych QRP pomiary w zasadzie ogranicza się do V_REV i V_FWD (dla wyznaczenia SWR) oraz niekiedy częstotliwości sygnału (w modelach automatycznych, bez komunikacji CAT). Jako detektory napięć V_REV i V_FWD najczęściej wykorzystywane są układy mostka Bruene (ang. *Bruene Bridge*) lub mostka Stocktona (ang. *Stockton Bridge* lub *Tandem Match Bridge*). Rzadziej spotyka się również mostki rezystancyjne, niekiedy połączone z układami tzw. „cichego strojenia” (ang *quiet tuning*).

Najważniejsze parametry charakteryzujące sprzęgacz pomiarowy to:

Tłumiennosć (ang. *insertion loss*) - charakteryzująca straty mostka przy przenoszeniu mocy z wejścia na wyjście - powinny być jak najmniejsze.

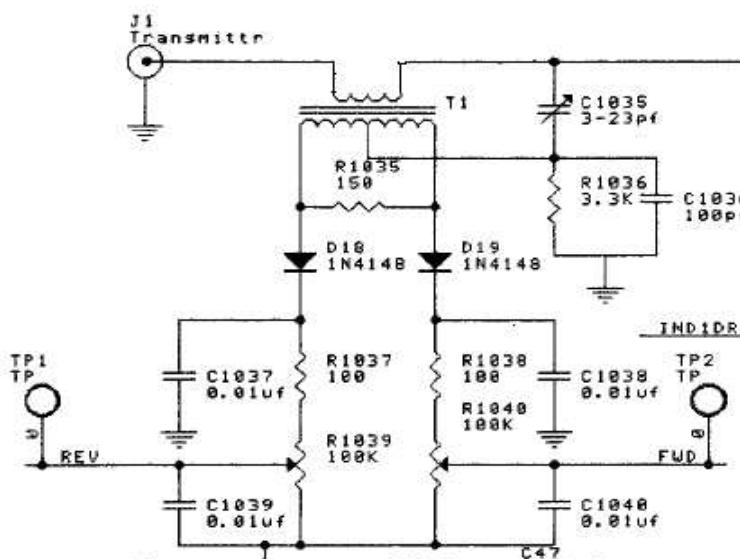
Współczynnik sprzężenia, albo po prostu sprzężenie (ang. *coupling factor*) - określa jaka część mocy (napięcia) wejściowego pojawia się na wyjściu pomiarowym. Powinien mieć założoną określoną wartość w całym zakresie częstotliwości pracy.

Izolacja (ang. *isolation*) - charakteryzuje, jaka część mocy (napięcia) fali *odbitej* pojawia się na wyjściu pomiarowym fali *padającej* (inaczej mówiąc: jak dobrze jest izolowane wyjście pomiarowe od wyjścia sprzęgacza).

Kierunkowość (ang. *directivity*, niem. *Richtschärfe*) - to izolacja minus sprzężenie - określa wprost jakość sprzęgacza. Praktycznie, jest to po prostu stosunek mocy padającej do mocy odbitej, mimo obciążenia sprzęgacza rezystancją charakterystyczną (dopasowaną, czyli w tym wypadku teoretycznie nie powinno być fali odbitej). Dobre sprzęgacze mają kierunkowość co najmniej 40 dB, a przeciętne ok. 25..18 dB. Kierunkowość określa wprost, jaka minimalna wartość SWR może być mierzona. Przy kierunkowości 20dB i rzeczywistym SWR 1:1, będzie on zmierzony jako 1,22:1, natomiast przy kierunkowości 30 dB - jako 1,07:1.

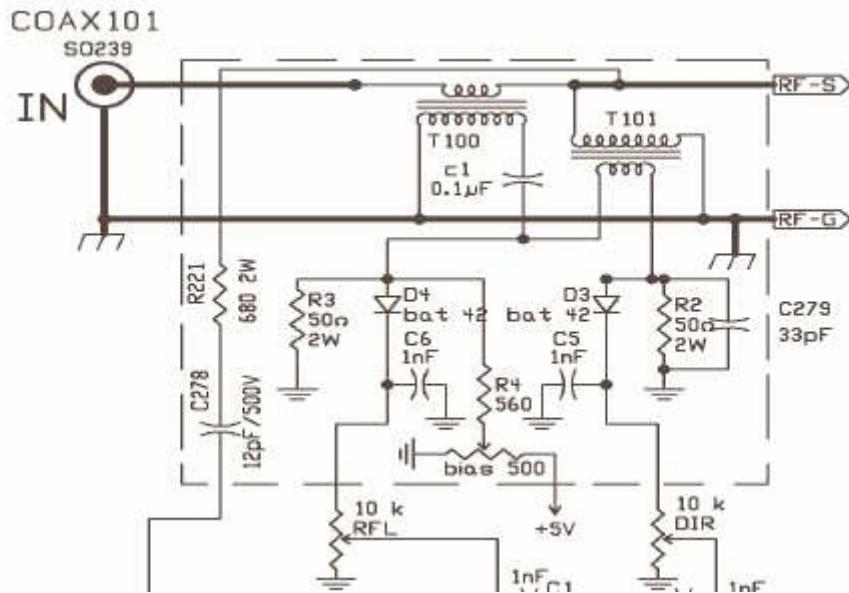
Funkcjonalnie mostek Bruene i mostek Stocktona są sobie równoważne - oba mogą być wykorzystane jako układ pomiarowy napięć fali padającej i odbitej, które wyznaczają VSWR.

Sprzęgacz Bruene składa się z transformatora nawiniętego bifilarnie na rdzeniu toroidalnym, elementów RC, w tym trymera, którym dostraja się mostek (kompensacja fazowa). Dobrze wykonany sprzęgacz zapewnia współczynnik sprzężenia jednakowy (z dokładnością do 1 dB) w zakresie 3..30 MHz i kierunkowość lepszą niż 20 dB.



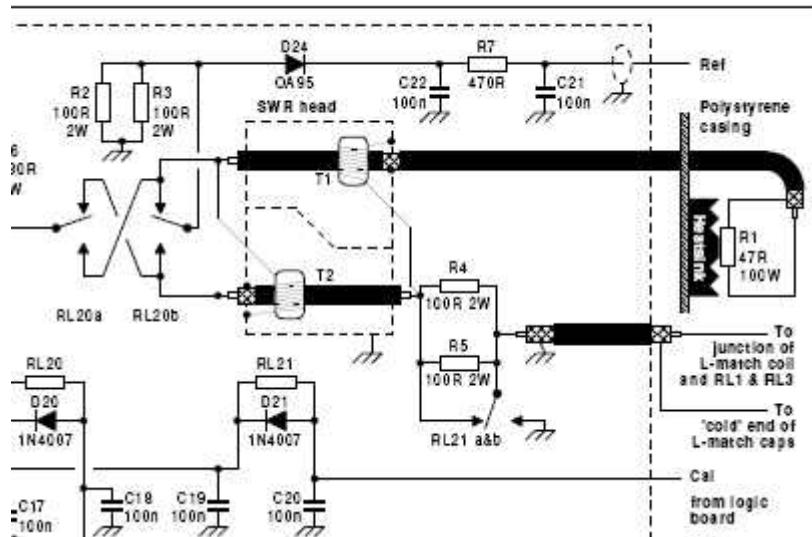
Rys.2. Przykład sprzęgacza Bruene w tunerze AT-11 QRP (LDG)

Sprzęgacz Tandem Match składa się z dwóch transformatorów nawiniętych na rdzeniach toroidalnych, ale nie zawiera żadnych elementów strojonych. Dość łatwo uzyskuje się kierunkowość co najmniej 35 dB w całym zakresie krótkofalowym 1,8 .. 30 MHz.



Rys.3. Przykład sprzęgacza Tandem Match w tunerze RASTU IK0GMM.

Układy „cichego strojenia” spotykane są w tunerach większej mocy, głównie dla zabezpieczenia nadajnika przez zbyt dużym niedopasowaniem oraz dla ograniczenia mocy sygnału transmitowanego do anteny podczas strojenia. Przykładem takiego układu, jest konstrukcja mostka w tunerze antenowym PicATUNE, G3XJP:



Rys.4. Przykład układu „cichego strojenia” w tunerze PicATUNE G3XJP

Algorytmy strojenia

Algorytmy strojenia/dostrajania automatycznych tunerów antenowych stanowią *istotę* tych urządzeń. Albowiem od programowego algorytmu zależy zarówno szybkość strojenia, jak również jego jakość. Bez programu i dobrego algorytmu, opublikowanie schematów ideowych, czy szczegółów konstrukcyjnych nie umożliwi powielenia konstrukcji. Dlatego też szczegóły konstrukcyjne tunerów dobrych firm (Elecraft, SGC, SEA, LDG) są powszechnie znane, natomiast algorytmy przez nie używane - już niekoniecznie... W podręcznikach użytkownika fabrycznych urządzeń spotyka się tylko pobieżne opisy, brak jest natomiast jakichkolwiek szczegółów. Nieliczne kody źródłowe urządzeń amatorskich prezentują najprostsze algorytmy, które dalekie są od optymalnych.

Algorytmy strojenia/dostrajania są typowymi algorytmami optymalizacji. Funkcją celu (a dokładniej: kryterium optymalności) jest tutaj niska wartość SWR (albo wprost napięcie fali odbitej V_REV). Rozwiążaniem optymalnym będzie podanie takiego zestawu zmiennych decyzyjnych (tutaj: ustawień L, C), aby zminimalizować funkcję celu (SWR), czyli znaleźć tzw. rozwiązanie optymalne.

Mając do dyspozycji prosty układ pomiarowy V_REV i V_FWD oraz układ wykonawczy w postaci przełączanej sieci indukcyjności L i pojemności C, można skonstruować najprostszy algorytm w postaci cyklicznego sprawdzenia wszystkich możliwych kombinacji ustawień elementów sieci L/C, z uwzględnieniem przełączania sekcji C na początek (strona TX) i koniec (strona ANT) sekcji L. Niestety, już побieżne oszacowanie czasu wykonania takiego programu (przyjmując, że sieć L/C tunera jest wyposażona w 8 pojemności i 8 indukcyjności oraz, że czas przełączania przekaźników jest 10 ms) wyklucza jego zastosowanie.

Znaczące zmniejszenie ilości kombinacji do sprawdzenia uzyskuje się po zauważeniu, że nie trzeba ich wszystkich stosować: przecież przy pojemnościach rzędu setek nF, zmiana o 5 pF jest praktycznie niezauważalna. Dlatego, mając 8 wartości sieci kondensatorów, nie trzeba przeglądać wszystkich 256 wartości, a znacznie mniej. Ten sposób zastosował Alex **UR4QBP** w algorytmie strojenia swojego tunera.

Wyeliminowanie połowy kombinacji można osiągnąć stosując układ pomiarowy, który pozwoli stwierdzić, czy dołączona impedancja jest mniejsza, czy większa od znamionowej impedancji nadajnika - wtedy od razu można zdecydować, gdzie ma być przełączona sieć kondensatorów (zawsze po stronie większej impedancji). Dalszą eliminację ilości kombinacji, poprzez oszacowanie wymaganych wartości L i C uzyskuje się, mierząc charakter reaktancji obciążenia (anteny) poprzez pomiar różnicę fazę prądu i napięcia. Tego typu pomiary stosowane są w bardziej zaawansowanych tunerach fabrycznych, a praktycznie niespotykane w urządzeniach amatorskich.

W artykule „Automatic Tuning of Antennae”, który napisali **Underhill** i **Lewis** z Mullard Research Lab (poz. Literatury) przedstawiony został interesujący algorytm strojenia automatycznego tunera w układzie Π. Wymaga on jednak wykonania trzech detektorów: detektora fazy dla określenia znaku fazy (wyprzedzenie/późnienie), wskaźnika dopasowania rezystancyjnego dla określenia jaki jest składnik rzeczywisty impedancji (a ściślej: czy jest większy czy mniejszy od określonej wartości) oraz wskaźnika dopasowania konkunktancji dla określenia czy składnik rzeczywisty (konkunktancja) mierzonej admitancji jest większy, czy mniejszy od zadanego. Metodę można zaadaptować dla konfiguracji L - przykład zaprezentował David Knight **G3YNH** na swojej stronie www (zob. Odnośniki do stron internetowych).

2. Przegląd niektórych konstrukcji AAT QRP

Znanych jest kilka (kilkanaście?) konstrukcji automatycznych tunerów antenowych QRP - zarówno w wykonaniu fabrycznym jak i amatorskich. Poniżej dokonano przeglądu niektórych z nich w celu przedstawienia przykładowych rozwiązań. Kryterium wyboru do przeglądu była dostępność danych technicznych, pozwalających na przybliżone porównania. Dodatkowo zwracano uwagę na „cechy QRP” tunera, tzn. nie tylko przenoszoną minimalną/maksymalną moc, ale również energooszczędność, wymiary oraz.... cenę!

W poniższym zestawieniu nie znalazły się *polskie* projekty tunerów: amatorska konstrukcja Kol. Wojciecha Matuszczyka **SQ9GL** (opis: Świat Radio 11/2010) oraz komercyjny wyrób Pana Zdzisława Grynia **SP2GPC** (dane techniczne w Świat Radio 09/2011). Obie konstrukcje deklarują przenoszoną moc znacznie powyżej mocy QRP, nie spełniając kryteriów przyjętych dla przeglądu - mimo to warto o nich pamiętać, jako o nielicznych przykładach rodzimych opracowań.

Konstrukcje fabryczne

LDG AT11-QRP

Tuner **AT11-QRP** był produkowany w latach 90-tych przez firmę **LDG** i rozpowszechniany w formie zestawu do składania. Pracował w dwóch trybach: automatycznym i półautomatycznym w zakresie od 1,8 do 30 MHz, przy mocach nadajnika od 0,1 do 10 W. Jego układ był identyczny, jak w modelu AT11, który był przeznaczony dla nadajników o mocy do 100 W.



Fot.2. Płyta czołowa automatycznego tunera antenowego LDG11-QRP.

Jako obwód strojący zastosowano sieć $8*L/8*C$ z pojemnością przełączaną na wejście lub wyjście tunera. W trybie automatycznym dostrajanie następowało, jeśli SWR przekroczył 3:1 - wtedy układ starał się sprowadzić go poniżej 1,5:1. W trybie półautomatycznym strojenie było wyzwalane przyciskiem. Wartość SWR podczas dostrajania przedstawiana była na czterech diodach świecących. Katalogowo tuner zapewniał dostrojenie w czasie max. 6 sekund.

Zastosowano proszkowe rdzenie toroidalne T50-2 i ferrytowy T37-77 (sprzęgacz Bruene do pomiaru SWR), kondensatory ceramiczne oraz monostabilne przekaźniki o poborze prądu 15 mA. Maksymalny pobór prądu całego urządzenia wynosił ok. 190 mA.

Cena w zestawie do składania, bez obudowy i zasilacza, wynosiła 150 US\$ w 1996 roku.

Schemat urządzenia zamieszczono w Dodatku A.



Fot.3. Widok automatycznego tunera antenowego LDG11-QRP.

LDG Z11

Tuner antenowy Z11 (LDG) jest funkcjonalnym urządzeniem przeznaczonym dla nadajników małej mocy (0,1..30 W mocy ciągłej) w zakresie krótkofalowym (1,8..30 MHz). W urządzeniu zastosowano typowy układ strojenia w konfiguracji L z 256 kombinacjami sieci L i 256 kombinacjami sieci C. Deklarowany czas strojenia zawiera się w przedziale od 0,1 do 3 sekund.



Fot.4. Płyta czołowa tunera antenowego LDG Z11

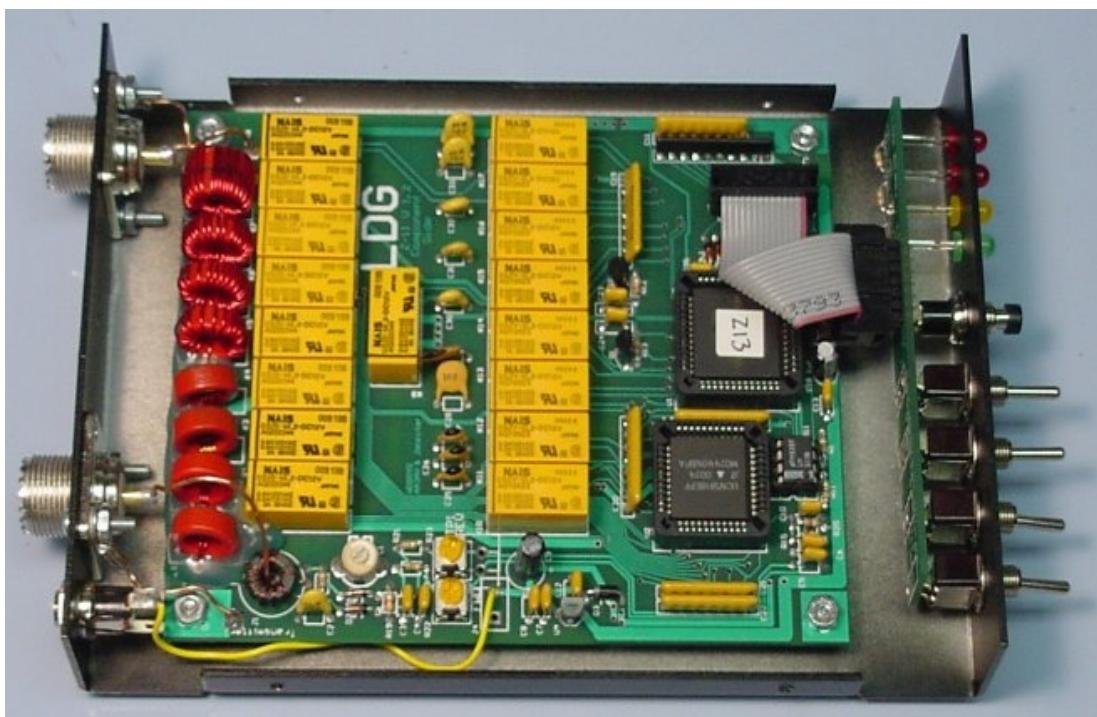
W Z11 zastosowano przekaźniki bistabilne (dwucewkowe), dzięki czemu zredukowano pobór mocy zasilania do 0,8 mA w stanie uśpienia. Podczas strojenia pobór prądu może dochodzić do 300 mA. Te cechy, oraz fakt pamiętania ostatnich ostatnich nastaw sieci LC, nawet

po wyłączeniu zasilania, powodują, że Z11 doskonale nadaje się do pracy w terenie przy zasilaniu akumulatorowym

Oprócz automatycznego i półautomatycznego trybu pracy, tuner Z11 jest wyposażony w przyciski umożliwiające ręczne nastawianie sieci LC.

Następca modelu Z11 był Z11 Pro, a obecnie Z11 Pro II, dostępny w cenie 180 US\$.

Schemat Z11 LDG zamieszczono w Dodatku A.



Fot.5. Widok wewnętrzny tunera antenowego Z11.



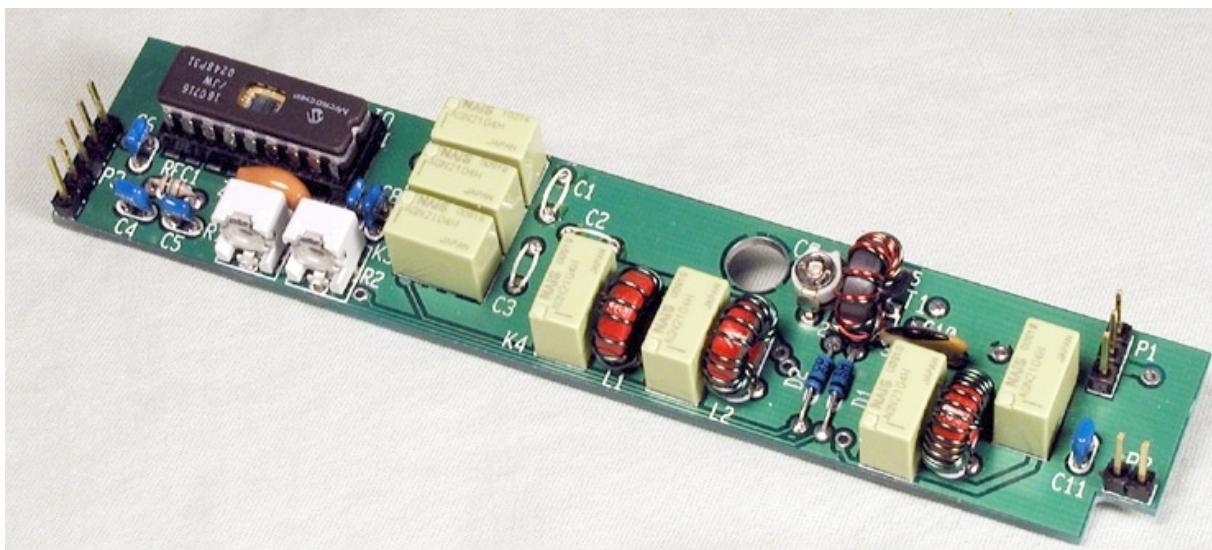
Fot.6. Płyta tylnia tunera antenowego Z11.

KXAT1 Elecraft

Ten niezmiernie prosty tuner antenowy (sieć LC składa się z trzech cewek: 0.64, 1.3 oraz 2.6 uH oraz trzech kondensatorów: 20/22, 39 oraz 82 pF) jest produkowany jako moduł wewnętrzny minitransceivera QRP KX1. Kontrolerem jest PIC16C716 (Microchip), który steruje bezpośrednio siedmioma przekaźnikami bistabilnymi (jednocewkowe). Układ pomiarowy: Bruene bridge. Moduł jest nadzorowany przez sterownik KX1, który przekazuje wszelkie parametry oraz aktualną częstotliwość pracy. Mimo prostej konstrukcji tuner dostraja anteny drutowe Long Wire o średniej długości w paśmie 80-40 m.

Pobór prądu zasilania jest poniżej 1 mA (procesor jest wprowadzany w stan uśpienia), a tylko podczas dostrajania rośnie do 10-30 mA. Czas strojenia nie przekracza 3 sekund, a wprowadzenie zapamiętanych nastaw - poniżej 0,5 sekundy.

Cena modułu: ok. 110 US\$.



Fot.7. Moduł tunera antenowego KXAT1 Elecraft.

T1 AAT Elecraft

Automatyczny tuner antenowy T1 reklamowany jest jako najmniejsza, zewnętrzna skrzynka antenowa o pełnych możliwościach dostrajania anten w całym zakresie częstotliwości od 160 do 6 m.

Tuner przeznaczony jest dla mocy do 20W (10W mocy ciągłej) a obwodem strojącym jest sieć LC w konfiguracji L: 7 pozycji indukcyjności 0..7,5 hH oraz 7 pozycji pojemności 0..1300 pF. Zastosowane algorytmy umożliwiają strojenie w czasie 2..8 sekund (1 raz) oraz dostrajanie (ponowne strojenie z wykorzystaniem zapamiętanych nastaw) w czasie 1..2 sekund. Algorytm strojenia nie poprzestaje na znalezieniu nastaw dla SWR 1,5:1, tylko stara się znaleźć jak najlepsze nastawy, tak aby SWR był jak najniższy.

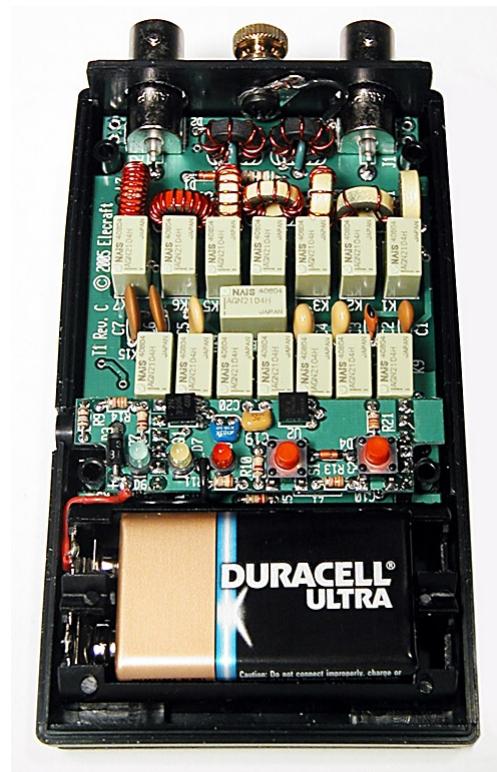
T1 jest wyposażony w wewnętrzną baterię 9V, z której pobór prądu wynosi średnio ok. 20 mA i to tylko w czasie strojenia, ponieważ układ wyłącza się automatycznie (*auto-off*) po wykonaniu strojenia.

Wymiary urządzenia ok. 11x6x2,5 cm, waga nie przekracza 150g zaś cena to 140 US\$ za zestaw do składania lub 160 US\$ za gotowe urządzenie.

Poniżej przedstawiono wygląd T1 zewnętrz i wewnętrz, zaś schemat elektryczny znajduje się w Dodatku A.



Fot.8. Automatyczny tuner antenowy QRP T1 Elecraft.



Fot.9. Automatyczny tuner antenowy QRP T1 Elecraft - widok wewnętrz.

Konstrukcje amatorskie

Tuner antenowy QRP DL5MGD

Ta popularna (również w Polsce, zob. opis w Świat Radio 06/2009) konstrukcja tunera, której autorem jest Andreas Stefan DL5MGD, wykorzystuje jako sterownik procesor PIC16F874 (PIC16F877), dwucewkowe przekaźniki bistabilne oraz nietypowy, obecnie dość trudno osiągalny, bufor A6818 (Allegro). Układ strojący to sieć L/C z pojemnością przełączaną na wejście lub wyjście. Układ pomiarowy to typowy mostek na toroidzie FT37-77, kompensowany fazowo (Bruene Bridge) oraz dodatkowo: szybkie wykrywanie napięcia w.cz. plus pomiar częstotliwości.

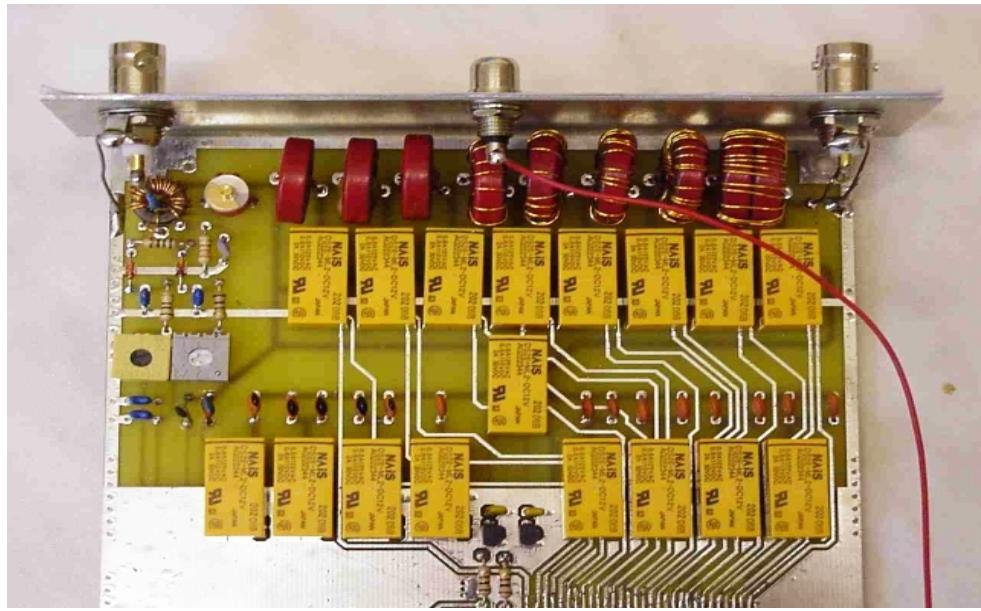
Tuner pracuje w pełnym zakresie krótkofalowym 1,5...30MHz, dostrajając w rastrze co 16 kHz. W czasie dostrajania, algorytm szuka takiego ustawienia sieci L/C, aby zapewnić SWR co najmniej 1:1,5 - zazwyczaj osiąga lepszy rezultat. Jeśli w czasie pracy SWR przekroczy 2:1, to następuje ponowne strojenie. Po wykonaniu strojenia procesor wchodzi w stan uśpienia, zmniejszając poziom możliwych zakłóceń. Tuner praktycznie pobiera prąd zasilania jedynie w czasie dostrajania, dzięki zastosowaniu przekaźników bistabilnych.



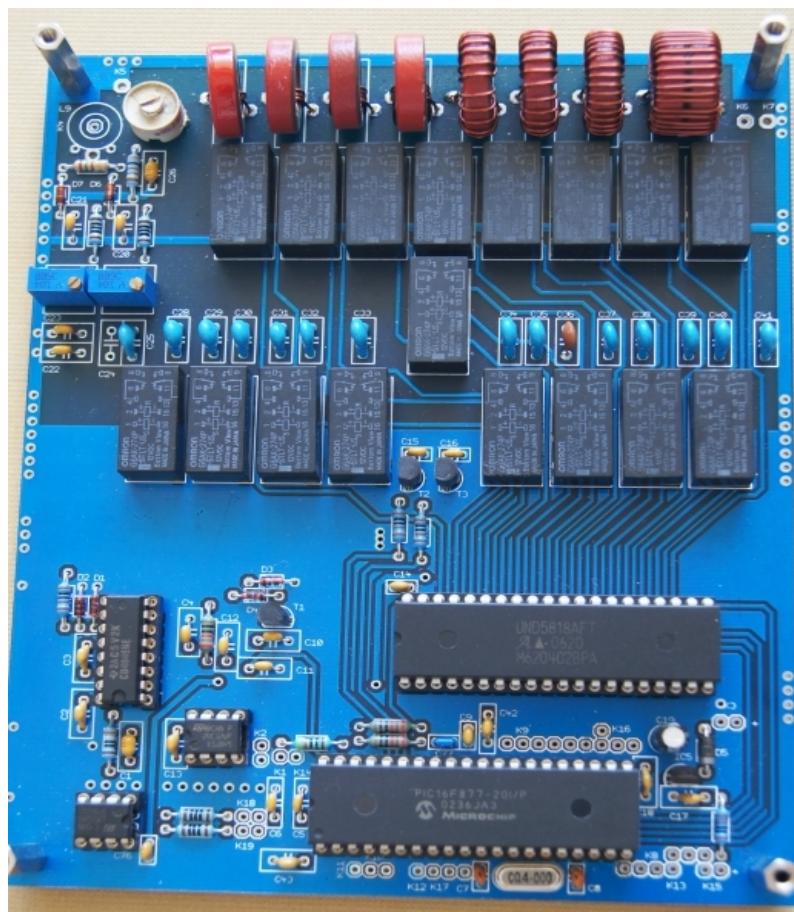
Fot.10. Widok płyty czołowej tunera antenowego QRP DL5MGD

Dokumentacja konstrukcji, wraz z programem źródłowym w języku asemblera, dostępna jest na stronie internetowej autora, DL5MGD (zob. rozdz. Odnośniki) i może być wykorzystywana do celów niekomercyjnych.

Koszt wykonania, ze względu na zastosowanie przekaźników bistabilnych i trudno osiągalnego układu scalonego bufora A6818, przekracza 300 zł.



Fot.11. Prototyp tunera antenowego DL5MGD



Fot.12. ATU DL5MGD - wykonanie 3Z6AEF na PCB wykonanej przez SP5FCS.

Moduł tunera antenowego QRP w Pocket TRX UT4UHC

Moduł automatycznego tunera antenowego, jako uzupełnienie „kieszonkowego” TRX-a QRP, zaprojektował Paweł Serenok **UT4UHC**. Bezpośrednią inspiracją był minituner KXAT1 (Elecraft). Moduł jest wykonany w technice SMD (poza przekaźnikami i cewkami) z wykorzystaniem kontrolera Atmega8 (ATMEL), który bezpośrednio steruje 5 przekaźnikami sieci C, 4 przekaźnikami sieci L oraz jednym przekaźnikiem przełączającym sieć C na wejście albo wyjście sieci L.

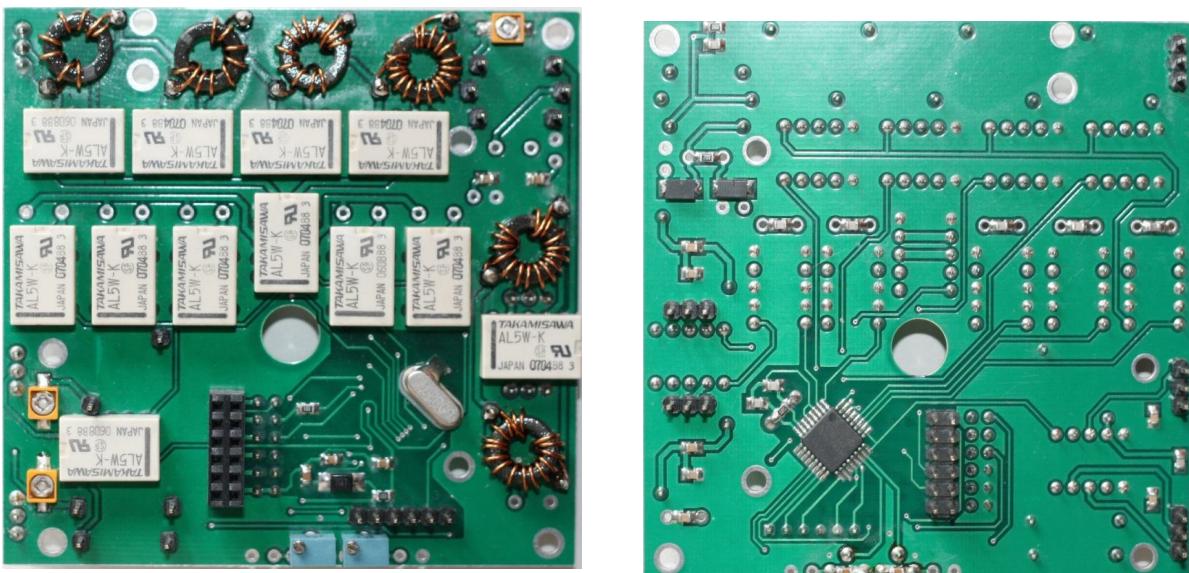
Zastosowano przekaźniki bistabilne, dwucewkowe, typu AL-5W-K (Takamisawa). Indukcyjności i pojemności przełączane są w wagach binarnych:

- 10, 22, 39, 82, 150 pF
- 0.32, 0.64, 1.3, 2.6 uH

Do pomiaru V_FWD, V_REV zastosowano mostek Bruene. Informację o częstotliwości (paśmie) moduł otrzymuje bezpośrednio ze sterownika TRX-a (ATmega16), który jest wyposażony w syntezer DDS (AD9834).

Nie ma danych na temat zakresu dostrajania, ale ilość zastosowanych pozycji sieci LC wskazuje, że nie będzie zbyt szeroki. Za to szybkość dostrajania, jak i energooszczędność powinny być bardzo dobre! Również koszt wykonania jest „na poziomie QRP” i nie powinien przekraczać 150 zł.

Schemat ideowy modułu tunera UT4UHC zamieszczono w Dodatku A.



Fot.13. Strony *top* i *bottom* modułu tunera AAT UT4UHC.

Tuner easyATU SP-HM Group

Skrzynka antenowa **easyATU SP-HM Group** właściwie nie jest ani QRP, ani automatyczna... Jednak jej opis zostaje tu zamieszczony, ponieważ **tinyAAT** jest bezpośrednią konsekwencją tej konstrukcji, jako realizacja szeregu idei omawianych na **Forum SP-HM** podczas dyskusji nad konstrukcją automatycznej skrzynki „przy antenie”.

easyATU to prosta, łatwa do wykonania, tania skrzynka antenowa przeznaczona do zamontowania przy antenie (zalecane!) lub, opcjonalnie, jako moduł w radiu lub we własnej obudowie obok radia. W istniejącej obecnie pierwszej wersji, opracowanej przez Adama Barnata **SP5FCS**, easyATU nie jest skrzynką automatyczną, tylko cyfrowym, zdalnym nastawnikiem sieci L i C w układzie dopasowania w konfiguracji L.

Sterowanie skrzynką odbywa się poprzez sprząg szeregowy (RS232, RS485 lub konwerter USB/RS232) prostymi komendami wysyłanymi w trybie tekstowym przez program na komputerze PC albo prosty, zdalny kontroler mikroprocesorowy.

Co prawda zaprojektowano prosty układ pomiarowy (sprzęgacz w układzie Tandem Match Bridge oraz pomiar częstotliwości), ale do ręcznego sterowania korzysta się z dowolnego zewnętrznego miernika SWR lub wbudowanego w radiu.

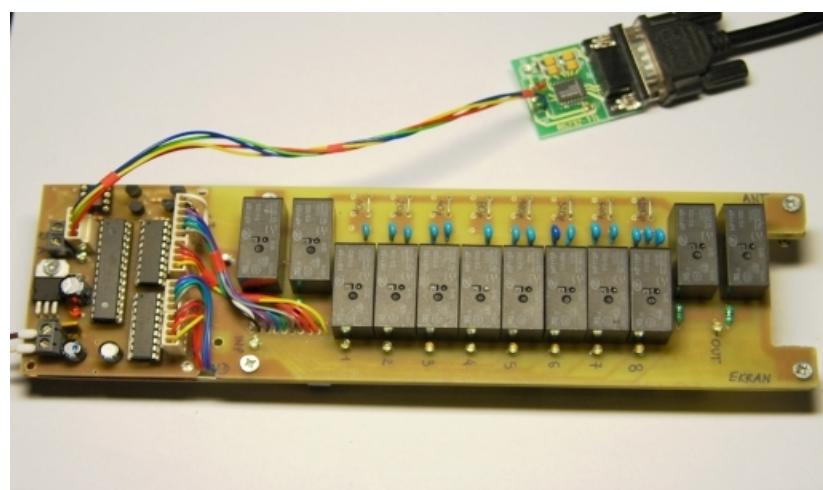
Zastosowane elementy to: mikroprocesor Atmega8 (ATMEL), bufora TD62783 (Toshiba), przekaźniki monostabilne (20 szt.) 16A/250VAC, cewki na proszkowych rdzeniach toroidalnych z materiału typu 2 lub powietrzne - zależnie od wykonania - oraz kondensatory ceramiczne lub mikowe, przewlekane. Wielkość toroidów dobiera się do projektowanej mocy, w dotychczasowych wykonaniach stosowano: T68-2, T84-2, T106-2.

Ważną ideą jest zastosowanie jednostronnych płyt drukowanych (PCB) oraz zasadniczo elementów przewlekanych (TH) z ograniczeniem elementów SMD jedynie do kondensatorów odsprzęgających i diod przeciwpieczęciowych na przekaźnikach oraz rezystorów polaryzacyjnych dla diod świecących (LED).

Nastawy indukcyjności i pojemności wykonuje się w wagach binarnych, na 8 bitach:

- 10, 20, 40, 80, 160, 320, 640, 1280 pF
- 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.4, 12.8 uH

aczkolwiek możliwe jest przyjęcie innych wartości poszczególnych pozycji sieci L i C, dogodniejszych w konkretnym zastosowaniu.

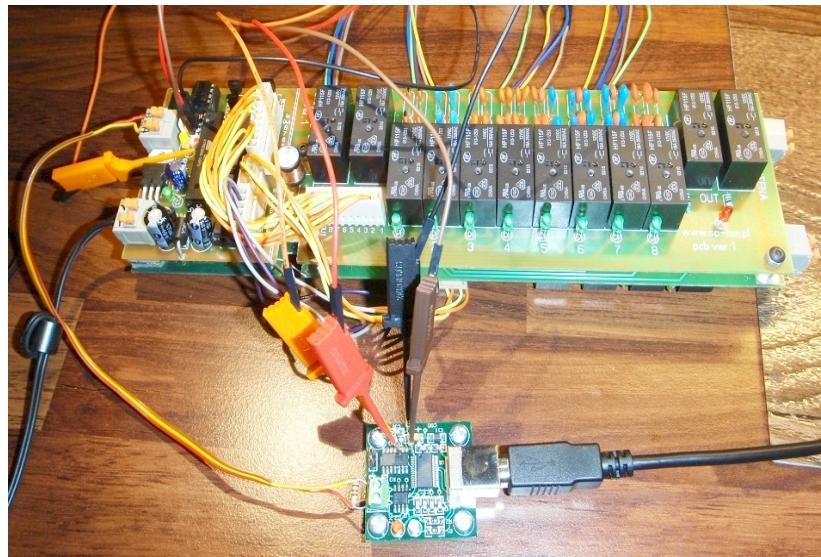


Fot.14. easyATU-HMG - prototyp SP5FCS.

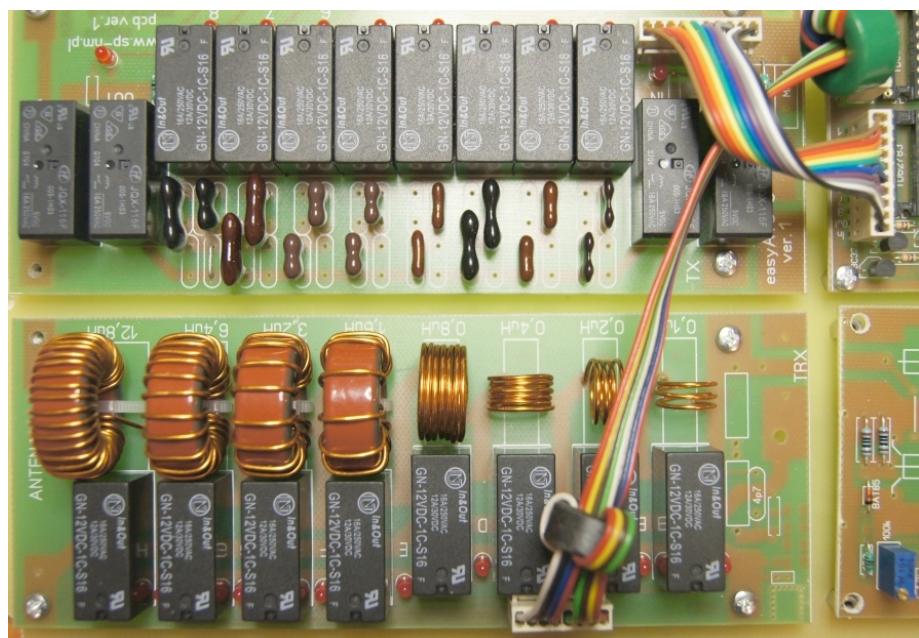
Konstrukcja mechaniczna tunera easyATU umożliwia umieszczenie go w bardzo ekonomicznej obudowie z rury kanalizacyjnej o średnicy 75 lub 100 mm (dwustronnie kielichowanej), odpornej na warunki atmosferyczne - w przypadku zalecanego umiejscowienia przy antenie.

Masa całkowita wynosi ok. 0,8 kg, zaś koszt wykonania nie przekracza 250 zł.

Schemat ideowy tunera easyATU zamieszczono w Dodatkach, natomiast poniżej przykłady praktycznych wykonień.



Fot.15. easyATU - wykonanie SP3SWJ (cewki T68-2, kondensatory ceramiczne 1kV).



Fot.16. easyATU - wykonanie QRO 3Z6AEF (cewki powietrzne i T106-2, kondensatory mikowe 300-500V).

3. Założenia projektu tinyAAT QRP

Założenia projektowe

Projektując **tinyAAT QRP** przyjęto następujące założenia funkcjonalne urządzenia:

- dwa tryby pracy: półautomatyczny i automatyczny
- przeznaczenie dla urządzeń QRP o mocy nadajnika do 15..20W, głównie w czasie wypraw i aktywności terenowych (SOTA, wyprawy zamkowe, itp).
- małe wymiary i waga
- jak najmniejszy pobór prądu zasilania (9..15V, akumulator)
- maksymalne uproszczenie obsługi
- możliwość zapamiętania nastaw w pamięci nieulotnej
- opcjonalne łącze komunikacyjne kompatybilne z easyATU-HMG

Wybór układu

Po przeprowadzonej analizie istniejących rozwiązań, jako układ strojenia wybrano konfigurację L z pojemnościami/indukcyjnościami przełączanymi za pomocą przekaźników, jako najbardziej ekonomiczną i najprostszą w realizacji.

Jako układ pomiarowy SWR został wybrany mostek Stocktona (Tandem Match Bridge) - głównie ze względu na brak konieczności regulacji, a tym samym prostsze uruchamianie.

Zrezygnowano z początkowego pomysłu uzupełniania układu pomiarowego o wszystkie opcje, ograniczając się jedynie do minimum zapewniającego możliwość autonomicznej, automatycznej pracy: pomiaru częstotliwości sygnału. Spowodowane to zostało chęcią ograniczenia kosztów wykonania i uproszczenia konstrukcji - zarówno sprzętowej, jak i programowej.

Wybór elementów

Elementy przewlekane (TH) czy SMD? Ze względu na optymalizację wymiarową projektowanego tunera lepsze wydaje się zastosowanie elementów do montażu powierzchniowego - podobnie, jak w rozwiązaniu UT4UHC. Jednak z drugiej strony montaż SMD jest trudniejszy dla przeciętnego radioamatora, trudniej także serwisować urządzenie (np. wymiana uszkodzonych buforów wyjściowych). Dlatego zdecydowano się na zastosowanie układów scalonych w technologii przewlekanej, ograniczając zastosowanie SMD tylko do kondensatorów i rezystorów.

Jako sterownik należy wybrać taki **mikroprocesor** (mikrokontroler), który:

- posiada wystarczające zasoby do realizacji zadania (najlepiej z pewnym zapasem),
- jest dostępny i ew. łatwo go zastąpić nowszym modelem,
- jego cena jest do przyjęcia,
- dostępne są narzędzia do jego programowania.

Dla **tinyAAT** został wybrany procesor **PIC16LF876A** (Microchip) w wersji przewlekanej, niskoprądowej - głównie ze względu na dostępność narzędzi do programowania oraz.... posiadane zapasy!

Wybrany procesor posiada następujące najważniejsze zasoby i możliwości:

- architektura typu RISC (większość instrukcji wykonywana w jednym cyklu zegara)
- częstotliwość zegara systemowego: max 20 MHz
- pamięci: programu (flash) 8K*14 słów; danych (RAM) 368 B; EEPROM 256 B
- timery: jeden 16-bitowy i dwa 8-bitowe
- przetwornik ADC 10-bitowy, max 5 kanałów
- łącza szeregowe: UART, I2C, SPI, ISP
- napięcie zasilania: 2,0 .. 5,5 V
- zakres temperatury otoczenia: -40 .. +85 °C

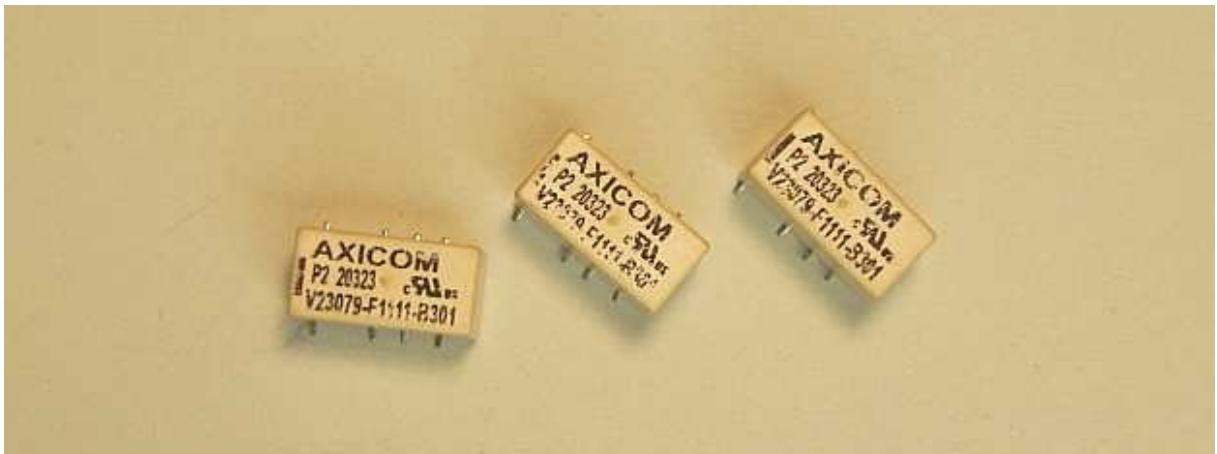
Jako rejesty szeregowo-równoległe, rozszerzające liczbę wyjść procesora, zastosowano układy scalone typu 74HC595, natomiast jako pamięć nastaw tunera dla szybkiego dostrajania - pamięć EEPROM z dostępem szeregowym, typu 24LC256 (32kB).

Jako **przekaźniki** wybrano elementy firmy **AXICOM** serii P2 V23079 w wersji bistabilnej, jednocewkowej, o nominalnym napięciu zasilania 4,5 V. Przekaźniki te, jako jedne z nielicznych stosowanych w automatyce, mają podawane parametry dla zastosowań przy wysokich częstotliwościach. Jednocześnie z zapasem spełniają wymogi napięciowe, prądowe i rezystancyjne, konieczne dla przekaźników w tunerze antenowym QRP. W Dodatku B. zamieszczono kartę katalogową zastosowanego przekaźnika.

Najważniejsze parametry, to:

- wymiary: 14,5x7,2x10,4 mm
- max. prąd przełączany: 5A
- max. napięcie przełączane: 250V AC
- max. moc przełączana: 60W (62,5VA)
- napięcie zasilania cewki: 3,4V .. 13,8V
- napięcie przebicia cewka-kontakty: min 1500V
- napięcie przebicia między kontaktami: min 1500V RMS
- czas włączenia/wyłączenia: typ. 3 ms, max. 5 ms
- pojemności:

cewka-kontakty	2 pF
między kontaktami	1 pF
- izolacja między otwartymi kontaktami: 39 dB przy 100 MHz
- tłumienie przy zamkniętych kontaktach: 0,02 dB przy 100 MHz
- VSWR: 1.04:1 przy 100 MHz
- temperatura otoczenia: max. 105 °C



Fot.17. Przekaźniki P2 V23079-F1111 AXICOM

Przewidując ewentualne trudności w dostępie do wybranego modelu przekaźnika, przewidziano opcjonalne zastosowanie innego typu: AL-5W-K (Fujitsu) lub AZ850 (Zettler), odpowiednio dostosowując projekt płytki drukowanej.

Jako elementy indukcyjne sieci strojeniowej wybrano **cewki** na proszkowych rdzeniach toroidalnych typu **T37-2** lub **T50-2** oraz rdzenie ferrytowe **T37-43** na cewki przegacza Tandem Match.

Jako elementy pojemnościowe sieci wybrano **kondensatory mikowe** (TH) na napięcie 200..500V oraz opcjonalnie **kondensatory ceramiczne C0G** (NP0) 500V w wersji **SMD**. Przewidziano możliwość doboru poszczególnych wartości pojemności z kilku elementów, projektując odpowiednio płytke drukowaną. Możliwe jest także użycie popularnych ceramicznych kondensatorów wysokonapięciowych, jednak ze względu na wyniki przeprowadzonych pomiarów stabilności temperaturowej i dobroci, nie zaleca się takiego rozwiązania (wyniki pomiarów zostały przedstawione na **Forum Grupy SP-HM**).

Dlaczego wybór dobrej jakości elementów sieci strojącej jest ważny? Jak napisał Peter Rhodes **G3XJP**, konstruktor tunera **PicATUne**: „An ATU constructed of poor quality components is more likely to provide a *better* match to your Tx/Rx than one constructed of good quality components.” (ATU skonstruowane z miernej jakości komponentów zapewni *lepsze* dopasowanie nadajnika, niż to, które jest wykonane z elementów dobrej jakości). Sytuacja jest mniej więcej taka sama, jak w przybadku byle jakiego, stratnego kabla w porównaniu z bardzo dobrą bezstratną linią transmisyjną. Dodatknie anteny za pomocą tego pierwszego, zlej jakości, pokaże na mierniku SWR lepszy rezultat niż w drugim przypadku! Tyle, że nawet 50 % mocy może zostać wyszczelone w linii (albo w ATU), zamiast trafić do anteny... A już najlepsze dopasowanie (z punktu widzenia nadajnika) uzyska się, włączając pomiędzy nadajnik a linię transmisyjną... 20 dB tłumik! :-)

4. Opis konstrukcji tinyAAT QRP

Schemat ideowy

Schemat elektryczny **tinyAAT** składa się z dwóch części: układu sterowania oraz układu wykonawczego i pomiarowego. W skład pierwszej części wchodzi układ scalony mikroprocesora PIC16LF876 (Microchip) wraz z rezonatorem kwarcowym 4MHz, pamięć E2ROM 24C256, bufore 74HC595 (3 szt.), układ sygnalizacji (LED - 3 szt., buzzer), układ zasilania oraz opcjonalny układ łącza komunikacyjnego RS485.

Mikroprocesor zawiera wszystkie bloki, niezbędne do działania urządzenia: przetworniki analogowo-cyfrowe ADC (pomiar napięć V_REV i V_FWD), licznik częstotliwości (pomiar częstotliwości sygnału), generator akustyczny (komunikaty akustyczne), bufore sterujące LED i 3 diody świecące (obrazowanie poziomu SWR), linie transmisji I2C dla obsługi pamięci EEPROM (pamięć nastaw) oraz linie transmisji szeregowej (opcjonalne łącze kompatybilne z easyATU-HMG).

Całością zawiaduje program sterujący, przechowywany w nieulotnej pamięci Flash (8kB) mikroprocesora, który korzysta również z wewnętrznej pamięci RAM mikroprocesora. Pamięć Flash może być reprogramowana wielokrotnie poprzez złącze ISP, przy wykorzystaniu prostego sprzęgu, programatora i odpowiedniego programu na komputerze PC.

Wszystkie układy scalone zasilane są napięciem +5V dostarczonym przez stabilizator 78L05. Doprowadzenia napięcia zasilającego są blokowane kondensatorami 100 nF na każdym układzie scalonym (na układzie procesora dodatkowo 100 pF).

Układ wykonawczy składa się z sieci 8 toroidalnych cewek oraz 8 kondensatorów, przełączanych przekaźnikami bistabilnymi (jednocewkowymi) DPDT (podwójne, przełączne). Wartości cewek i kondensatorów są dobrane - w przybliżeniu - w wagach binarnych (kolejna wartość jest dwa razy większa niż poprzednia). Dla uzyskania odpowiedniej wartości pojemności i napięcia, kondensatory SMD mogą być składane z czterech elementów, łączonych szeregowo-równolegle, natomiast kondensatory przewlekane mogą być składane z dwóch - łączonych równolegle.

Cewki nawinięte są na toroidalnych rdzeniach proszkowych typu T37-2 lub T50-2 (Micrometals, Amidon) drutem nawojowym w emaliu (DNE). Dane uzołożenia i sposób wykonania podano dalej. Przyjęto następujące wartości sieci L/C:

- 0.12, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16 uH
- 5, 10, 22, 39, 82, 160, 330, 680 pF

co umożliwia ustalenie maksymalnej indukcyjności 31.87 uH oraz pojemności 1.33 nF

Układ pomiarowy napięć fali padającej i odbitej składa się z dwutransformatorowego sprzęgacza Stocktona (*Tandem Match Bridge*), diod prostowniczych Schottky'ego typu 1N5711 (lub BAT85) oraz elementów dzielnika napięciowego i filtracji. Transformatory mostka nawinięte są na toroidalnych rdzeniach ferrytowych typu T37-77 (Micrometals). Układ pomiarowy częstotliwości to zwykły, diodowy ogranicznik napięcia zbudowany z uniwersalnych diod krzemowych 1N4148 (6 szt.).

Schemat ideowy **tinyAAT**, pokazany na poprzednich stronach, został narysowany z wykorzystaniem programu **Splan** ver. 6.0 (ABACOM).

Płytki drukowane

Płytki drukowane **tinyAAT** (99x112 mm) zostały zaprojektowane jako dwustronna z metalizacją otworów. Na stronie elementów (top) rozmiastono wszystkie elementy przewlekane (układy scalone, cewki i kondensatory sieci L/C, przekaźniki, gniazda, złącza), natomiast na dolnej stronie (bottom) - elementy do montażu powierzchniowego: kondensatory sieci L/C (w wersji z kondensatorami SMD), kondensatory blokujące, rezystory. Druk jest zaprojektowany tak, że możliwe jest wykonanie płytki, jako jednostronnej (tylko bottom) z powierzchnią masy na wierzchu, ale nie zaleca się takiego rozwiązania, z następujących względów:

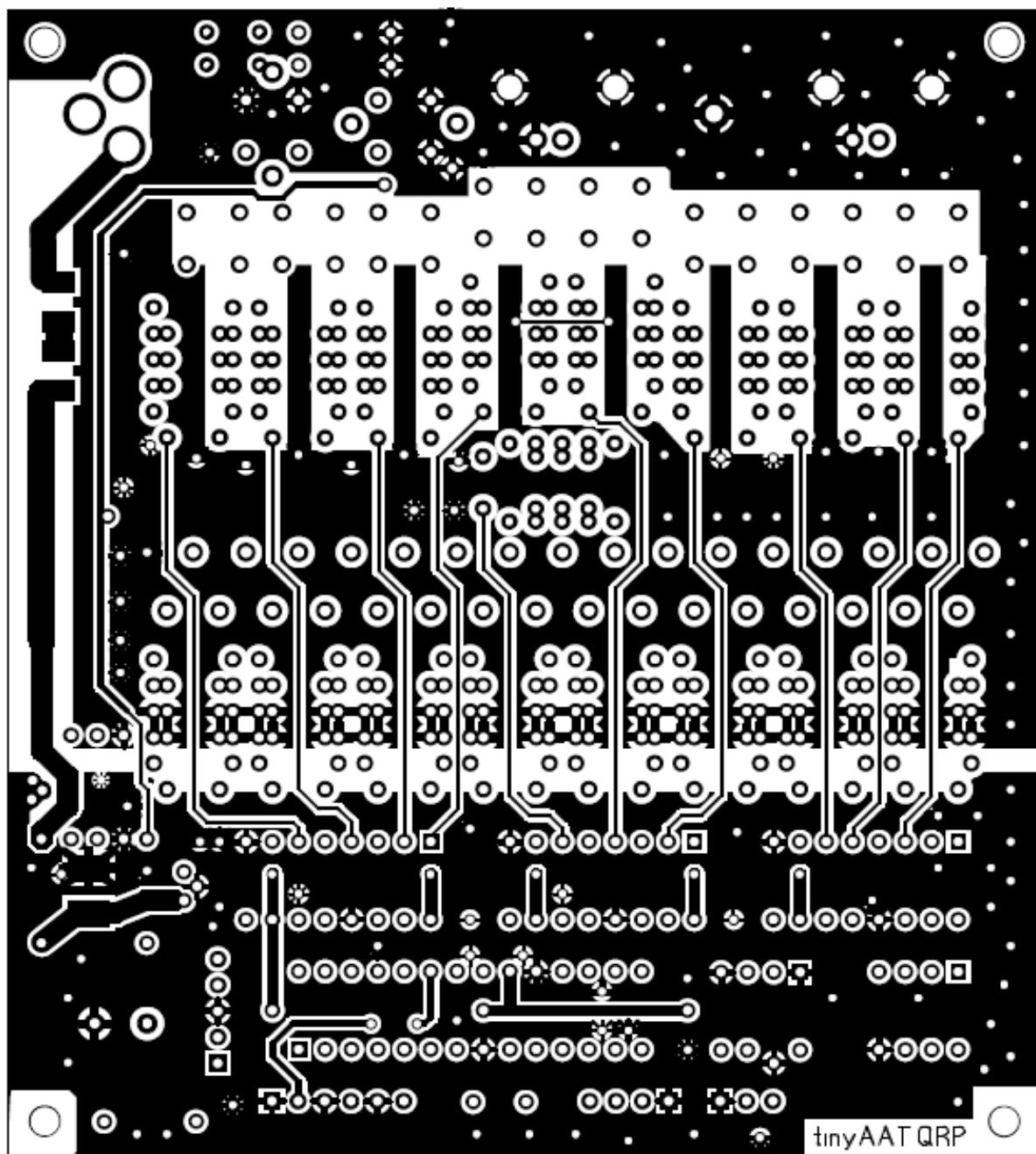
- praktycznych (technologicznych): niektóre ścieżki mają nawet 0,2 mm i także odstępy pomiędzy nimi; konieczność prowadzenia dodatkowych połączeń przewodowych; konieczność wykonania wielu przelotek,
- elektrycznych: wierzchnia powierzchnia masy winna być odpowiednio rozdzielona (masa „cyfrowa” od „analogowej”); pod elementami indukcyjnymi sieci L/C nie powinno być powierzchni masy,
- ekonomicznych: dzisiejsze ceny wykonania płyt w zakładzie produkcyjnym są na tyle niskie, że - uwzględniając jakość wykonania fabrycznego i domowego oraz uwzględniając możliwość wykorzystania istniejącej dokumentacji - chyba nie opłaca się samodzielne wykonywanie bardziej skomplikowanych płyt...

Płytki drukowane (PCB) zostały zaprojektowane z wykorzystaniem programu **Sprint Layout ver. 5.0 (ABACOM)**.

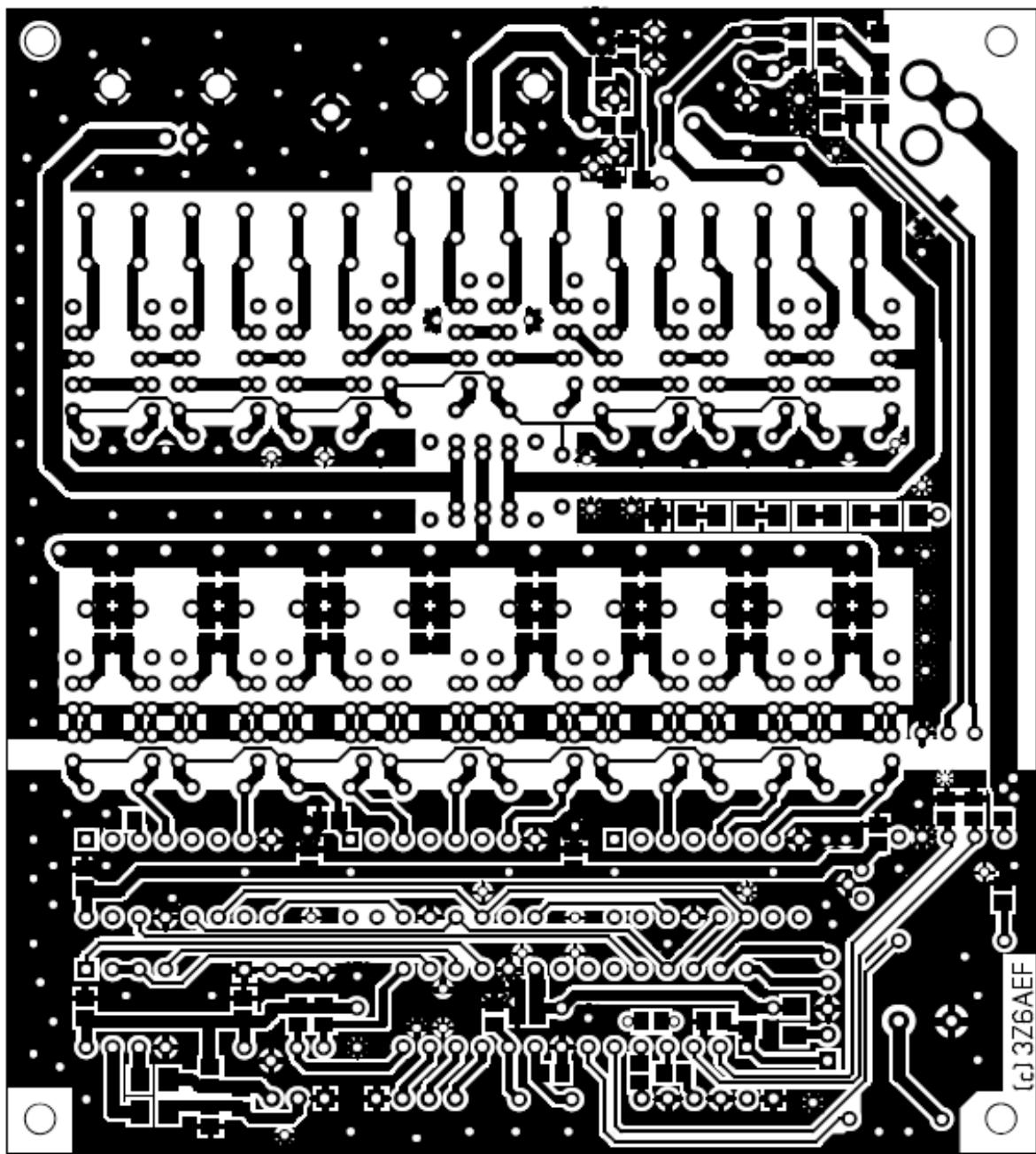
Prototypy PCB wykonano w firmie **GAMA - Obwody Drukowane**.

UWAGA!

Przedstawione dalej mozaiki ścieżek płytki drukowanej tinyAAT QRP są w wersji REV.A (prototypowej). W trakcie uruchamiania i testów urządzenia zostało wprowadzonych szereg zmian w celu poprawienia działania oraz zwiększenia odporności na zakłócenia. Jakkolwiek przedstawione prototypy działają na płytach REV.A, to zaleca się użycie płyt w wersji REV.B z naniesionymi zmianami i poprawkami.



Rys.5. Płytki drukowane tinyAAT QRP - strona *top*.



Rys.6. Płytki drukowane tinyAAT QRP - strona *bottom*.

Konstrukcja mechaniczna

Jako obudowę tinyAAT proponuje się jedno ze sprawdzonych rozwiązań:

- wykorzystanie gotowej obudowy aluminiowej po starym, nieużywanym modemie telefonicznym (można je czasem kupić na giełdach czy na portalach aukcyjnych),
- samodzielne wykonanie obudowy z kształtowników (ceownik) aluminiowych
- zakup jednej z obudów typu Hammond, np. typu lub większej, jeśli planuje się zasilanie urządzenia z wbudowanego akumulatora

Wymiary obudów w każdym z rozwiązań są podobne: ok. 110x110x35 mm. Dla prototypów wykonano obudowy w każdy z wymienionych sposobów, najtańszą okazała się obudowa wykonana samodzielnie z kształtowników - wymaga jednak najwięcej prac mechanicznych. Do cięcia kształtowników użyto pilarki kątowej z tarczą odpowiednią do cięcia aluminium. Obudowę można pomalować lakierem w aerozolu, używanym w motoryzacji.



Fot.18. Obudowa Hammond typu 1455L1201 (wymiary: 120x103x30 mm)



Fot.19. Obudowa po modemie telefonicznym ELSA/Microlink (wymiary: 135x107x35)

Oczywiście zaproponowane obudowy są jedynie przykładowe - można je również wykonać zupełnie inaczej, np. wyginając z blachy aluminiowej 1..1,5 mm albo wycinając i lutując kawałki laminatu (PCB) czy wręcz wbudowując płytke tunera jako wewnętrzny moduł do własnego urządzenia QRP.

Obudowa tunera nie musi być koniecznie metalowa - można wykorzystać również któryś ze standardowych obudów plastikowych dostępnych powszechnie na rynku. W wykonaniu **tinyAAT**, jako zewnętrzny, zdalny tuner antenowy, należy zadbać o odporność obudowy na warunki atmosferyczne. W tym przypadku elementy sygnalizacji i sterowania mogą być pominięte, a tuner będzie pracował zawsze w trybie AUTO (przełącznik trybu pracy na stałe zwarty).

Oprogramowanie

Oprogramowanie (firmware) **tinyAAT QRP** zostało napisane w języku **C**, a następnie skompilowane do postaci binarnej za pomocą kompilatora **BoostC** (Boost Technologies). W wersji 1.0 plik źródłowy programu liczy ok. 1500 linii kodu, natomiast wersja binarna zajmuje ok 3K*14 słów pamięci Flash mikroprocesora PIC16LF876A, wykorzystując ok 35.% dostępnego obszaru, zostawiając spory zapas na planowane opcjonalne modyfikacje urządzenia i oprogramowania.

Jako że program tak prostego urządzenia jest również bardzo prosty, więc zastosowano typową technikę tzw. „nieskończonej pętli” (ang. *neverending super-loop*), która po zainicjowaniu zmiennych i zasobów (pamięci, konfiguracji wejść/wyjść) polega na ciągłym wykonywaniu „w kółko” kolejnych zadań:

```
program tinyAAT;
BEGIN
    start:
        inicjacja_zmiennych;
        inicjacja_sprzętu;
    pętla:
        wykonaj_zadanie_1;
        wykonaj_zadanie_2;
        ...
        wykonaj_zadanie_n;
        skocz do początku pętli;
END.
```

Główne procedury programu zajmują się obsługą:

- komunikacji z użytkownikiem (klawisze, diody świecące, buzzer),
- algorytmu strojenia automatycznego i wyzwalanego naciśnięciem klawisza TUNE
- komunikacją szeregową (opcjonalnie)

Pomocnicze funkcje realizują zadania usługowe:

- wysyłanie nastaw przekaźników do rejestrów szeregowych
- sygnalizacja dźwiękowa telegrafią (kodem Morse'a)
- zapis/odczyt zewnętrznej pamięci EEPROM
- inne...

Zasadniczo cały program mieści się w jednym pliku źródłowym (plus pliki pomocnicze włączane instrukcją #include do pliku głównego) - tekst programu nie przekracza 1500 linii.

Najważniejszą jest procedura (funkcja) strojenia, która realizuje algorytm strojenia - zarówno automatycznego, jak i półautomatycznego (na żądanie użytkownika - po naciśnięciu przycisku TUNE).

Zaimplementowany algorytm strojenia jest bardzo prosty: polega na kolejnych próbach ustawień sieci LC (najpierw zgrubnym a potem dokładnym) i sukcesywnym pomiarze napięcia fali padającej i odbitej. Wcześniej dokonywany jest pomiar częstotliwości sygnału i przeszukanie tablicy w zewnętrznej pamięci EEPROM w celu ewentualnego wyboru wstępnych ustawień.

W trybie automatycznym pomiar SWR jest wykonywany ciągle (o ile jest obecny sygnał nadawany) i podejmowana próba dostrojenia, jeśli SWR jest gorszy niż 2:1.

Strojenie jest przerywane w którymkolwiek z przypadków:

- osiągnięto dostrojenie, tzn. SWR wynosi nie więcej niż 1,5:1 lub lepiej ('i')
- nie udało się osiągnąć dostrojenia w żadnej z kombinacji sieci L/C ('5 5 5 5')
- wystąpił brak sygnału nadawanego ('?')
- naciśnięto przycisk TUNE ('r')

Podczas strojenia, bieżąca wartość SWR jest przedstawiana w uproszczony sposób na trzech diodach świecących (LED):

- zielona dioda: SWR jest 1,5:1 lub lepszy
- żółta dioda: SWR pomiędzy 1,6:1 a 2,0:1
- czerwona dioda: SWR gorszy niż 2,0:1

Po zakończeniu strojenia stan tunera jest sygnalizowany akustycznie:

- 'r' - po zakończeniu strojenia sukcesem (SWR lepszy niż 1,5:1)
- 'h h h h' - seria krótkich sygnałów w grupach po cztery - w przypadku błędu
- '?' - w przypadku braku sygnału w ciągu 3 sekund po naciśnięciu przycisku TUNE
- 'bk' - jako potwierdzenie przerwania strojenia

5. Montaż i uruchomienie tinyAAT QRP

Potrzebne narzędzia, materiały i przyrządy

Do montażu tinyAAT QRP potrzebne są:

1. Dobrej jakości lutownica z cienkim grotem (0,8..1,2 mm), zabezpieczona przed ładunkami elektrostatycznymi (ESD), najlepiej z regulacją temperatury.
2. Spoiwo lutownicze PbSn w postaci tinolu (drut z wielordzeniowym wkładem kalafonii) o średnicy 0,56..0,8 mm. Uwaga! Absolutnie nie należy używać topników na bazie kwasów (organicznych lub nieorganicznych)! Wystarczy w zupełności kalafonia, która znajduje się w tinolu.
3. Mały śrubokręt, małe szcypce płaskie, małe cęgi boczne, nożyk.
4. Szkło powiększające lub lampa ze szkłem powiększającym.
5. Może być przydatna plecionka do odsysania nadmiaru cyny (0,8..2mm).
6. Miernik uniwersalny do kontroli napięć i prądów.
7. Miernik pojemności i indukcyjności (opcjonalnie).
8. Przyrząd do kontroli zwarć (np. bardzo dobra sonda **W4ZCB** opisana na stronie internetowej: <http://www.carnut.info/star-parts/pcbs/buzzer.htm>).

Lista elementów

C1	= 1 x 100p, SMD 0805
C7	= 1 x 22μ/16V, SMD elektrolityczny
C14,C15, C18,C19,C20,	
C21,C22	= 7 x 10n, SMD 0805
C17,C23	= 2 x 10n, SMD 1206
C2,C5,C6,C8,C9, C10,C11,C12,	
C13,C16	= 10 x 100n, SMD 0805
C3,C4	= 2 x 22p, SMD 0805
R1	= 1 x 1k, SMD 0805
R5	= 1 x 100R, TH, metal. 0,6W
R12	= 1 x 150R, SMD 0805
R21	= 1 x 4k7, SMD 0805
R11,R13	= 2 x 300R, SMD 0805
R14,R22	= 2 x 50R, 1%, TH, metal. 0,6W
R15,R19	= 2 x 3k3, SMD 0805
R16,R17	= 2 x 2k2, SMD 0805
R18,R20	= 2 x 120k, SMD 1206
R2,R3	= 2 x 22k, SMD 0805
R4,R6,R10	= 3 x 47k, SMD 0805
R7,R8,R9	= 3 x 680R, SMD 0805
Rel1,Rel2,Rel3, Rel4,Rel5,Rel6, Rel7,Rel8,Rel9, Rel10,Rel11, Rel12,Rel13, Rel14,Rel15, Rel16,Rel17	= 17 x przekaźnik AXICOM
D1, D2	= 2 x 1N5711 (BAT85), dioda Shottky, TH lub SMD
D3,D4,D5,D6,D7,	
D8,D11	= 7 x 1N4148
D9,D10	= 2 x S1M
LED1	= 1 x GREEN

LED2	= 1 x YELLOW
LED3	= 1 x RED
	kondensatory obwodu strojacego, Silver Mica albo SMD C0G, 500V
C1a	= 1 x 5 pF
C2a	= 1 x 10 pF
C3a	= 1 x 20 pF
C4a	= 1 x 40 pF
C5a	= 1 x 80 pF
C6a	= 1 x 160 pF
C7a	= 1 x 320 pF
C8a	= 1 x 640 pF
	cewki obwodu strojacego, 8 x T37-2
L1	= 1 x 0.1 µH
L2	= 1 x 0.2 µH
L3	= 1 x 0.4 µH
L4	= 1 x 0.8 µH
L5	= 1 x 1.6 µH
L6	= 1 x 3.2 µH
L7	= 1 x 6.4 µH
L8	= 1 x 12.8 µH
T1,T2	= transformatory sprzegacza, 2 x FT37-43
IC1	= 1 x PIC16LF876A
IC2	= 1 x 24LC256
IC3, IC4, IC5	= 3 x 74HC595
IC6	= 1 x 75176 (opcjonalny)
IC7	= 1 x 78L05
IC8	= 1 x 7414, bramka Schmitta, SMD
DL1,DL2,DL3,	
DL5	= 4 x 100µH
DL6,DL7	= 2 x 10µH
XTAL1	= 1 x 4 MHz, rezonator kwarcowy
SP	= 1 x Buzzer
S1	= przycisk
S2,S3	= przełącznik trójpozycyjny
Z1	= złącze szpilkowe (5 pin) ISP
Z3	= złącze szpilkowe 1 x RS485
ANT, TRX	= 2 x BNC50, gniazda

Montaż

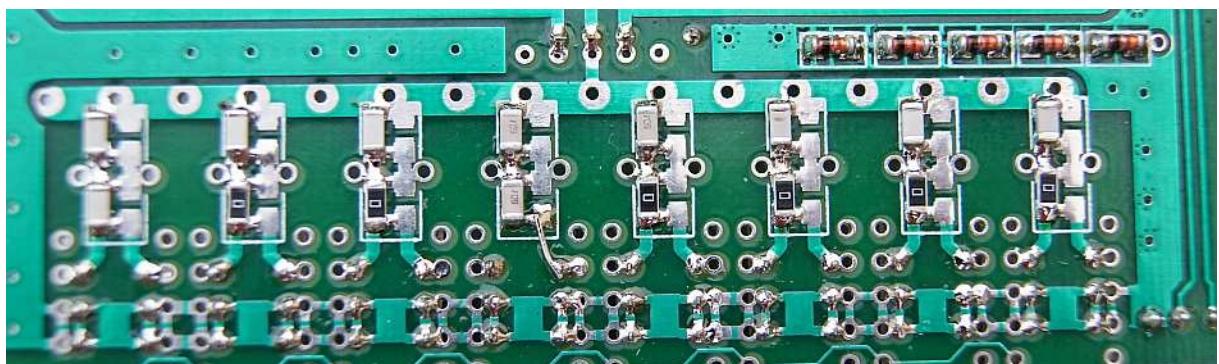
Przedstawiona dalej kolejność montażu elementów na płytce drukowanej **tinyAAT** nie jest obligatoryjna - doświadczeni radioamatorzy mają zwykle swoje upodobania, które trudno zmieniać... Poniższy schemat jest jedynie praktyczną propozycją, na pewno przydatną dla początkujących.

Przed rozpoczęciem montażu należy zgromadzić potrzebne elementy, materiały i narzędzia. Sprawdzić jakość płytki drukowanej (PCB) - czy nie ma zwarć i przerw ściezek, najlepiej przy pomocy przyrządu do kontroli zwarć wymienionego w p. 8 listy przyrządów podanej wcześniej.

1. W pierwszej kolejności należy zamontować elementy SMD na stronie dolnej (bottom), poczynając od kondensatorów blokujących (odsprzęgających) oraz pozostałych o wartości 100 nF.
2. Jeśli wybrano opcję sieci C w postaci kondensatorów SMD, przylutować je na polach im odpowiadających, dobierając szeregowo-równolegle, aby uzyskać żądaną wartość

nominalną z tolerancją nie gorszą niż 5%. Kondensatory ceramiczne powinny być typu C0G (NP0) i mieć napięcie dopuszczalne co najmniej 200V.

3. Przylutować na stronie *bottom* pozostałe kondensatory, oporniki i diody ogranicznika układu pomiaru częstotliwości (1N4118) oraz diody pomiarowe napięć V_REV i V_FWD, jeśli zdecydowano, że mają być typu SMD (opcjonalnie mogą być przewlekane - wtedy będą montowane są na stronie górnej).



Fot.20. Kondensatory ceramiczne SMD, C0G 500V w sieci strojącej.

4. Odwrócić płytę na stronę górną (*top*), a w otwory montażowe zamontować pomocnicze kołki (tulejki) dystansowe - dla ułatwienia montażu. Przylutować elementy SMD na stronie top: dwie diody zabezpieczające S1M (szeregowo) oraz kondensator elektrolityczny.
5. Przylutować dławiki filtrujące, stabilizator napięcia 78L05, oporniki 50 omów w układzie pomiarowym oraz diody pomiarowe napięć V_REV i V_FWD, jeśli zdecydowano, że mają być typu TH - przewlekane (opcjonalnie mogą być typu SMD - wtedy zostały już zamontowane na stronie dolnej).
6. Zamontować podstawki pod układy scalone oraz przekaźniki.
7. Zamontować złącza kołkowe (*gold pin*) dla programatora (ISP), oraz - opcjonalnie - dla przycisku TUNE oraz przełącznika AUTO/SEMI/BYPASS. Zamontować sygnalizator akustyczny (*buzzer*) wraz z opornikiem ograniczającym oraz rezonator kwarcowy 4 MHz.
8. Jeśli wybrano kondensatory przewlekane (mikowe lub ceramiczne) do sieci strojącej, to należy je teraz zamontować. Kondensatory można składać z dwóch montowanych równolegle, jeśli zachodzi taka potrzeba.



Fot.21. Kondensatory Silver Mica, 300V i 500V w sieci strojącej.

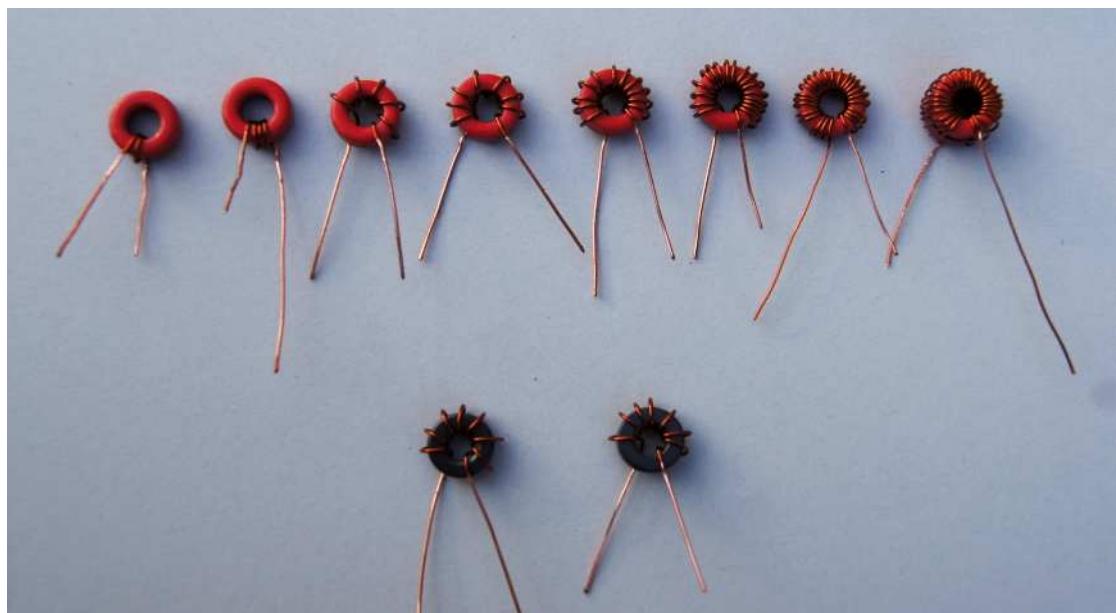
- 9.** Przygotować cewki układu strojącego, nawijając je na rdzeniach toroidalnych typu T37-2 (czerwone) wg poniższej tabeli i fotografii.

Tab.1. Dane nawojowe cewek sieci strojącej

Wartość [uH]	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,4
Ilość zwojów	2	4	6	8	12	18	25	25

Uwaga: ostatnią cewkę (6,4 uH) nawija się na dwóch sklejonych ze sobą rdzeniach toroidalnych T37-2.

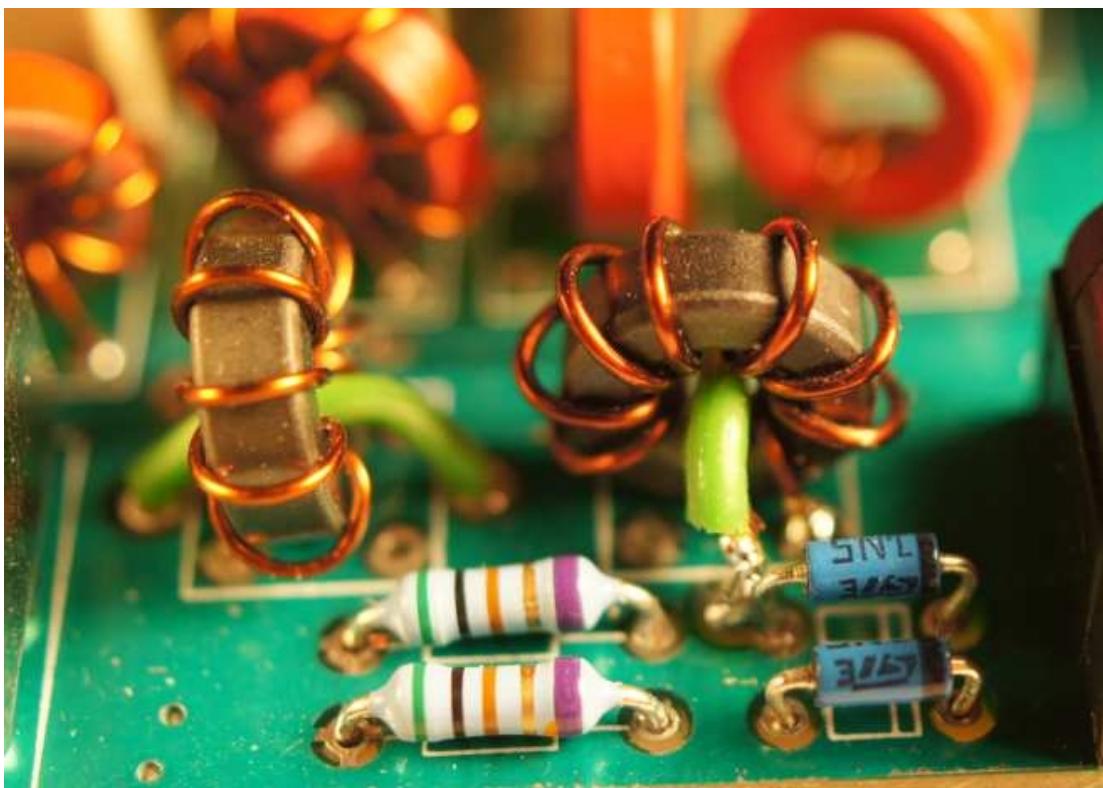
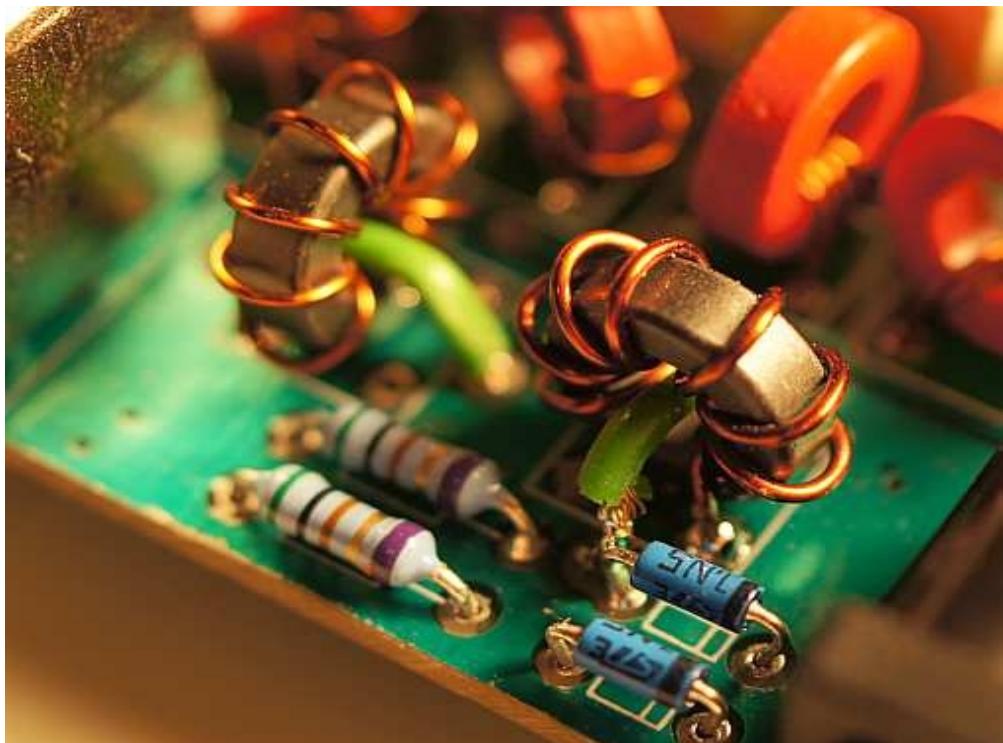
Cewki nawija się drutem nawojowym w emalii DNE o średnicy 0,5 lub 0,6 mm, a dwie ostatnie (po 25 zwojów) nieco cieńszym: 0,4 mm.



Fot.22. Cewki obwodu strojącego (sieci L) oraz cewki sprzęgacza pomiarowego.

- 10.** Zamontować cewki układu strojącego na płytce drykowanej.

- 11.** Nawiniąć cewki transformatorów układu pomiarowego (mostek Stocktona) (po 8 zwojów) i zamontować dokładnie tak, jak pokazano na fotografii (istotne są tutaj początki uzwojeń i sposób nawinięcia).



Fot.23/24. Sprzęgacz Tandem Match i układ pomiarowy tinyAAT QRP

12.Zamontować gniazda BNC-50 (TX i ANT) oraz gniazdo zasilania.

13.Przygotować obudowę dla **tinyAAT**. W przypadku wykorzystania jednej z gotowych obudów należy wwiernić otwory dla diod świecących (3 szt. o średnicy 3,1 mm) oraz przycisku TUNE (średnica 7 mm) i przełącznika trójpozycyjnego (średnica 6 mm).

Gniazda BNC-50 wymagają otworów o średnicy 13 mm, a gniazdo zasilania 7,5 mm.

- 14.** Zamontować diody świecące (zieloną, żółtą i czerwoną), odpowiednio je dopasowując do posiadanej obudowy. Do uznania pozostawia się kwestię zastosowania oprawek dla diod świecących - jeśli będą zastosowane, to należy wykonać odpowiednio większe otwory w płycie czołowej.
- 15.** Montaż zakończony! Przed włożeniem układów scalonych do podstavek należy sprawdzić poprawność montażu, podłączyć zasilanie (9..14V) oraz sprawdzić napięcia zasilania na doprowadzeniach zasilania w podstawkach. Jeśli są poprawne (5V), to wyłączyć zasilanie i włożyć układy scalone do podstavek.

Programowanie mikroprocesora

Do programowania mikroprocesora PIC16F876A przewidziano wykorzystanie złącza ISP, co pozwala na programowanie 'w układzie', tzn. bez wyjmowania układu z podstawki. Potrzebny jest odpowiedni programator oraz program na komputerze PC. Można wykorzystać jeden z wielu programatorów układów Microchip, który łatwo zbudować samodzielnie.

Program w postaci pliku w formacie hex ma nazwę **tinyAAT.vXX.hex**, gdzie XX to numer wersji programu, liczony od 1.0 (XX='10'). Plik ten wczytuje się do programu na komputerze PC, który wysyła go w postaci binarnej do pamięci flash mikroprocesora poprzez programator i złącze ISP.

Uruchamianie, strojenie, testy

tinyAAT nie ma żadnych elementów regulacyjnych wymagających strojenia podczas uruchamiania. Dla sprawdzenia, czy zasoby sprzętowe są sprawne, w programie zaimplementowano proste testy.

Tryb testowy (serwisowy) uruchamiany jest, jeśli przed włączeniem zasilania będzie naciśnięty przycisk TUNE, który należy przycisnąć aż do usłyszenia 'test' nadanego telegrafią.

W trybie testowym przełącznik rodzaju pracy wybiera rodzaj testu:

Położenie przełącznika	Świeci LED	Rodzaj testu
AUTO	zielona	naciskanie TUNE powoduje wybór kolejnych pozycji przekaźników sieci C i sygnalizację ustawienia telegrafią ('C0', 'C1', ..., 'C8')
SEMI	żółta	Po naciśnięciu TUNE dokonuje się pomiaru aktualnej częstotliwości sygnału oraz VSWR, a wynik podawany jest telegrafią: pierwsze cztery cyfry częstotliwości (np. 03,751 kHz będzie nadane jako: 'F 0375') lub 'nil' gdy brak sygnału, oraz dwie cyfry SWR (np. SWR 2,6 będzie nadane jako 'SWR 26'). Dalej nadawana jest wersja programu (np. 'V 1')
PASS	czerwona	Naciskanie TUNE powoduje wybór kolejnych pozycji przekaźników sieci L i sygnalizację ustawienia telegrafią ('L0', 'L1', ..., 'L8')

Wyjście z trybu testowego wymaga wyłączenia i ponownego włączenia zasilania, już bez naciśnięcia przycisku TUNE. Wtedy urządzenie wejdzie w normalny tryb pracy, sygnalizując to nadaniem powitania '**hi**'.

6. Obsługa tinyAAT QRP

Parametry techniczne

Nazwa urządzenia	Automatyczny tuner antenowy tinyAAT QRP .
Tryby pracy	AUTO - strojenie automatyczne SEMI - strojenie wyzwalane przyciskiem TUNE PASS - tuner wyłączony
Typ obwodu strojenia	konfiguracja 'L-match network'
Zakres częstotliwości	1,8 .. 30 MHz
Impedancia wejściowa	50 omów
SWR wejściowy	max. 1,14:1 w całym zakresie częstotliwości roboczych
Zakres strojonych SWR	10:1
Czas strojenia	max. 5 s, dostrajanie: max. 1 s
Moc minimalna	1 W (zalecane: 2 W)
Max. moc przenoszona	20 W
Zakres temperatur pracy	-30 .. +70 °C
Napięcie zasilania	9..14V
Pobór prądu	max 10 mA (strojenie), 0,1 mA (czuwanie)
Masa	bez obudowy: 170 g, z obudową (Hammond): 360 g
Wymiary	100x120x135 mm (obudowa Hammond)

Zasady bezpieczeństwa

- x Jeżeli tinyAAT jest dołączony do nadajnika bez układu ograniczającego moc w przypadku zbyt wysokiego SWR, to należy koniecznie zmniejszyć moc na czas strojenia, gdyż w przeciwnym wypadku może dojść do uszkodzenia tunera lub wzmacniacza końcowego nadajnika!**
- x Nie wolno podawać na wejście tunera sygnału o mocy ponad zadeklarowaną moc maksymalną, gdyż może to doprowadzić do uszkodzenia elementów tunera!**
- x Nie wolno łączyć w szereg tunerów automatycznych (zewnętrznych i wewnętrznych), gdyż mogą wtedy powstać bardzo duże przepięcia, które spowodują uszkodzenie elementów tunerów lub filtra LPF nadajnika!**

Użytkowanie i obsługa

tinyAAT QRP zasadniczo przeznaczony jest dla dostrajania do znamionowej impedancji nadajnika 50 omów, anten typu *long wire* o przypadkowej długości dla danego pasma

Należy unikać dostrajania anten, których długość jest zbliżona do połowy długości fali nadawanego sygnału. Zalecane długości to nieparzyste wielokrotności $\lambda/8$, tzn. $3/8 \lambda$, $5/8 \lambda$, $7/8 \lambda$ itd.

Najlepszym umiejscowieniem tunera jest punkt zasilania anteny - poprzez krótki odcinek jednoprzewodowej linii. Można go także stosować do dostrajania anten symetrycznych, np. nierezonansowych anten typu *doublet*, zasilanych linią symetryczną.

W przypadku dołączania anten niesymetrycznych, konieczne jest dołączenie masy tunera do dobrego uziemienia lub przeciwwagi. W zastosowaniach mobilnych (samochód, łódź) należy dołączyć masę tunera do obudowy (karoserii) albo innego punktu połączonego z masą (karoserią).

Sposób użytkowania tinyAAT QRP nie odbiega od innych typowych tunerów antenowych. Po włączeniu zasilania tuner zgłasza się sygnałem telegraficznym 'HI' poprzez wbudowany buzzer. Przełącznikiem 'auto/semi/pass' wybieramy jeden z trzech rodzajów pracy: automatyczny, półautomatyczny lub wyłączamy tuner (a raczej: omijamy układ strojący).

Praca w trybie wyłączenia - bypass ('pass')

W tym trybie sieć strojąca jest nieaktywna, tzn. wszystkie cewki są zwarte, a kondensatory odłączone. Tuner przenosi sygnał bezpośrednio z wejścia TX na wyjście ANT.

Praca w trybie półautomatycznym ('semi')

Strojenie wyzwalane jest krótkim naciśnięciem przycisku 'tune' (strojenie). Tuner oczekuje przez 3 sekundy na sygnał na wejściu TX. Sygnał powinien mieć poziom co najmniej 1 W (zalecane: 2 W) ale nie więcej niż 20W i być w zakresie częstotliwości krótkofalowych: 1,8 .. 30 MHz. Brak sygnału sygnalizowany jest akustycznie (?) i urządzenie przechodzi w stan oczekiwania na kolejne wyzwolenie strojenia przyciskiem 'tune'.

Po pojawienniu się sygnału w czasie do 3 sekund od naciśnięcia przycisku 'tune', tuner wykonuje próbę dostrojenia obciążenia poprzez wykonanie cyklu algorytmu strojenia, opisanego wcześniej. Osiągnięcie dostrojenia sygnalizowane jest akustycznie jako 'R', zaś brak sukcesu jako seria krótkich sygnałów, po czym tuner oczekuje na kolejne wyzwolenie strojenia.

Praca w trybie automatycznym ('auto')

W tym trybie algorytm strojenia uruchamiany jest automatycznie po spełnieniu warunków:

- aktywny sygnał na wejściu TX o wymaganym poziomie i częstotliwości
- SWR gorszy niż 2,0:1, a częstotliwość zmieniła się od ostatniego strojenia

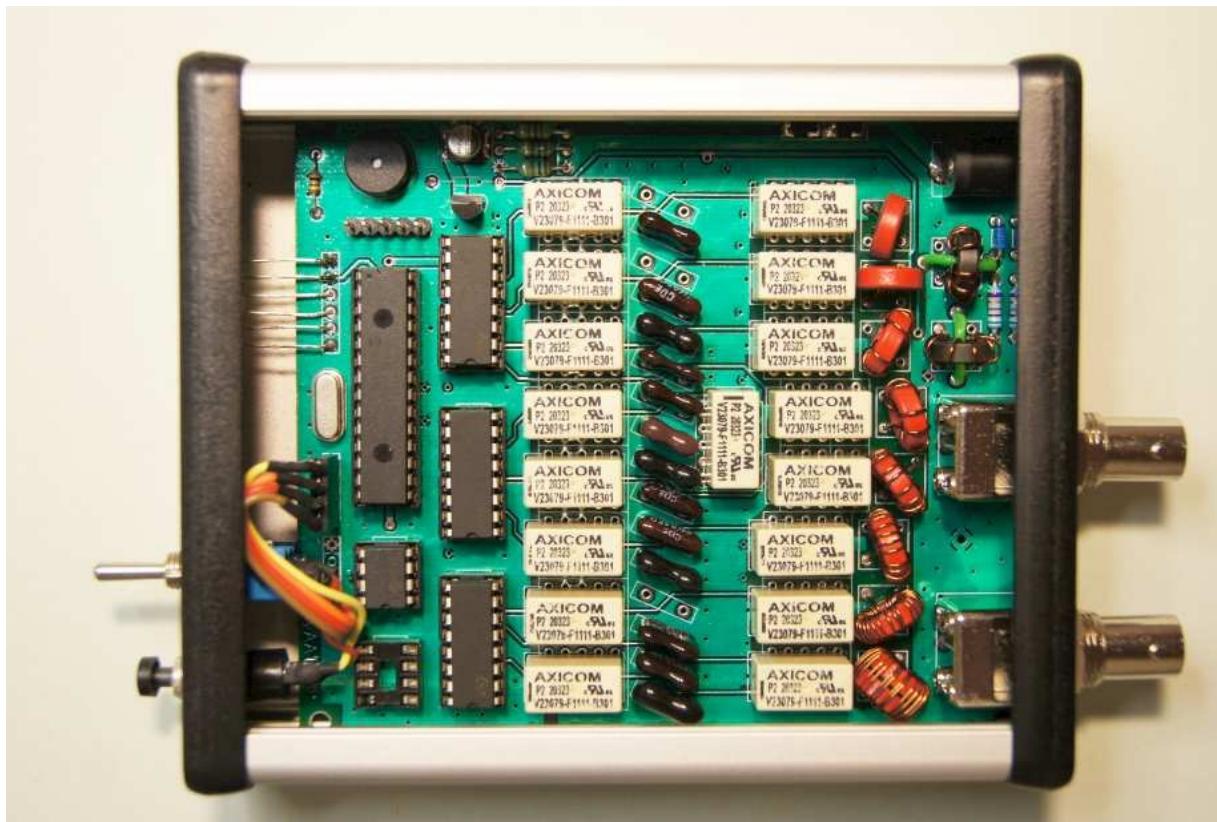
Wtedy automatycznie podejmowany jest cykl strojenia.

7. Modyfikacje i uzupełnienia

W czasie uruchamiania i testów przedstawionego w niniejszym opisie prototypu **tinyAAT QRP**, stwierdzono konieczność modyfikacji i niezbędnych poprawek. Jednocześnie stwierdzono kilka błędów i niedociągnięć w projekcie płytki drukowanej (PCB). Oprogramowanie urządzenia również może być dalej rozwijane o zapowiadane opcje (komunikacja szeregową) oraz można modyfikować (ulepszać) algorytm strojenia, dodając kolejne heurystyki przyspieszające strojenie lub poprawiające jego jakość.

Wszystkie te poprawki i modyfikacje będą wprowadzone w kolejnej wersji REV.B płytka drukowanej oraz wersji 2.0 oprogramowania **tinyAAT QRP**, zaś zebrane doświadczenia (zarówno przy tej konstrukcji, jak i przy **easyATU-HMG**) zostaną wykorzystane przy budowie następnego tunera, tym razem w wersji QRO (do 500W przenoszonej mocy ciągłej).

Jako że już teraz wszystkie pliki projektu są dostępne publicznie (wyłącznie do użytku niekomercyjnego - zob. końcowe Zastrzeżenia), to każdy może próbować samodzielnie dokonywać modyfikacji i ulepszeń - przedstawiony prototyp **tinyAAT QRP** jest dobrą bazą wyjściową do konstrukcji własnego automatycznego tunera antenowego.



Fot.25. Widok wnętrza tinyAAT QRP w obudowie Hammond.



Fot.26. Widok płyt czołowych prototypów tinyAAT QRP.



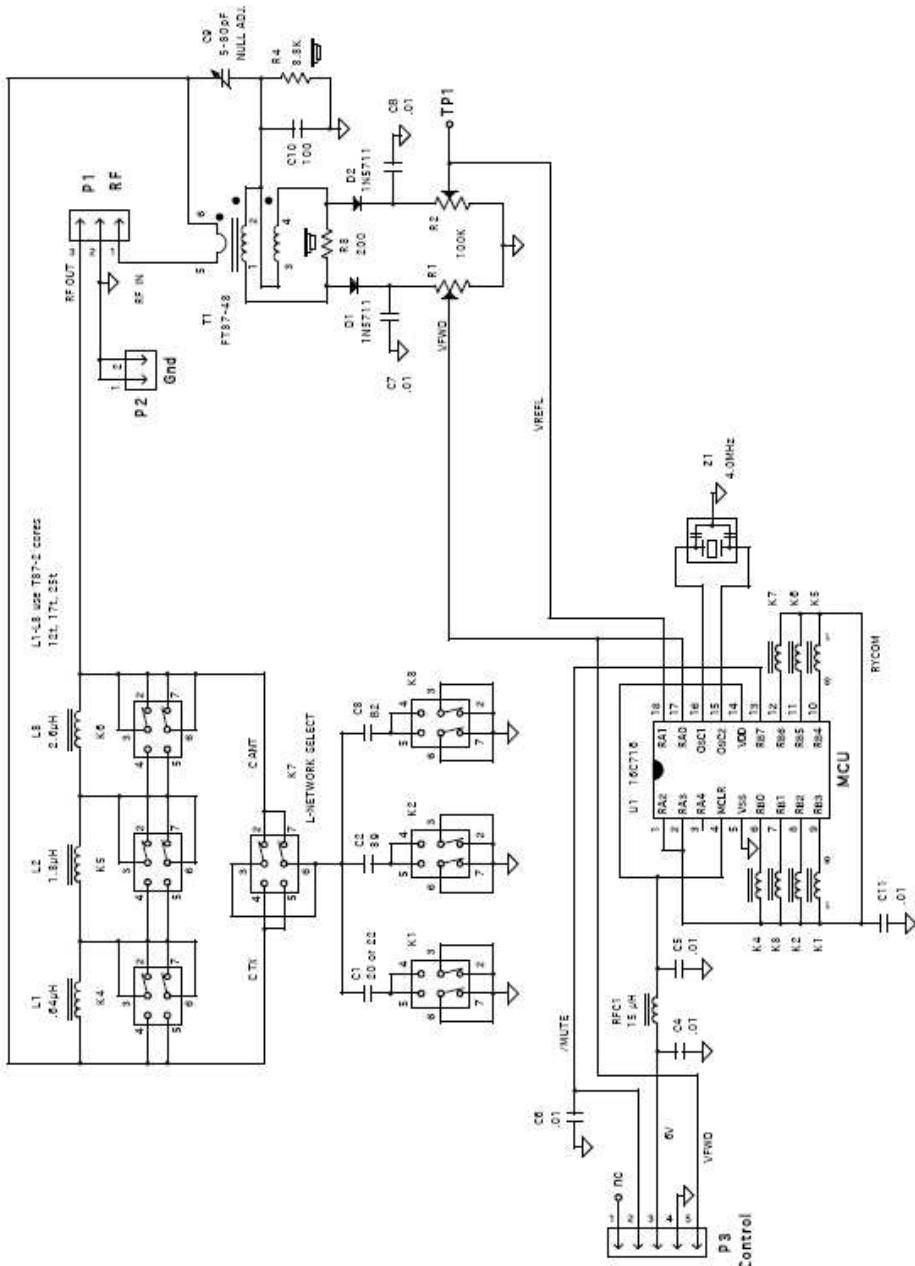
Fot.27. Widok płyt tylnych prototypów tinyAAT QRP.

8. Dodatki

A. Schematy ideowe tunerów antenowych QRP

■ KXAT1 Elecraft

KXAT1 Schematic

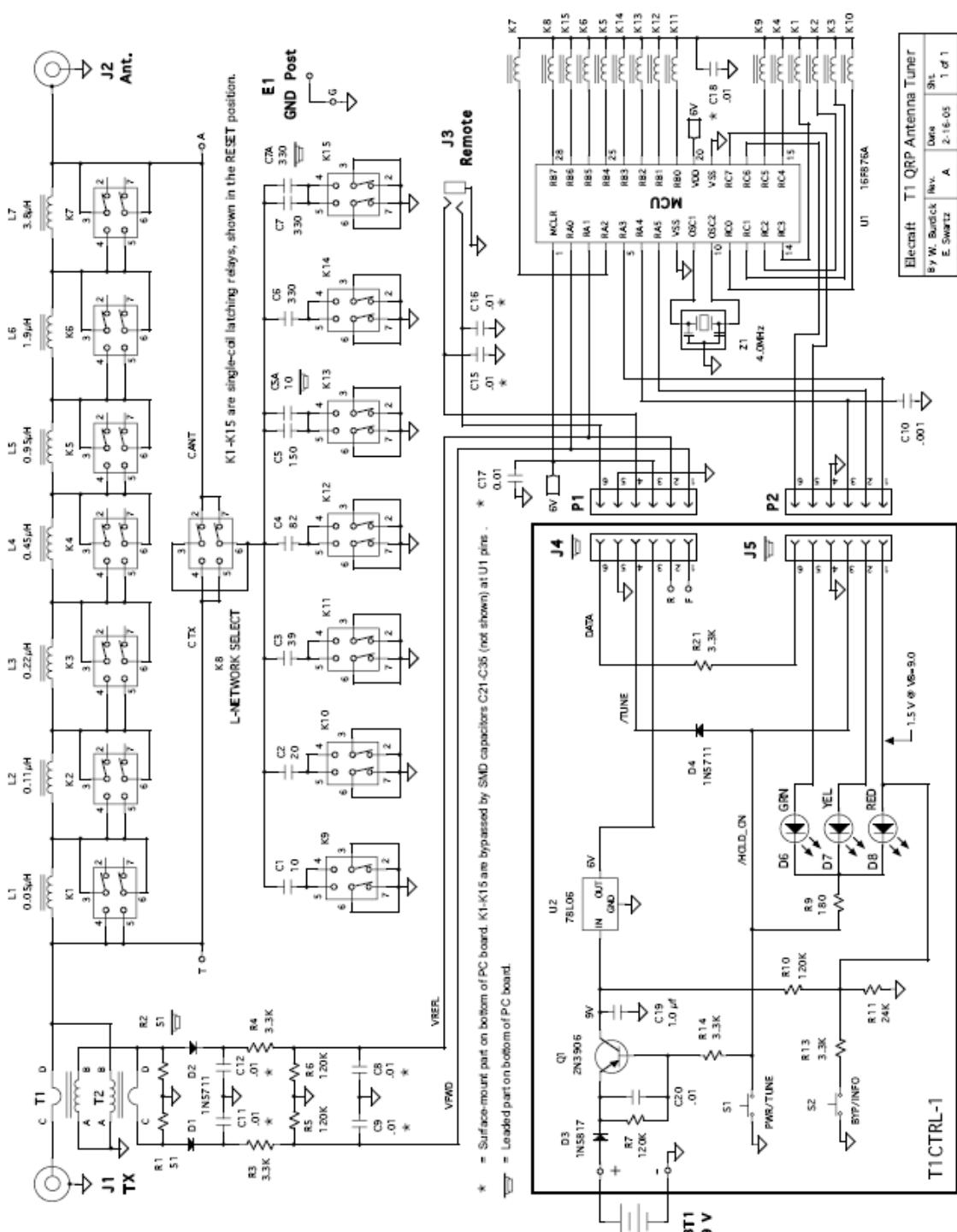


NOTES.

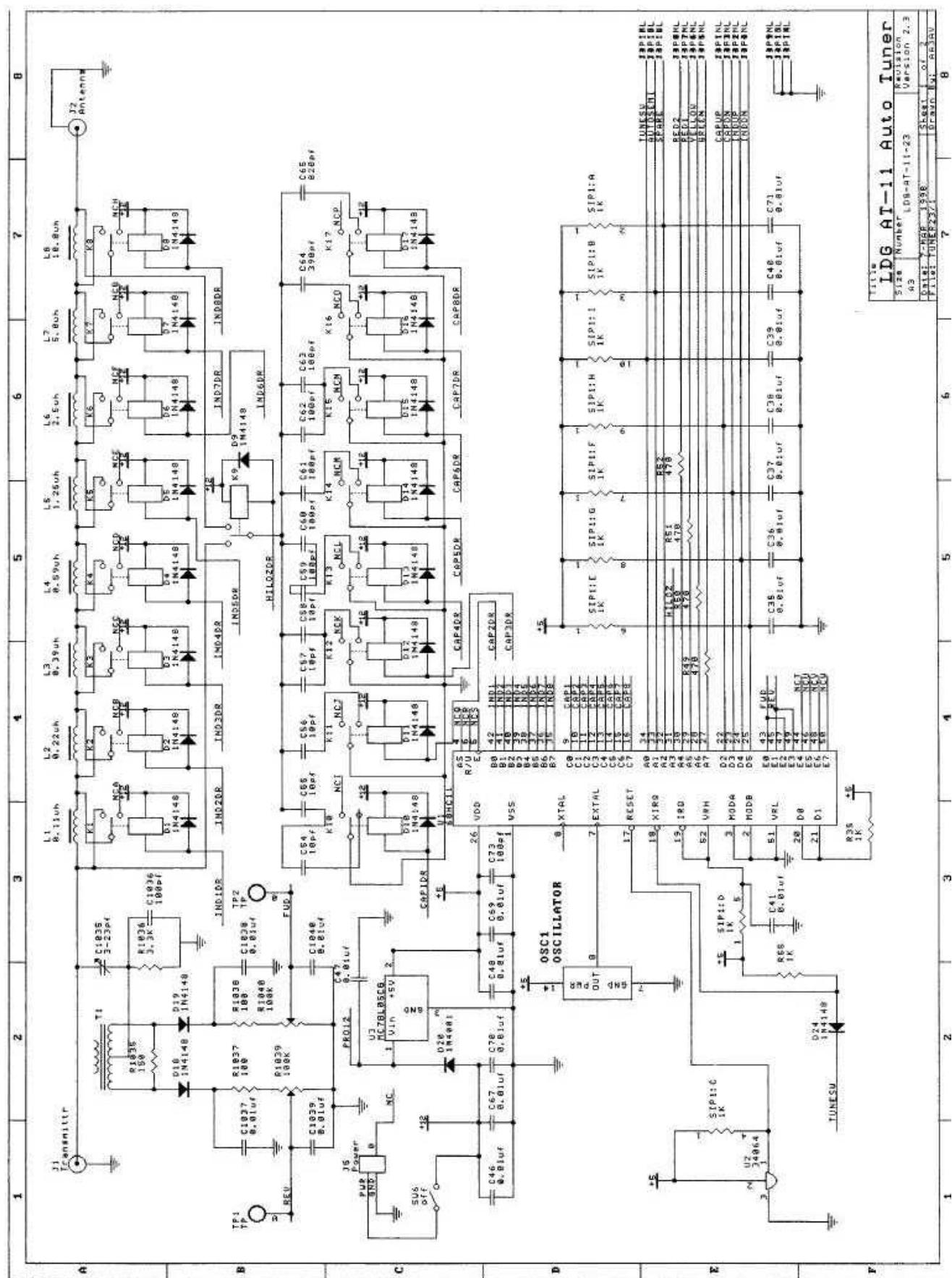
1. K1-K7 are single-coil latching relays, shown in the RESET position.
 2.  indicates component mounted on bottom of PC board.

KXAT-TV Antenna Tuner

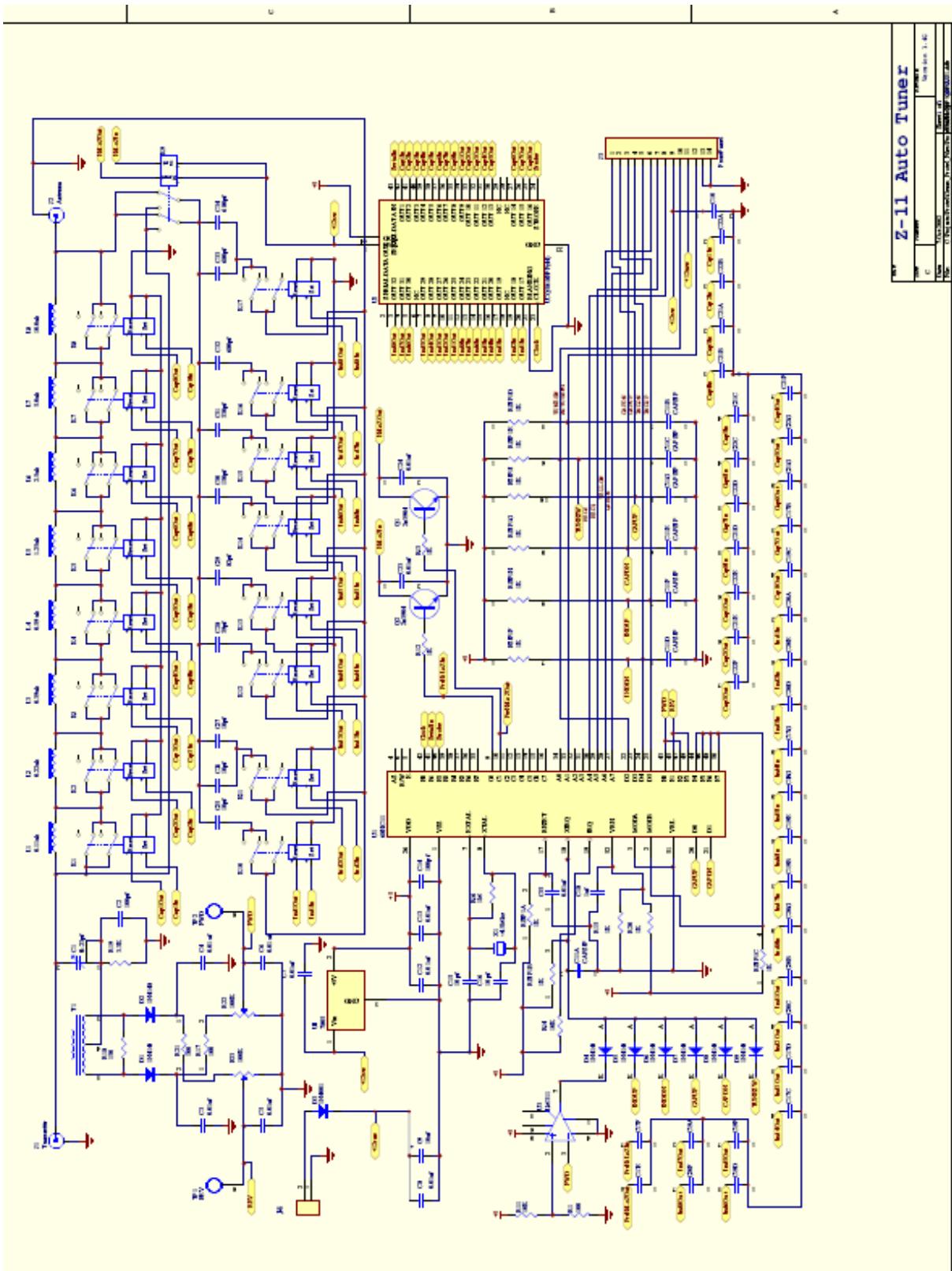
■ T1 QRP Antenna Tuner Elecraft



LDG AT11

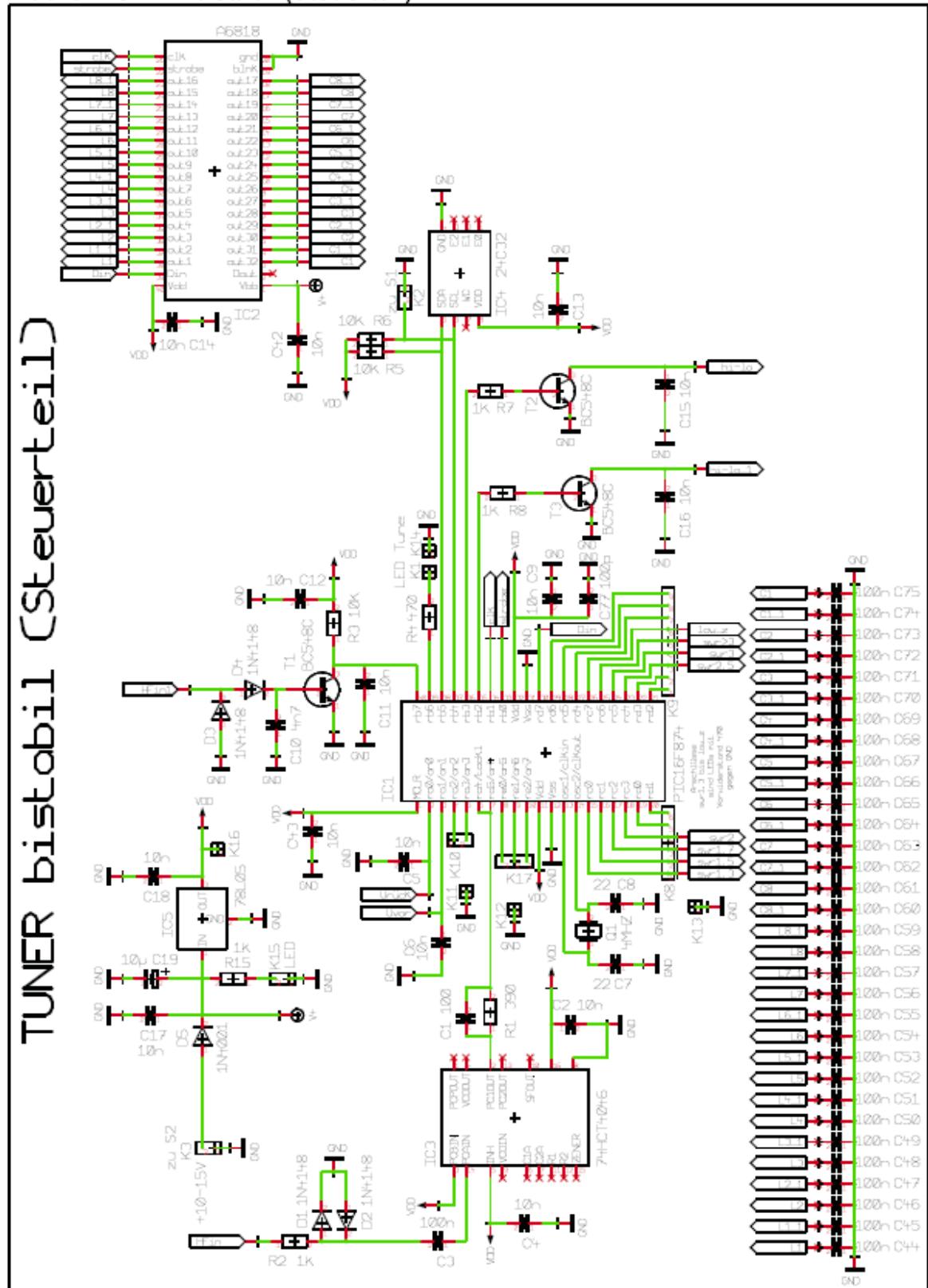


■ LDG Z11



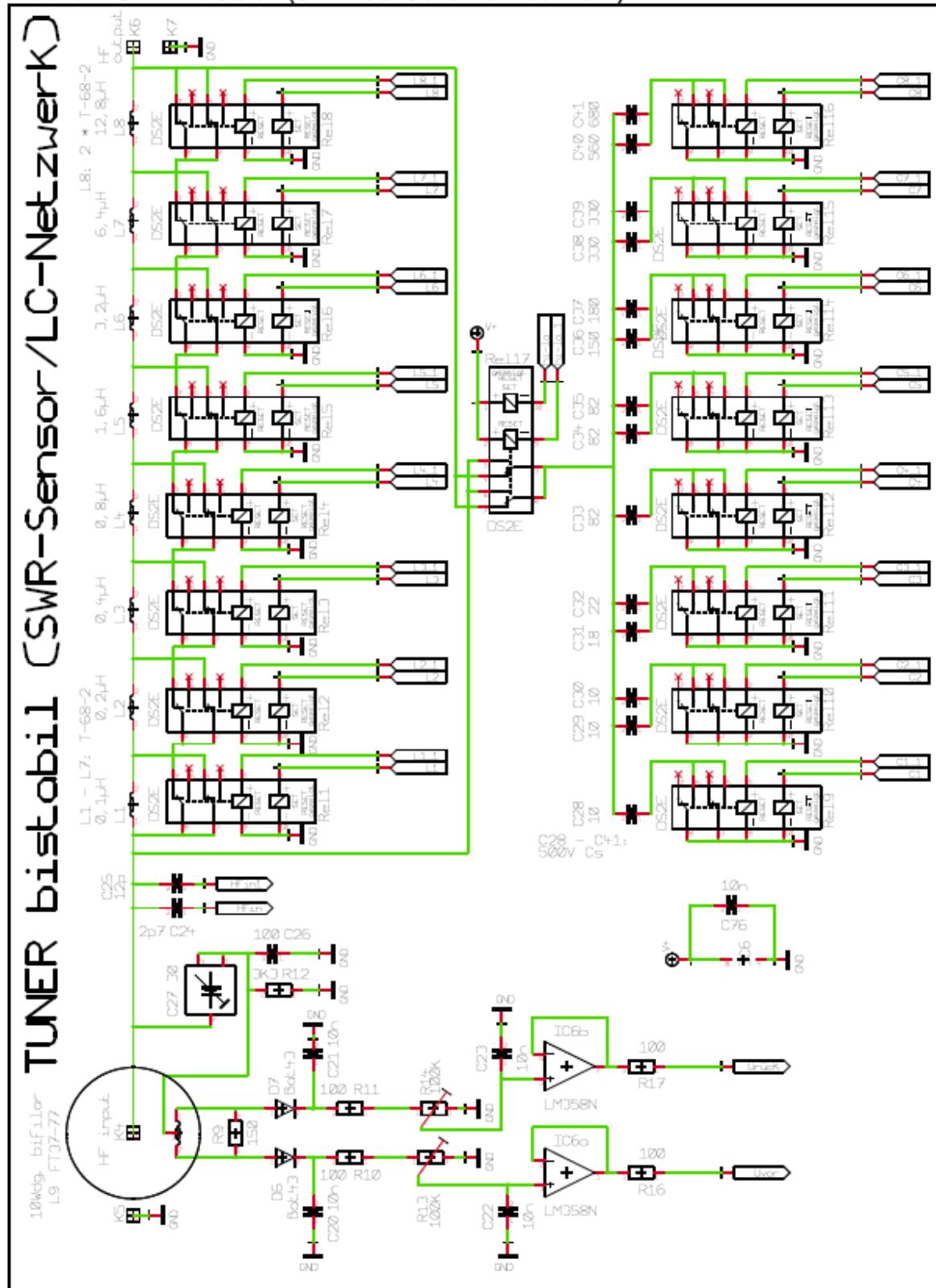
■ Tuner antenowy QRP DL5MGD (cz.1)

Abb. 6: TUNER bistabil (Steuerteil)

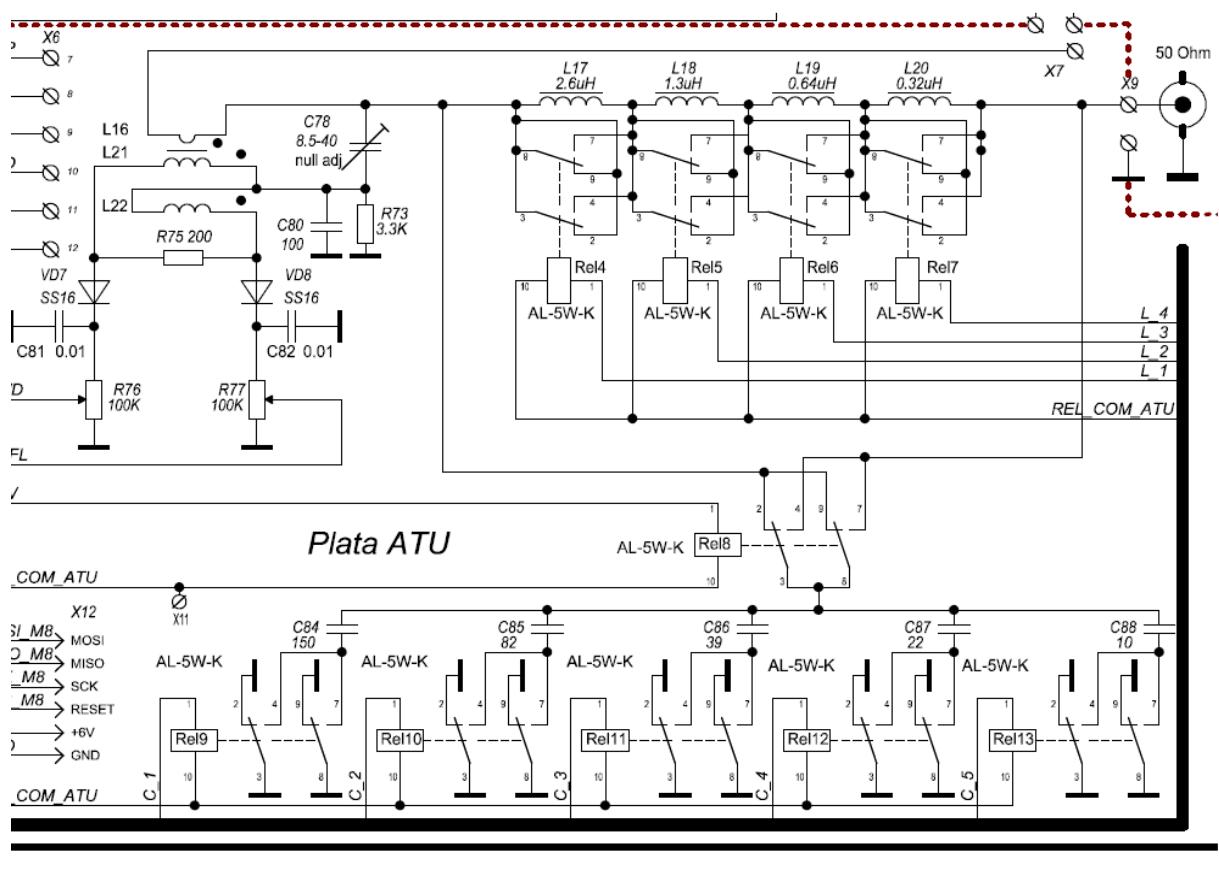


■ Tuner antenowy QRP DL5MGD (cz.2)

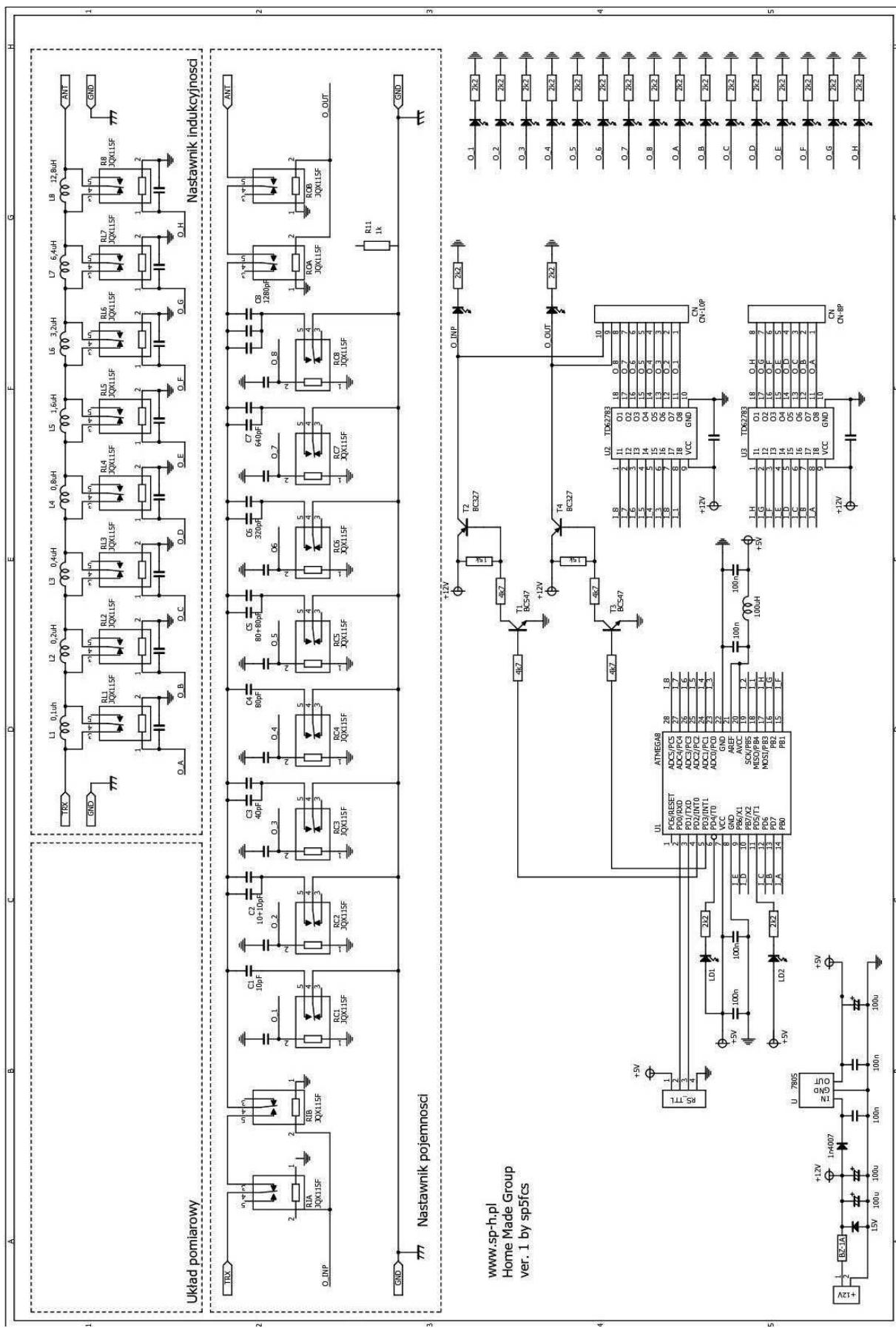
Abb. 5: TUNER bistabil (SWR Sensor / LC-Netzwerk)



■ Moduł tunera w Pocket TRX UT4UHC



■ Tuner antenowy easyATU SP-HM Group



B. Karty katalogowe

1. Przekaźnik AXICOM

P2 Relay

V23079

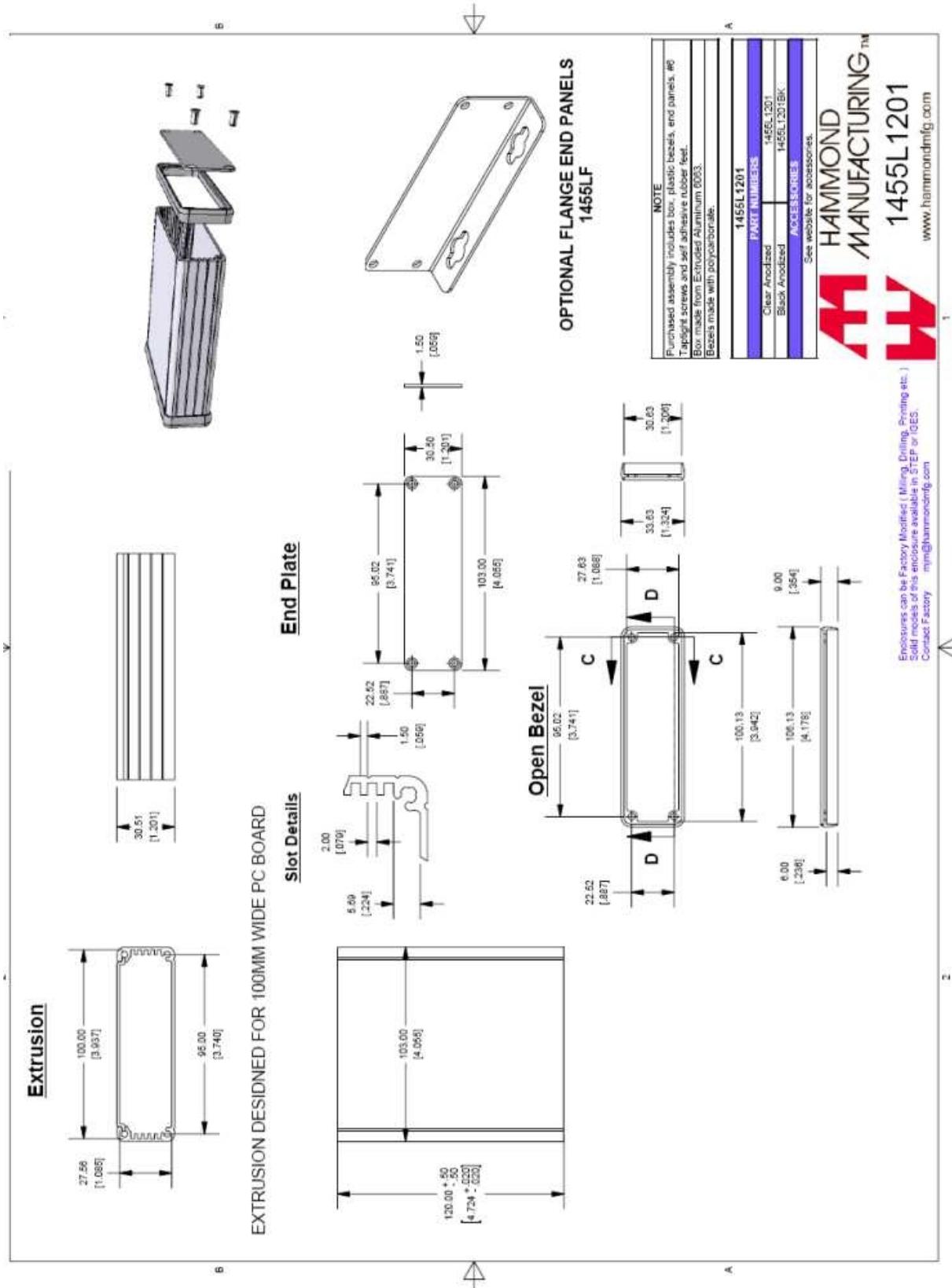
AXICOM

Contact Data	
Number of contacts and type	2 changeover contacts
Contact assembly	Bifurcated contacts
Contact material	Silver nickel, gold-covered
Limiting continuous current at max. ambient temperature	2 A
Maximum switching current	5 A
Maximum switching voltage	220 Vdc 250 Vac
Maximum switching capacity	60 W, 62.5 VA
Thermoelectric potential	< 10 µV
Minimum switching voltage	100 µV
Initial contact resistance / measuring condition: 10 mA / 20 mV	< 50 mΩ
Electrical endurance	at 12 V / 10 mA typ. 5 x 10 ⁷ operations at 6 V / 100 mA typ. 1 x 10 ⁷ operations at 60 V / 500 mA typ. 5 x 10 ⁶ operations at 30 V / 1000 mA typ. 1 x 10 ⁶ operations at 30 V / 2000 mA typ. 2 x 10 ⁵ operations
Mechanical endurance	typ. 10 ⁸ operations
UL contact ratings	220 Vdc / 0.24 A - 60 W 125 Vdc / 0.24 A - 30 W 250 Vac / 0.25 A - 62.5 VA 125 Vac / 0.5 A - 62.5 VA 30 Vdc / 2 A - 60 W

Insulation	
Insulation resistance at 500 VDC	> 10 ⁹ Ω
Dielectric test voltage (1 min)	
between coil and contacts (Relay with 1 coil)	1500 Vrms
between adjacent contact sets	1000 Vrms
between open contacts	1000 Vrms (1500 Vrms on request)
Surge voltage resistance	
according to Bellcore TR-NWT-001089 (2 / 10 µs)	2500 V
between coil and contacts (Relay with 1 coil)	2500 V
between adjacent contact sets	2000 V
between open contacts	
according to FCC 68 (10 / 180 µs)	1500 V
between coil and contacts (Relay with 1 coil)	1500 V
between adjacent contact sets	1500 V
between open contacts	

High Frequency Data	
Capacitance	
between coil and contacts	max. 2 pF
between adjacent contact sets	max. 1.5 pF
between open contacts	max. 1 pF
RF Characteristics	
Isolation at 100 / 900 MHz	-39.0 dB / -20.7 dB
Insertion loss at 100 / 900 MHz	-0.02 dB / -0.27 dB
V.S.W.R. at 100 / 900 MHz	1.04 / 1.40

2. Obudowa Hammond



3. Mikroprocesor PIC16F876A



PIC16F87XA

28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC – 20 MHz clock input
DC – 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of Flash Program Memory,
Up to 388 x 8 bytes of Data Memory (RAM),
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin
PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during Sleep via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscale
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™
(Master mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) – 8 bits wide with
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital
Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference
(VREF) module
 - Programmable input multiplexing from device
inputs and internal voltage reference
 - Comparator outputs are externally accessible

Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash
program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM
memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)
via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

CMOS Technology:

- Low-power, high-speed Flash/EEPROM
technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I²C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2

4. Układ scalony 74HC595

Philips Semiconductors

Product specification

8-bit serial-in, serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

74HC595; 74HCT595

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	74HC			74HCT			UNIT
			MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.	
V _{cc}	supply voltage		2.0	5.0	6.0	4.5	5.0	5.5	V
V _i	input voltage		0	—	V _{cc}	0	—	V _{cc}	V
V _o	output voltage		0	—	V _{cc}	0	—	V _{cc}	V
T _{amb}	ambient temperature		-40	—	+125	-40	—	+125	°C
t _{r, t_f}	input rise and fall time	V _{cc} = 2.0 V	—	—	1000	—	—	—	ns
		V _{cc} = 4.5 V	—	6.0	500	—	6.0	500	ns
		V _{cc} = 6.0 V	—	—	400	—	—	—	ns

LIMITED VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134); voltages are referenced to GND (ground = 0 V).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V _{cc}	supply voltage		-0.5	+7.0	V
I _{ik}	input diode current	V _i < -0.5 V to V _i > V _{cc} + 0.5 V	—	±20	mA
I _{ok}	output diode current	V _o < -0.5 V to V _o > V _{cc} + 0.5 V	—	±20	mA
I _o	output source or sink current	V _o = -0.5 V to V _{cc} + 0.5 V Q7' standard output Qn bus driver outputs	— — —	±25 ±35	mA
I _{cc, Ignd}	V _{cc} or GND current		—	±70	mA
T _{stg}	storage temperature		-65	+150	°C
P _{tot}	power dissipation	T _{amb} = -40 to +125 °C; note 1	—	500	mW

Note

- For DIP16 packages: above 70 °C derate linearly with 12 mW/K.
For SO16 packages: above 70 °C derate linearly with 8 mW/K.
For SSOP16 packages: above 60 °C derate linearly with 5.5 mW/K.
For TSSOP16 packages: above 60 °C derate linearly with 5.5 mW/K.
For DHVQFN16 packages: above 60 °C derate linearly with 4.5 mW/K.

9. Literatura

Poniżej wymieniono jedynie najważniejsze pozycje literatury, które były bezpośrednio wykorzystywane przy projekcie. Wszystkie podane pozycje są dostępne w księgarniach wysyłkowych (odpłatnie) bądź na stronach internetowych.

Książki

- 1.** Radio Frequency Design, Wes Hayward, W7ZOI, ARRL 1994-2004
- 2.** RF Circuits design, Chris Bowick, Elsevier Inc., 2008
- 3.** Poradnik Ultrakrótkofałowca, Zdzisław Bieńkowski, SP6LB, WKiŁ, 1988
- 4.** Fale i anteny, Jarosław Szóstka, WKiŁ, 2006
- 5.** Rothamels Antennenbuch, Karl Rothammel DM2ABK, Alois Krischke DJ0TR, DARC

Artykuły

- 1.** „An Automatic Antenna Tuner: The AT-11”, Dwayne L. Kincaid, WD8OYG, QST 06/96
- 2.** „Der AT-11 und sein kleiner Bruder”, Max Perner DL7UMO, Funkamateur 10/98
- 3.** „Automatic Tuning of Antennae”, M.J.Underhill and P.A. Lewis, SERT Journal, 09/74
- 4.** „Looking into impedance”, C. Bateman, Electronics World, 08/97
- 5.** „The Bruene Directional Coupler and Transmission Lines”, G. Bold, ZL1AN, 12/2006
- 6.** „An Inside Picture of Directional Wattmeters”, W.B. Bruene, QST, 04/59
- 7.** „Understanding SWR by Example”, Darrin Walraven, K5DVW, QST 11/2009
- 8.** „PicATune - an intelligent antenna tuning unit”, P. Rhodes, G3XJP, RadCom, 09/2000
- 9.** „A Quiet Antenna Tuner”, Tony Lymer, GM0DHD, QEX, 05/2002
- 10.** „Automatic Tuning of Antennae”, M.J.Underhill, P.A.Lewis, Mullard Research Lab, SERT Journal, Vol 8, September 1974 (reprinted from Mullard Research Lab. Ann. Rev. 1973)

10. Odnośniki do stron internetowych

Skrzynka przy antenie, Forum SP-HomeMade
[<http://sp-hm.pl/thread-477.html>](http://sp-hm.pl/thread-477.html)

Skrzynka antenowa HMG-easyATU, Forum SP-HomeMade
[<http://sp-hm.pl/thread-520.html>](http://sp-hm.pl/thread-520.html)

Automaticher QRP Antennentuner, Andreas Stefan, DL5MGD
[<http://www.dl5mgd.de/tuner/ATU.htm>](http://www.dl5mgd.de/tuner/ATU.htm)

CW трансивер Pocket-TRX UT4UHC
<http://www.pocket-trx.narod.ru/>

Automatic Antenna Tuners & Couplers, Adam M. Farson, VA7OJ
[<http://www.ab4oj.com/atu/main.html>](http://www.ab4oj.com/atu/main.html)

Will a high SWR blow up my transmitter?, Stephen C. Ward, WC7I
[<http://www.wc7i.com/reflection%20section.htm>](http://www.wc7i.com/reflection%20section.htm)

Współczynnik fali stojącej SWR - wyjaśnienie, Jacek Sieroń, SP8BAI
(na podstawie poz. Literatury)
[<http://www.pzk.lublin.pl/images/biuletyny/2006/Biuletyn6/Biuletyn6_2006.htm>](http://www.pzk.lublin.pl/images/biuletyny/2006/Biuletyn6/Biuletyn6_2006.htm)

Obwody dopasowujące „L”, Marcin Świetlicki, SP5JNW
[<http://www.sp5jnw.sem.pl/technika/obwl/obwl.html>](http://www.sp5jnw.sem.pl/technika/obwl/obwl.html)

From Transmitter to Antenna, David Knight, G3YNH
[<http://www.g3ynh.info/zdocs/index.html>](http://www.g3ynh.info/zdocs/index.html)

Impedance Matching. Part 2: Popular Matching Networks, David Knight, G3YNH
[<http://www.g3ynh.info/zdocs/z_matcing/part_2.html>](http://www.g3ynh.info/zdocs/z_matcing/part_2.html)

R.A.S.T.U. Automatic Antenna Tuner, Team IK0OZG, IK0GMM, IK0OTG
[<http://sites.google.com/site/ik0gmm/rastu-automatic-antenna-tuner>](http://sites.google.com/site/ik0gmm/rastu-automatic-antenna-tuner)

Автоматический антенный тюнер KB-трансивера, Alexander Karnaukh, UR4QBP
[<http://ur4qbp.ucoz.ua/publ/3-1-0-18>](http://ur4qbp.ucoz.ua/publ/3-1-0-18)

Firmy

LDG Electronics - <<http://www.ldgelectronics.com>>
Elecraft - <<http://www.elecraft.com>>
SGC - <<http://www.sgcworld.com>>

Zastrzeżenia

Wszystkie nazwy własne oraz zastrzeżone nazwy i znaki towarowe występujące w niniejszym opracowaniu zostały użyte wyłącznie w celu przedstawienia oraz określenia opisywanych produktów i pozostają własnością ich posiadaczy.

Schematy elektryczne, ideowe i blokowe oraz ich fragmenty, fotografie urządzeń i ich fragmentów, zostały użyte jako cytaty dla przedstawienia przeglądu rozwiązań technicznych, zaś prawa autorskie do nich pozostają wyjątkową własnością ich posiadaczy.

Posiadaczem wszelkich praw do niniejszego opracowania, schematów elektrycznych i blokowych, fotografii oraz wszelkich innych plików, w tym programu (firmware) w wersji źródłowej i binarnej, dotyczących automatycznego tunera antenowego **tinyATU QRP**, jest **Waldemar Sznajder 3Z6AEF**, który zgadza się i dozwala na dowolne ich wykorzystanie wyłącznie do użytku niekomercyjnego. Wszelkie komercyjne wykorzystanie wymaga każdorazowo pisemnej zgody autora, po określeniu warunków takiego wykorzystania. W każdym przypadku zastrzega się obowiązek podawania źródła pochodzenia wykorzystanych materiałów i nazwy posiadacza praw autorskich.

Jakkolwiek autor dołożył wszelkich możliwych starań, zgodnie ze swoją najlepszą wiedzą i umiejętnościami oraz dobrą praktyką inżynierską, aby urządzenie **tinyAAT QRP** oraz jego oprogramowanie działało bezbłędnie, to nie gwarantuje poprawnego działania w każdym przypadku, miejscu i czasie. Autor nie ponosi odpowiedzialności za ewentualne szkody, zarówno materialne jak i niematerialne, faktyczne i domniemane, które mogą lub mogłyby wyniknąć w związku z wykorzystaniem urządzenia, jego oprogramowania lub plików z nimi związanych. Wykorzystanie urządzenia, oprogramowania oraz związanych z nimi plików następuje na wyjątkową, własną odpowiedzialność i ryzyko wykorzystującego.