

Szerokopasmowy generator AM/FM część 1

kit AVT-283

Opisany ponad rok temu generator szerokopasmowy (EP1/94) cieszył się dużym zainteresowaniem Czytelników. Jednak problemy z zakupem potrójnych diod pojemnościowych typu BB113 oraz wysoka cena układów scalonych MC1648 (SP1648) spowodowały, że po wyczerpaniu się zapasów magazynowych tych podzespołów, w ofercie AVT pozostały jedynie płytki drukowane do tego urządzenia (AVT-133).

Zdajemy sobie sprawę, jak bardzo potrzebnym urządzeniem jest generator w.c.z., dlatego postanowiliśmy opracować inną wersję tego urządzenia. Generator jest wyposażony w cyfrową skalę częstotliwości, która znacznie ułatwia jego obsługę.

W pierwszej części artykułu przedstawiamy szczegółowy opis „serca” przyrządu - generatora wielkiej częstotliwości oraz zasilacz przedstawimy w kolejnym wydaniu EP.

PROJEKT
Z OKŁADKI



Opisany poniżej generator jest kompletnym urządzeniem (zasilanym z sieci lub zewnętrznego zasilacza 5 i 12V) pracującym w zakresie od około 400kHz do 150MHz, dającym na wyjściu sygnał sinusoidalny, a także przebieg zmodulowany FM lub AM. Częstotliwość modulująca wewnętrznego generatora wynosi około 1kHz. W urządzeniu istnieje możliwość dołączenia zewnętrznego generatora modulującego w celu uzyskania modulacji częstotliwości bądź amplitudy o innych parametrach. Przewidziano również możliwość wykorzystania wewnętrznej skali częstotliwości do pomiarów częstotliwości zewnętrznych sygnałów o dowolnym kształcie i maksymalnej częstotliwości do 200MHz. Sądzić należy, że układ ten spełni wymagania większości elektroników a także krótkofalowców, bowiem pokrywa on cały zakres KF i część zakresu VHF, w tym popularne pasmo 2m. Należy jednak zdawać sobie sprawę, że uproszczona do niezbędnego minimum konstrukcja generatora nie może

być porównywana do profesjonalnych, bardzo drogiego układów pracujących z kilkoma pętłami fazowymi PLL czy FLL. Chodzi tutaj głównie o gorszą stabilność częstotliwości na wyższych zakresach oraz o nierówną wartość dewiacji częstotliwości w całym zakresie pasma.

Kompletny generator składa się z trzech zasadniczych bloków wykonanych na oddzielnych płytkach drukowanych:

- szerokopasmowy generator AM/FM do około 150MHz
- cyfrowa skala częstotliwości do 150...200MHz
- zasilacz stabilizowany +5V/+12V

Szerokopasmowy generator AM/FM

Punktem wyjściowym do opracowania prezentowanego szerokopasmowego generatora był bardzo prosty, lecz mało znany układ generatora (rysunek 1), charakteryzujący się jednak dobrymi parametrami. W skład tego układu wchodzi jedynie dwa identyczne tranzystory p-n-p oraz jeden rezys-

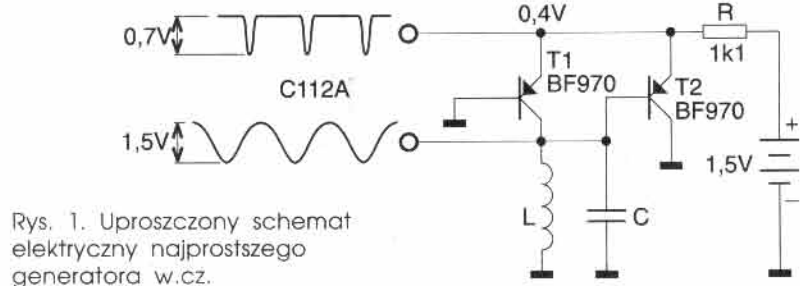
tor, nie licząc obwodu LC, który jest niezbędnym elementem każdego generatora w.cz. Częstotliwość pracy generatora jest uzależniona od obwodu rezonansowego LC zgodnie ze wzorem:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Układ pracuje w bardzo szerokich granicach od kilkudziesięciu Hz poprzez zakres m.cz aż do kilkuset MHz, oczywiście przy zachowaniu odpowiedniego stosunku L/C. Jest to jeden z nielicznych układów znanych autorowi, który pracuje w tak szerokich granicach. Tranzystory połączone tak jak na rysunku zapewniają dodatnie sprzężenie zwrotne, niezbędne do od tłumienia obwodu LC, czyli do zapewnienia drgań ciągłych.

Drugą zaletą układu jest dobra stabilność częstotliwości, na którą ma wpływ brak dodatkowych dzielników pojemnościowych oraz niskie napięcie zasilania - praca tranzystorów w zakresie nasycenia. W naszym przypadku dodatnie sprzężenie zwrotne następuje w obwodzie emiterów tranzystorów. Wartość prądu płynącego przez złącza tranzystorów, ustalane przy pomocy rezystora R, w niewielkim stopniu wpływa na wartość częstotliwości wyjściowej. Jak wykazały eksperymenty, minimalne zasilanie układu może wynosić 0,5V. Nominalne napięcie pracy układu, przy którym uzyskuje się napięcie wyjściowe w.cz. zbliżone do sinusoidy, wynosi 1,5V (przy R=1kΩ) co może być wygodne z uwagi na zasilanie z jednego ogniwa R6. W każdym razie, ustalenie punktu pracy generatora w celu uzyskania najbardziej czystego sygnału odbywa się poprzez korekcję wartości rezystora R, a tym samym prądu płynącego przez złącze.

Schemat elektryczny właściwego układu generatora AM/FM jest przedstawiony na **rysunku 2**. Podobnie jak w generatorze próbnym (rys. 1) zastosowano tutaj 2 tranzystory p-n-p typu BF970. Można oczywiście zastosować dwa tranzystory n-p-n, ale wtedy obwód rezonansowy będzie znajdował się od strony dodatniej napięcia zasilania. Ponieważ układ ma pracować w szerokim zakresie, zastosowano rozbudowany obwód re-



Rys. 1. Uproszczony schemat elektryczny najprostszego generatora w.cz.

zonansowy LC. Cewka generatora składa się z siedmiu sekcji oznaczonych symbolami L1...L7. Do strojenia wykorzystano podwójny agregat odbiorczy (ELTRA), przy czym dwie równoległe połączone sekcje UKF (2x14,7pF) włączone są na stałe. Pracują one na najwyższym zakresie, czyli do 150MHz. Dwie równoległe połączone sekcje kondensatora AM (2x253pF) pracują na sześciu zakresach od 0,4 do 90MHz.

Kondensator jest wyposażony w przekładnię zębatą o przełożeniu 3:1, które w wielu przypadkach jest zbyt małe dla zapewnienia wystarczającej precyzji w nastawieniu wymaganej wartości częstotliwości (spotyka się także tego typu kondensatory wyposażone w przekładnię 1,5:1). Z tego też względu, chcąc uniknąć dodatkowej przekładni mechanicznej, zdecydowano się na dodatkowy precyzer w postaci potencjometru.

Jak już powiedziano, zakres pracy generatora zależy od indukcyjności cewki. Na najniższym zakresie, czyli 400kHz, pracują wszystkie sekcje cewek połączone szeregowo (L1+L2+L3+L4+L5+L6+L7).

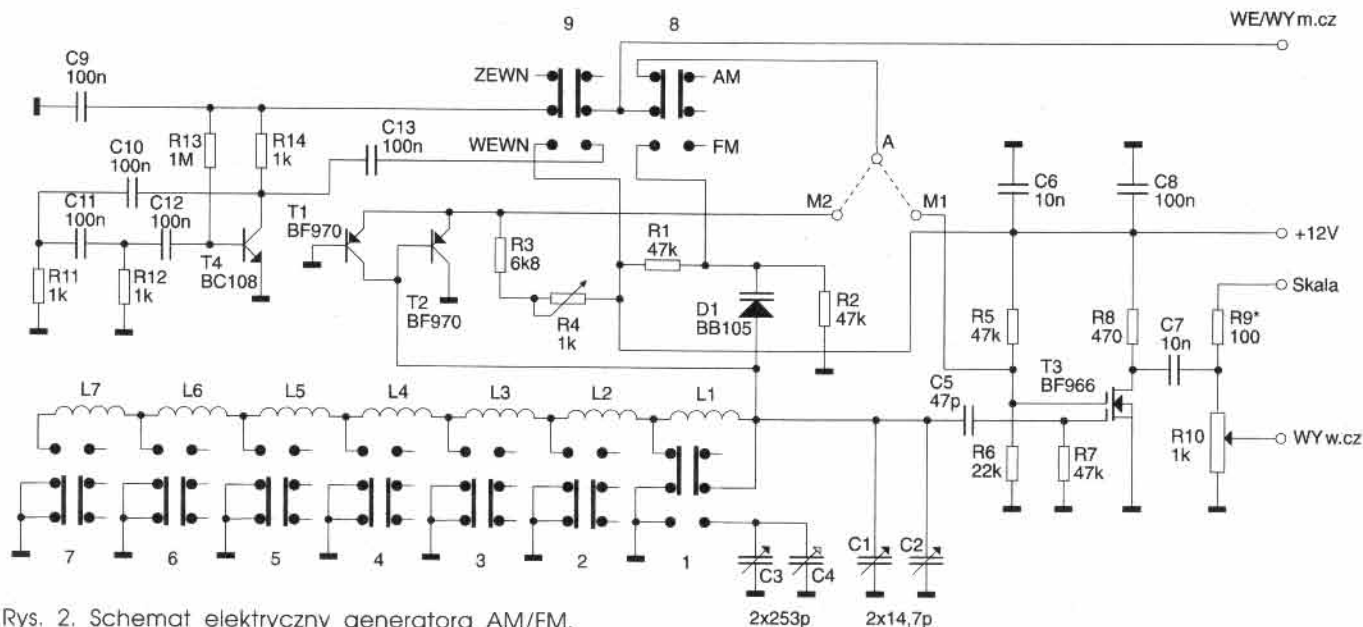
Wraz ze wzrostem częstotliwości indukcyjność jest zmniejszana przez zwieranie niewykorzystanych cewek do masy. Na najwyższym zakresie pracuje tylko cewka L1, którą stanowi dobrany odcinek drutu. Precyzyjne ustalenie częstotliwości wykonywane jest za pośrednictwem potencjometru R4 (tzw. RIT-a). Zakres zmian częstotliwości zależy od podzakresu. Na najniższych częstotliwościach zakres zmian częstotliwości tym potencjometrem jest niewielki, np. na 3,5MHz wynosi ±30kHz, zaś na najwyższych częstotliwościach jest odpowiednio wyższy i pod koniec zakresu wynosi ±150kHz. Jeżeli dla

kogoś jest to zakres zbyt szeroki - nic nie stoi na przeszkodzie, aby zmniejszyć oporność potencjometru np. do 100Ω - uzyska się wtedy dziesięciokrotnie mniejszy zakres zmian.

Sygnal wyjściowy z obwodu LC jest podawany na układ separatora - modulatora wykonanego na dwubramkowym tranzystorze polowym MOSFET typu BF966, który był wielokrotnie stosowany w różnych konstrukcjach w.cz. opisywanych na łamach EP. Odznacza się on dużą impedancją wejściową (co jest istotne z punktu widzenia małego tłumienia obwodu rezonansowego LC), a więc oddziaływanie na kształt i stabilność sygnału wyjściowego jest małe.

Na wyjściu tranzystora T3 znajduje się potencjometr R10 do regulacji amplitudy sygnału wyjściowego. Jest to najprostsze rozwiązanie (w warunkach amatorskich wystarczające), choć lepiej byłoby zastosować przełączany tłumik o stałej impedancji wyjściowej 50 czy 75Ω. Dodatkowy rezystor R9, poprzez który podaje się sygnał pomiarowy do cyfrowej skali częstotliwości, służy do zmniejszenia wpływu dołączenia miernika na generowany sygnał. Rezystor ten, jak się później okazało, jest niezbędny również w najniższym zakresie pracy generatora, kiedy kształt sygnału wyjściowego mógłby zostać nieco zniekształcony. Sporadycznie zdarzało się, że bez tego rezystora skala cyfrowa sygnalizowała dwukrotnie większą częstotliwość wyjściową od faktycznej (reagując na drugą harmoniczną).

Modulację amplitudy sygnału można wprowadzić do obwodu drugiej bramki tranzystora T3. Nie jest to rozwiązanie idealne, bowiem oglądany na oscyloskopie przebieg zmodulowanego sygnału wyjściowego obciążony jest znacznymi zniekształceniami (pomimo



Rys. 2. Schemat elektryczny generatora AM/FM.

doprowadzonych do bramek sygnałów o kształtach sinusoidalnych). Należy sądzić, że poprzez dobranie innych punktów pracy tranzystora T2 można uzyskać prawidłowy kształt sygnału AM. Ponieważ autorowi nie zależało na idealnej modulacji AM (nie stosowanej już w krótkofalarstwie), pozostawił ten problem do ewentualnego dopracowania. W czasie przeprowadzonych prób okazało się, że niemal „książkowy” kształt sygnału AM można uzyskać doprowadzając sygnał m.cz. do emiterów tranzystorów T1 T2, jednak ten sposób modulacji jest skuteczny jedynie na niższych zakresach. Na wyższych zakresach daje się zauważyć równoczesną modulację AM i FM, choć nie w każdym sprawdzanym urządzeniu i nie każdy na „ucho” będzie w stanie to stwierdzić. Miejsca, gdzie można doprowadzić sygnały w przypadku modulacji amplitudy, oznaczono M1 i M2 (do wyboru według własnego uznania).

W przypadku modulacji częstotliwości sygnał m.cz. jest doprowadzany do diody pojemnościowej D1 typu BB105. Dzielnik rezystancyjny R1-R2 służy do wstępnej polaryzacji diody w kierunku zaporowym napięciem równym połowie wartości napięcia zasilania (dla zmniejszenia zniekształceń modulacji). Wybór sposobu modulacji odbywa się za pomocą przełącznika 8 (AM/FM). Przełącznikiem 9 można wyłączyć

wewnętrzny generator modulujący i uzyskać czysty sygnał CW lub przejść na modulację zewnętrzną poprzez dołączenie do dodatkowego gniazda (na tylnej ścianie obudowy) innego sygnału o regulowanej amplitudzie czy częstotliwości.

Wewnętrzny generator m.cz. pracuje z prostym przesuwnikiem RC w typowym układzie na tranzystorze T4. Częstotliwość jego pracy wynosi około 1kHz. Wyjściowy sygnał m.cz. może być również wykorzystywany na zewnątrz układu (poprzez gniazdo Wy/We) do sprawdzania torów wszelkich wzmacniaczy akustycznych czy torów m.cz.

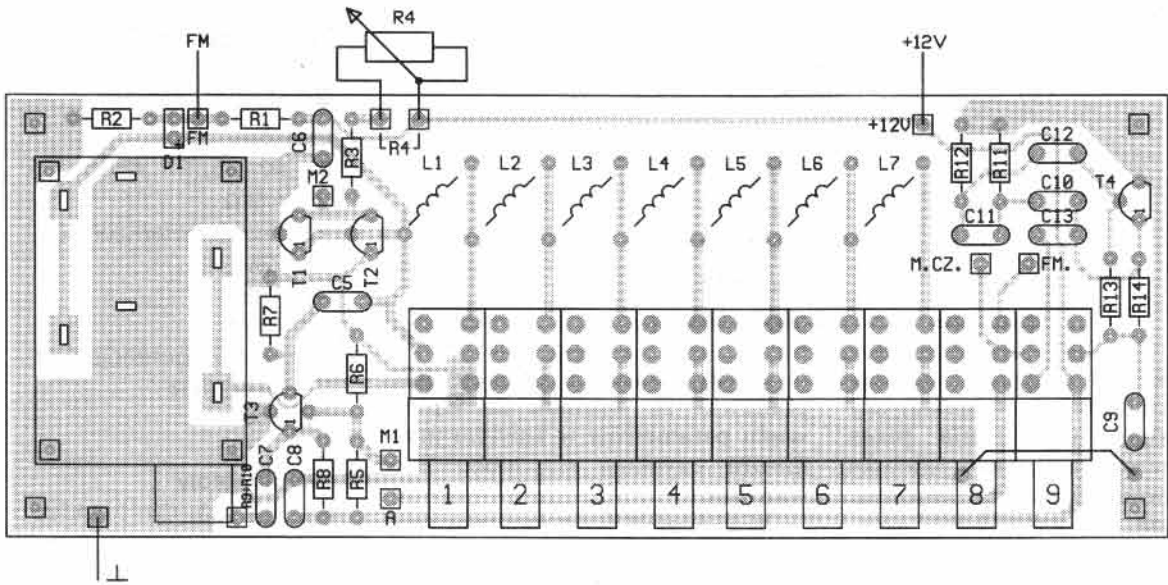
Układ generatora zmontowano na płytce drukowanej o wymiarach 155x60mm przedstawionej na wkładce. Na płytce znajduje się zespół przełączników typu lsostat, przy czym przełączniki 1...7 są zależne, zaś 8 i 9 - niezależne. Kondensator (agregat) jest przymocowany do płytki wkrętami M2,5x7mm. Przy montażu układu najwięcej uwagi należy poświęcić wykonaniu cewek L1...L7, gdyż od precyzji ich wykonania będzie zależał zakres przestrzajania generatora. Rozmieszczenie elementów na płytce generatora przedstawiono na **rysunku 3**.

Do zestrojenia i sprawdzenia pracy generatora niezbędny jest zasilacz 12V oraz miernik częstotliwości i oscyloskop. Niezbędnym może okazać się również miernik modulacji, szczególnie dla

tych Czytelników, którym zależy na sygnałach zmodulowanych. Dwa pierwsze niezbędne układy (bloki), choć opisane w dalszej części artykułu, powinny być wykonane i uruchomione wcześniej.

Najprostszy w uruchomieniu jest generator m.cz. Po wciśnięciu przycisku 9 na kolektorze tranzystora T4 powinno występować napięcie zbliżone do 6V. Przy niższym napięciu należy zwiększyć wartość rezystora R13 i - odpowiednio - odwrotnie. Jeżeli dysponujemy oscyloskopem to wartość rezystora polaryzacji bazy dobieramy tak, aby na kolektorze tranzystora uzyskać napięcie m.cz. o przebiegu sinusoidalnym. Wartość częstotliwości wyjściowej można korygować poprzez wstawienie innych wartości rezystorów R11 i R12. Przy zwiększaniu wartości tych rezystorów częstotliwość maleje, a przy zmniejszaniu - rośnie.

Uruchamianie generatora w.cz. należy rozpocząć przy wyłączonej modulacji (wciśnięty klawisz 9) od najwyższego zakresu - po wciśnięciu klawisza 1. Częstotliwość wyjściową kontrolujemy na wyjściu urządzenia wcześniej uruchomioną skalą częstotliwości czy też dowolnym innym miernikiem częstotliwości o odpowiednim zakresie (w ostateczności na posiadanym odbiorniku radiowym). Zamiast cewki L1 można wstawić odcinek drutu srebrzonego (zworę) w miejsce oznaczone na rysunku 4 jako „L1”. W rozwiązaniu



Rys. 3. Rozmieszczenie elementów na płycie generatora AM/FM.

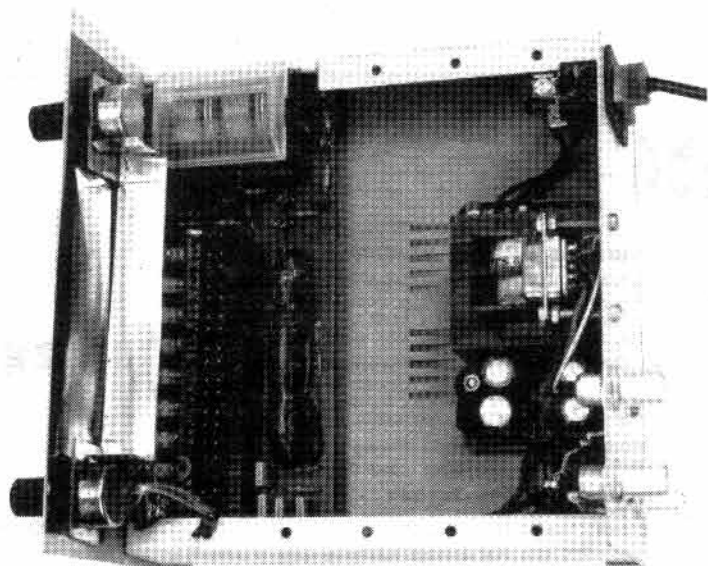
modelowym, w celu uzyskania maksymalnej częstotliwości, zwrócić tę wlotowo od strony elementów, co - przy wykręconym rotorze kondensatora - zapewniło częstotliwość około 150MHz. Kiedy testowano układ próbny z rys. 1, bez płytki drukowanej uzyskano bez trudu dużo większą częstotliwość wyjściową (ponad 200MHz). Okazało się jednak, że po zmontowaniu układu na zaprojektowanej płycie drukowanej maksymalna częstotliwość generacji została ograniczona do 150MHz. Zostało to spowodowane wpływem pojemności i indukcyjności pasożytniczych, które powstają wskutek prowadzenia stosunkowo długich ścieżek.

Podczas pierwszej próby uruchomienia zmontowanego układu, kiedy zwora - cewka L1 znajdowała się na płycie po stronie elementów, uzyskano częstotliwość pracy generatora około 110MHz, co dla wielu Czytelników byłoby wystarczające (CCIR i OIRT), ale krótkofalowcom nie zapewniłoby pokrycia bardzo popularnego pasma 144MHz. Minimalna częstotliwość pracy na najwyższym zakresie w tym samym układzie modelowym wynosiła około 90MHz (przy wykręconym rotorze kondensatora). Duży wpływ na maksymalny zakres pracy mają pojemności montażowe, co można było stwierdzić po zamontowaniu płytki do metalowej obudowy (duża zmiana zakresu częstotliwości w stosunku do układu uruchomionego na stole).

Uzyskanie pozostałych cewek nie jest tak proste, jak cewki L1, gdzie wystarczył odcinek drutu o długości około 1cm. Nie trzeba jednak poszukiwać gotowych cewek, które z reguły będą trudne do dobrania w sposób zapewniający uzyskanie ciągłości zakresów. Wystarczy trochę drutu w izolacji emaliowanej i... dobre chęci. Cewki L2...L7 nawinięto na odcinku plastikowej rurki po użytym flamastrze, choć można tutaj wykorzystać inny karkas czy nawet kawałek papieru zwiniętego w rulonik o średnicy 8mm i długości 70mm.

Po uruchomieniu generatora na najwyższym zakresie wciskamy klawisz 2 i przystępujemy do wykonania cewki L2. Na korpusie nawijamy co najmniej 2 zwoje drutu DNE 0,5...1 i wlotujemy

w oznaczone miejsce, a następnie kontrolujemy częstotliwość. Wciskamy ponownie klawisz 1 i jeszcze raz sprawdzamy najwyższy zakres z wykręconym, a później z wkręconym rotorem kondensatora. Zauważymy na pewno, że obecność cewki L2 zmieniła nieco poprzednie wskazania miernika. Wciskamy klawisz 2 i jeżeli odczytana częstotliwość przy wykręconym rotorze jest równa lub tylko trochę większa od minimalnej częstotliwości na wyższym zakresie - możemy przejść do nawijania pozostałych cewek, zwracając uwagę, aby zachować identyczny kierunek nawinięcia jak przy cewce L2. Rozsądniej jest nawinąć nieco więcej zwojów, bo łatwiej jest zmniejszyć indukcyjność poprzez rozciągnięcie zwo-



Tab. 1. Zestawienie liczby zwojów cewek oraz uzyskanych częstotliwości.

Cewka	Zakres częstotliwości	Liczba zwojów
L1	150...90MHz	odcinek drutu o długości około 10mm
L2	90...25MHz	2 zwoje DNE 1
L3	25...8MHz	10 zwojów DNE 0,7
L4	8...3MHz	20 zwojów DNE 0,3
L5	3...1,5MHz	35 zwojów DNE 0,3
L6	1,5...0,7MHz	60 zwojów DNE 0,2
L7	0,7...0,4MHz	120 zwojów DNE 0,2

jów cewki czy stopniowe skraccanie jej, niż nawijać od nowa, czy tym bardziej wydłużanie przez dolutowanie brakującego odcinka z zaizolowaniem miejsca łączenia. Oczywiście, można wykonać cewkę o nieco mniejszej indukcyjności, licząc się ze zbędnymi marginesami strojenia. Nie należy jednak pozostawiać zbyt dużych zapasów częstotliwości, bo w końcowej fazie może okazać się, że zabraknie klawiszy w celu uzyskania interesującego nas dolnego zakresu częstotliwości. Liczby zwojów pozostałych cewek korygujemy w podobny sposób, jak cewki L1, kontrolując za każdym razem częstotliwość wyjściową. Ponieważ liczby zwojów są coraz większe, powinny więc być wykonane drutem o mniejszej średnicy (DNE 0,4...0,2mm), przy czym ostatnie cewki mogą być nawinięte masowo. W zasadzie tylko cewki L2 i L3 należy nawinać zwoj przy zwoju; zwoje pozostałych cewek mogą zachodzić na siebie ze względu na ograniczoną powierzchnię karkasu.

W tabeli 1 znajduje się zestawienie liczby zwojów cewek użytych w modelu oraz uzyskanych zakresów częstotliwości. Wartości

te należy traktować orientacyjnie, ponieważ ze względu na wpływ wielu parametrów w każdym urządzeniu uzyskuje się nieco inne wartości.

W końcowej fazie montażu cewki należy zabezpieczyć przed rozsuwaniem się wzdłuż korpusu, co uchroni nas przed rozstrojeniem jak i uodporni na wstrząsy czy drgania (powiększy stabilność częstotliwości). Widoczna na fotografii cewka została zalana rozgrzanym klejem glutenowym. Na wypadkową stabilność częstotliwości generatora mają wpływ - oprócz stabilności mechanicznej cewki oraz kondensatora zmiennego (luzy na przekładniach zębatych) - także drgania obudowy, szczególnie na najwyższych zakresach. Na stabilność elektryczną ma wpływ stabilność temperaturowa zastosowanych elementów (choć w tym układzie największy wpływ mają dioda D1 i kondensator C5) oraz stabilność napięcia zasilania. Warto tutaj zwrócić uwagę na stabilność rezystancji potencjometru R4 oraz dobry styk suwaka ze ścieżką oporową. Dysponując oscyloskopem o odpowiednim zakresie pomiarowym można skontrolować poziom oraz kształt sygnału wyjściowego.

WYKAZ ELEMENTÓW

Generator AM/FM

Rezystory:

R1, R2, R5, R7: 47k Ω
 R3: 6,8k Ω
 R4: 1k Ω /A potencjometr
 R6: 22k Ω
 R8: 470 Ω
 R9: 100 Ω
 R10: 1kA/A potencjometr
 R11, R12: 1k Ω
 R13: 1M Ω
 R14: 1k Ω

Kondensatory:

C1, C2, C3, C4: 2x14,7pF + 2x253pF (agregat powietrzny typu ELTRA)
 C5: 47pF
 C6, C7: 10nF
 C8, C9, C10, C11, C12, C13: 100nF

Półprzewodniki:

D1: BB105 dioda pojemnościowa
 T1, T2: BF970...
 T3: BF966...
 T4: BC108...

Różne:

L1...L7 według opisu w tekście
 Pz1...9 przetątnik ISOSTAT 1...7 zależne + 8,9 niezależne
 Obudowa T54

W urządzeniu modelowym poziom napięcia wyjściowego pod obciążeniem wynosił około 1,5V. Przy zastosowaniu innych typów tranzystorów generatora w.cz. czy innej wartości napięcia zasilania należy skorygować wartość rezystora R3 kierując się kształtem napięcia wyjściowego jak najbardziej zbliżonym do sinusoidalnego.

Andrzej Janeczek, SP5AHT