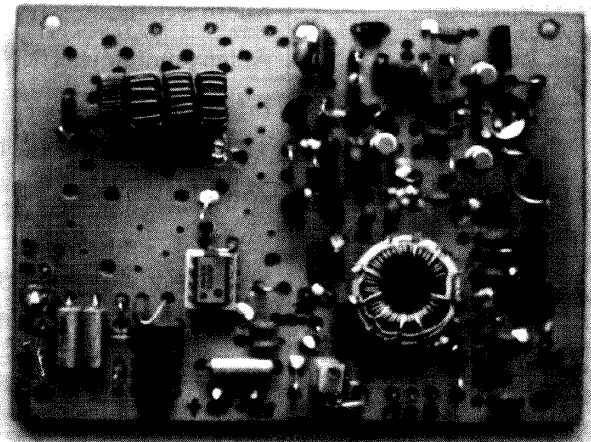


DZIAŁ TECHNICZNY

Marian Salamon SP5CS, ul. M. Dąbrowskiej 5/122, 01-903 Warszawa 118

MIERNIK DOBROCI



Q-Metr jest przyrządem służącym do pomiaru dobroci cewek indukcyjnych. Po odpowiedniej kalibracji służy jako miernik pojemności, indukcyjności, generator sygnałowy o bardzo stabilnej amplitudzie napięcia wyjściowego. Dużą trudnością konstrukcyjną w Q-metrach jest wytworzenie źródła napięcia sinusoidalnego o znikomo małej oporności wewnętrznej. Powszechnie stosowany jest pojemnościowy dzielnik napięcia o przekładni 10 000 : 1, który wymaga starannego ekranowania w szerokim zakresie częstotliwości.

Prezentowany układ Q-metra jest wynikiem odmiennej koncepcji rozwiązania tego problemu. Zastosowano jednocześnie dwie metody do radykalnego obniżenia oporności wewnętrznej. Pierwszym krokiem jest układ wtórnikowy z przeciwnymi tranzystorami wykonawczymi o wyjątkowo

małej oporności wewnętrznej. Drugi sposób polega na zastosowaniu transformatora o specjalnej konstrukcji i przekładni zwojowej 40 : 1. Obniżenie oporności wewnętrznej zmienia się z kwadratem przekładni czyli $40 \times 40 = 1600$ razy. Zachowane zostają kryteria dobrego Q-metra w amatorskim wykonaniu. Opis miernika powstał w oparciu o publikację zamieszczoną w czasopiśmie ELECTOR 6/90 str. 16-20 (po adaptacji do krajowych warunków wykonawczych).

Dane techniczne:

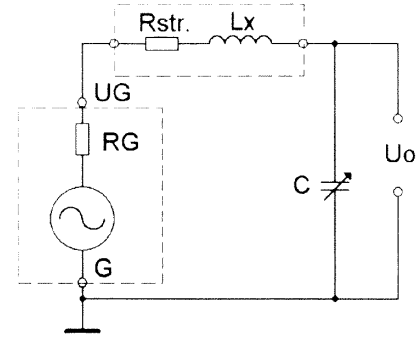
- zakres częstotliwości 70 kHz - 70 MHz
- dobroć Q - 200 mierzona w 6 zakresach
 1. 70 - 200kHz
 2. 200- 700kHz

- 3. 700 - 2000kHz
- 4. 2 - 7MHz
- 5. 7 - 20MHz
- 6. 20 - 70MHz

miar indukcyjności w zakresie 0.1 μ H - 10 mH
pomiar pojemności w zakresie 1 pF - 1000 pF
dokładność pomiarów 10%

Pomiar dobroci cewek indukcyjnych

Obwód w układzie rezonansu szeregowego dołączony do źródła napięcia sinusoidalnego jak na rysunku 1.



Rysunek 1

Obwód rezonansu szeregowego charakteryzuje się następującymi właściwościami:

Przy częstotliwości rezonansowej f_{rez} występuje kompensacja reaktancji indukcyjnej i pojemnościowej.

$$X = \omega * L - \frac{1}{\omega * C} = 0$$

W realnych obwodach indukcyjność obciążona jest opornością rzeczywistą - omową, opornością strat na rozproszenie pola, zjawiskiem naskórkowości, prądów wirowych itd. Suma oporności rzeczywistych w obwodzie rezonansu szeregowego określa wartość płynącego prądu. Dla częstotliwości różnej od rezonansowej prąd w obwodzie maleje, zmienia się również faza w stosunku do napięcia. Dla rezonansu $\phi = 0$ - brak przesunięcia fazowego. Napięcie na zaciskach cewki będzie tym większe, im większy będzie prąd płynący w obwodzie. Dokładnie taka sama wartość napięcia wystąpi na kondensatorze lecz o przesuniętej o 180° fa-

zie. Obojętne staje się, czy mierzymy napięcie na kondensatorze czy cewce, gdy nie dokonujemy pomiaru kąta fazowego.

W Q-metrach najczęściej dokonujemy pomiaru napięcia na zaciskach kondensatora. Zacisk rotora kondensatora i woltomierza jest na wspólnej masie.

Dobroć cewki indukcyjnej wyraża się wzorem:

$$Q = \frac{X_L}{R_{str}}$$

gdzie $X_L = \omega L$

R_{str} - straty w cewce

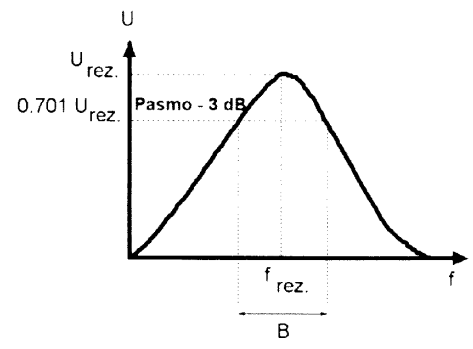
Zachodzi również związek między dobrocią Q a szerokością pasma obwodu:

$$Q = \frac{X_L}{B}$$

B - szerokość pasma /3 dB

$X_L = \omega L$ - reaktancja indukcyjna

Z tej ostatniej zależności korzystamy przy wzorcowaniu przyrządu.



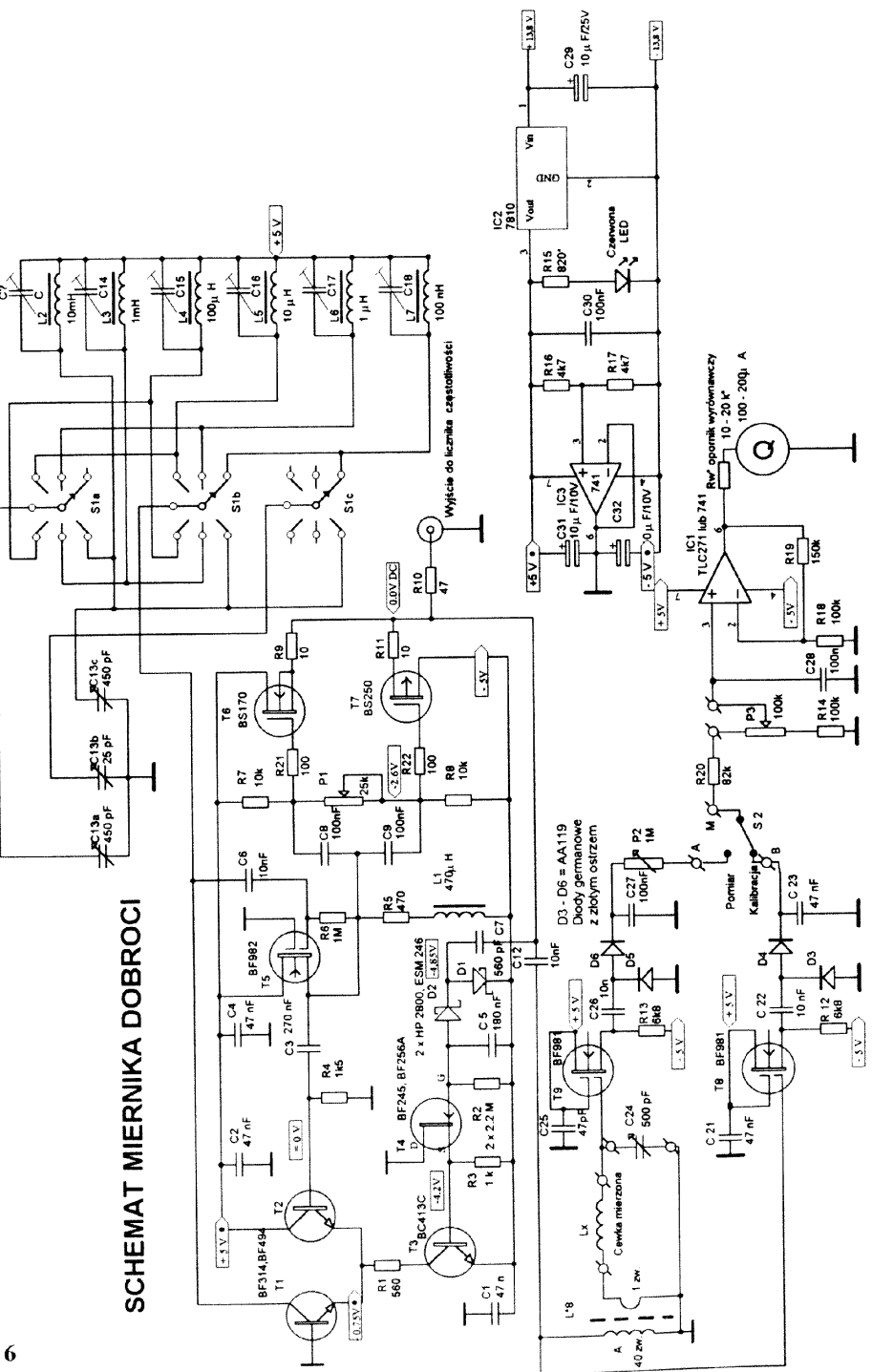
Rysunek 2

OPIS DZIAŁANIA UKŁADU Q-METRA

Schemat ideowy miernika został przedstawiony na rysunku 3.

Tranzystory T1, T2 i T5 stanowią generator dwupunktowy (dla lepszej separacji generowanego napięcia) zakończony wyjściem wtórnikiem. Regulacja napięcia wyjściowego sprowadza się do zmiany prądu płynącego przez tranzystory T1, T2.

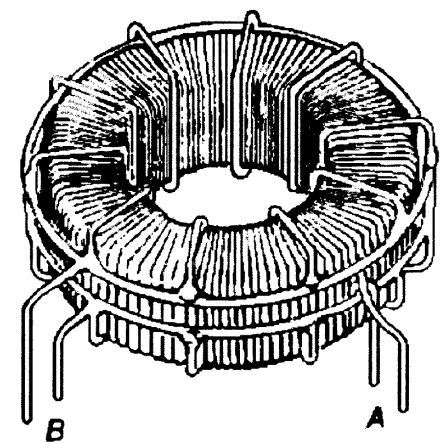
SCHEMAT MIERNIKA DOBROCI



Regulację zera IC3 pin 6 przeprowadzać zmiąną wartości R17 lub R16

KONSTRUKCJA TRANSFORMATORA L8* I OBWODÓW REZONANSOWYCH

Transformator, którego konstrukcja jest przedstawiona na rysunku 4, wymaga pewnej staranności w wykonaniu uzwojeń. Zastosowałem rdzeń pierścieniowy Rp 16 x 9.6 x 4.8/II/F-2001 (zalecany



Rysunek 4

Celem uzyskania dobrej stabilizacji amplitudy napięcia wyjściowego tranzystor T3 posiada bardzo duży współczynnik wzmocnienia prądowego $\beta > 500$ i spełnia rolę regulowanego rezystora.

Zastosowanie FET'a BF256A ma na celu zminimalizować obciążanie powielacza napięcia D2, D1. Stała czasowa C5, R3 jest na tyle mała, że przy dobrej filtracji napięcia stałego nie wpływa na pogorszenie stabilizacji amplitudy napięcia wyjściowego. Kondensatory C5, C6, C8, C9 powinny być bardzo dobrej jakości, np. typu KcPm o oporności dla DC $> 1 \text{ G}\Omega$. Nie zalecam stosować kondensatorów typu KIPm. Napięcie z generatora wzmacniane jest we wtórnikowym wzmacniaczu mocy. Wtórnikowy wzmacniacz mocy charakteryzuje się małymi zniekształceniami nieliniowymi o stałej wartości bez względu na amplitudę wzmacnianego sygnału! Sprawność tego wzmacniacza mocy sięga 78.5% przy pełnymysterowaniu. Wzmocnienie prądowe stopnia $K_i = \beta$ tranzystora. Jest więc bardzo duże. Oporność wewnętrzna widziana od strony bramek tranzystorów T6, 7 jest rzędu 200Ω i zostaje przetransformowana we wzmacniaczu β krotnie niżej. Sygnał dalej podany jest na uzwojenie pierwotne transformatora L8*.

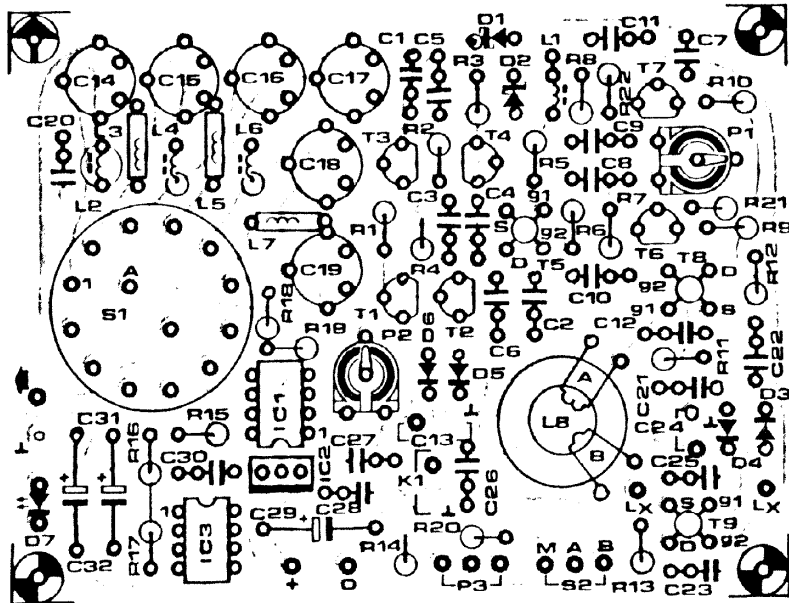
Transformator o przekładni 40 : 1 pełni w mierniku szczególną rolę. Uzwojenie wtórne jest jednozwojowe i posiada niewielką indukcyjność. Można jest praca na stosunkowo wysokich częstotliwościach, przy realnych wartościach pojemności kondensatora C24.

Jak wspomniałem wyżej, transformator obniża oporność wewnętrzną źródła napięcia sinusoidalnego. Nierównomierność charakterystyki częstotliwościowej transformatora zostaje każdorazowo wyrównana kalibracją przyrządu (potencjometrem P3) na danym zakresie pomiarowym. Tranzystory T8, 9 pełnią rolę wtórnikowych wzmacniaczy mocy z przesuniętym o 5 V punktem pracy; są separatorami detektorów od obwodów pomiarowych.

Układ scalony IC3 jest aktywnym dzielnikiem stabilizowanego napięcia 10 V. W układzie modelowym z powodzeniem zastosowałem stabilizator 12 V, który jest łatwiej dostępny na rynku. Napięcie zasilające miernik wynosiło $\pm 6V$ zamiast $\pm 5V$. Układ IC3 TLC 271 jest wzmacniaczem operacyj-

nym wykonanym w technice MOS o wyjątkowo małym dryftowym napięciu wyjściowym. Pozostałe parametry i wyprowadzenia nóżek są identyczne z popularnym układem 741. Po próbnym wstawieniu układu 741 nie zaobserwowałem żadnych znaczących zmian pogorszenia stabilności pracy przyrządu. Układ IC3 pełni rolę wzmacniacza woltomierza.

Autorem opisu w czasopiśmie ELECTOR jako wskaźnik zastosowałem woltomierz z odczytem cyfrowym. Odradzam takie rozwiązanie nie tylko ze względu na cenę, lecz i na funkcjonalność. Zwiłoka w dyskretności odczytu woltomierza jest denerwująco długa i prowadzi nieuchronnie do błędów w pomiarach. Odczyt cyfrowy ma sens w przypadku prowadzenia procesu pomiaru dobroci cewek indukcyjnych w sposób całkowicie automatyczny, bez ręcznego dostrajania do rezonansu. Zasilanie z sieci nie wymaga specjalnego opisu. Transformator 12V/250mA z układem prostowniczym i filtracją całkowicie wystarczą do zasilania przyrządu.



jest materiał o przenikalności $\mu = 3000 - 5000$). Straty w rdzeniu, wynikające z zastosowania materiału o dużej przenikalności przy wysokiej częstotliwości, są kompensowane regulacją P2.

Uzwojenie pierwotne nawinięto drutem w emalii i 40 zwojów wypełnia cały obwód pierścienia. Uzwojenie wtórne od pierwotnego oddzielone jest cienką folią teflonową. Folia w postaci paska o szerokości nieznacznie większej od grubości rdzenia z nawiniętym pierwotnym uzwojeniem, wstawiona jest od środka i na zewnątrz poboczniczy pierścienia. Folia pełni rolę ochrony termicznej podczas lutowania uzwojenia wtórnego.

Uzwojenie wtórne jednozwojowe wykonałem ze srebrzonego drutu o średnicy 0,6 mm w postaci pierścienia umieszczonych na zewnętrznej poboczniczy rdzenia. Pierścienie podtrzymywane są dziesięcioma odcinkami przylutowanych wsporników z drutu o nieco mniejszej średnicy (rysunek). Uzwojenie wtórne imituje zwoj w postaci płaszcza okrywającego rdzeń z uzwojeniem pierwotnym.

jemy zmieniając wartość jednego z rezystorów R16 lub R17. Montujemy wzmacniacz T6, T7 i przed uruchomieniem skręcamy trymer P1 na minimum oporności. Przerzywamy obwód rezystora R9 lub R10, wstawiamy miliamperomierz z zakresem 2,5 mA. Kręcimy trymerem P1, ustawiając prąd spoczynkowy 1 mA.

Wstawiamy i wlutowujemy pozostałe części. Pomiaru wartości napięć dokonujemy w stosunku do masy. Zwracamy uwagę na jednakowy współczynnik wzmacnienia prądowego β tranzystorów T1, T2. Większa nierówność β prowadzi do przeciążenia jednego z tranzystorów. Rezystorem R1 regulujemy napięcie $-0,75$ V przy zachowaniu $-4,2$ V na bazie tranzystora T3. Za tę wartość odpowiedzialny jest rezystor R2.

Rozwiązanie mechaniczne pozostawiam inwencji wykonawcy. Zadać należy o stabilny montaż mechaniczny, uzyskamy wtedy bardzo dobrą stabilność częstotliwości.

Obwody rezonansowe Q-metra

L	Indukc.	Ilość zwojów	Typ rdzenia pierścieniowego
L7	100 nH	7	RP 5X3X1.9/U31
L6	1 μ H	10	RP 10X6X3.8/U31
L5	10 μ H	18	RP 10X6X3.8/F82
L4	100 μ H	10	RP 10X6X4.5/F1001
L3	1 mH	35	RP 10X6X4.0/F2001 (nietypowy)
L2	10 mH	64	RP 16X9.6X6/II/F2001

Obwody rezonansowe L2, L7 zostały zawinięte na rdzeniach pierścieniowych.

MONTAŻ I URUCHOMIENIE

Druk płytki wykonujemy zgodnie z rysunkiem 6. Sprawdzamy poprawność połączeń, montujemy tylko układ zasilania IC2 IC3 oraz wzmacniacz operacyjny IC1 wraz z przynależnymi elementami. Sprawdzamy symetrię napięć dodatniego i ujemnego. Regulacji symetrii napięć zasilających dokonu-

SKALOWANIE Q-METRA

W gniazda pomiarowe wstawiamy badaną cewkę, wybieramy odpowiedni zakres, doprowadzamy do rezonansu kondensatorem C24.

Skalowanie opiera się na ustaleniu spadku wartości napięcia na mierniku Q o 3 dB w stosunku do napięcia, jakie występuje w chwili rezonansu. Czynność powtarzamy dla wyższych i niższych częstotliwości wokół częstotliwości rezonansowej. Częstotliwość odczytujemy z licznika częstotliwości dołączonego do gniazda K1. Po podstawieniu do wzoru na dobroć wyliczamy wartość Q. Położenie wskazówki wyliczonej wartości ustawiamy regulując P2.

Powyższe regulacje wykonujemy w położeniu przełącznika S2 na pozycji A. Pozycja B służy do ustawienia maksymalnego zakresu pomiarowego regulując P3. Napięcie na nóżce 6 układu IC1 = 2 V odpowiada dobroci Q = 200. Napięcie wyjściowe powinno być czystą sinusoidą bez zniekształceń.

Na podstawie miesięcznika ELECTOR 6/90 opracował i wykonał Marian Salamon SP5CS



Rysunek 6