

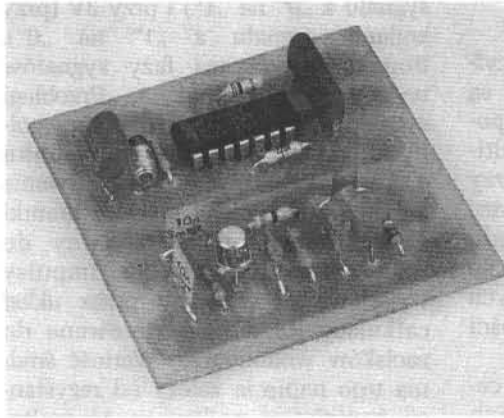
Podczas konstruowania układów w.cz., szczególnie urządzeń nadawczo-odbiorczych KF konieczne jest często określanie nieznanych wartości indukcyjności cewek. Problem jest tym większy, że często cewki muszą być wykonywane własnoręcznie.

O ile indukcyjność cewek powietrznych o niewielkiej liczbie zwojów można obliczyć lub wyznaczyć z nomogramów, to indukcyjność cewek nawijanych na rdzeniach ferrytowych można jedynie zmierzyć. W warunkach laboratoryjnych korzysta się z drogich (ale i dokładnych) mostków RLC, które umożliwiają pomiar cewek od części nH aż po H.

W tym artykule przedstawiamy trzy proste, amatorskie rozwiązania tego problemu. Są to: metoda rezonansowa, przystawka do multimetru, przystawka do miernika częstotliwości.

Przystawka do pomiaru indukcyjności

kit AVT-139



Metoda rezonansowa

Dla tych Czytelników, którzy dysponują generatorem w. cz. przedstawiamy bardzo prosty sposób określenia indukcyjności nieznaną cewki za pomocą metody rezonansowej.

Schemat elektryczny układu do pomiarów indukcyjności za pomocą metody rezonansowej przedstawiono na **rysunku 1**. Obwód pomiarowy jest złożony z kondensatorów wzorcowych C1 lub C2 (wybieranych przełącznikiem P) i indukcyjności mierzonej Lx. Sygnał jest podawany z generatora o regulowanej częstotliwości poprzez autotransformator dopasowujący TR. Rezystor R1 wraz z autotransformatorem tworzą obwód

sprzęgający, którego głównym zadaniem jest uniezależnienie się wskaźnika od impedancji źródła sygnału, czyli generatora. Autotransformator zawiera 16 zwojów drutu w izolacji igelitowej nawiniętych na toroidalnym rdzeniu ferrytowym typu F 82 o średnicy 10mm z odczepem na 6 zwoju od strony masy. Tak wykonany odczep zapewnia transformację impedancji w stosunku około 1:10, czyli do znormalizowanej wartości 50Ω. Przy podłączeniu generatora o impedancji 75Ω odczep powinien znajdować się na 4 zwoju od strony masy ($4 \times 4 \times 4,7 = 75\Omega$).

Wskaźnik pomiarowy tworzy detektor w.cz. w postaci podwójca napięcia z diodami germanowymi

D1, D2. Do wyjścia przystawki można dołączyć woltomierz (dowolny posiadany multimetr elektroniczny czy nawet mikroamperomierz o czułości 100μA).

Pomiar polega na dostrojeniu generatora do obwodu pomiarowego na maksymalne wychylenie wskaźnika pomiarowego, czyli do stanu rezonansu elementów Lx, C1 lub Lx, C2.

Znając częstotliwość rezonansową wyznaczamy mierzoną indukcyjność z jednego z poniższych wzorów:

$L_x = 253,3/f^2$ (przełącznik w położeniu 1)

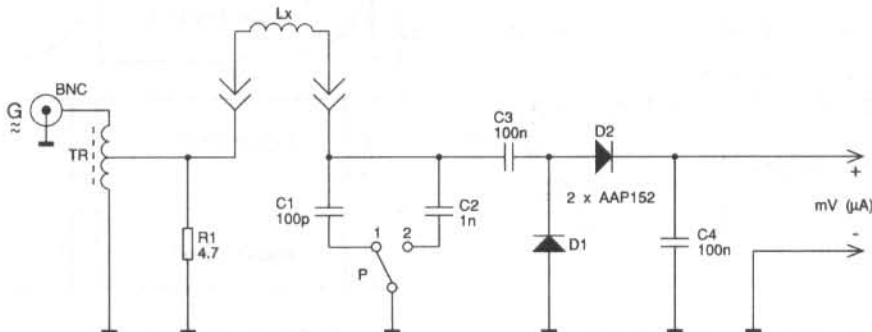
$L_x = 25,3/f^2$ (przełącznik w położeniu 2)

przy czym Lx w [μH], jeżeli f w [MHz].

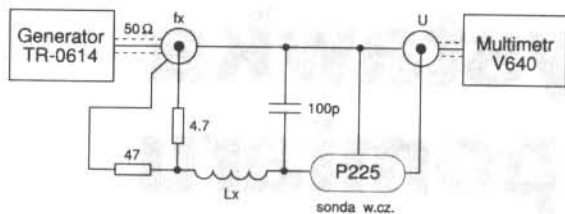
Układ umożliwia pomiar indukcyjności w zakresie 0,16μH...2,5mH przy częstotliwości wejściowej 100kHz do 40MHz.

Dokładność pomiaru wynosi około 1%, pod warunkiem zastosowania dokładnie dobranych kondensatorów C1, C2 i przy małych pojemnościach montażowych.

Chcąc jeszcze uprościć i tak już prosty układ pomiarowy, można wyeliminować autotransformator



Rys. 1. Schemat elektryczny układu do pomiaru L metodą rezonansową.



Rys. 2. Schemat elektryczny uproszczonego układu do pomiaru L metodą rezonansową

TR poprzez dołączenie dodatkowego rezystora 47Ω, a zamiast detektora w. cz. - sondy P225 wchodzącej w skład multimetru analogowego V640. Tak powstały układ pomiarowy przedstawiono na **rysunku 2**.

Przystawka do multimetru

Tylko nieliczne multimetry cyfrowe, takie jak np. KT65, są wyposażane w podzakres do pomiaru indukcyjności. Są to multimetry stosunkowo drogie, a przy tym mało przydatne do pomiaru cewek o indukcyjnościach rzędu kilku mikrohenrów. Przystosowane są one w zasadzie do dokładnych pomiarów cewek o indukcyjności kilkuset mikrohenrów.

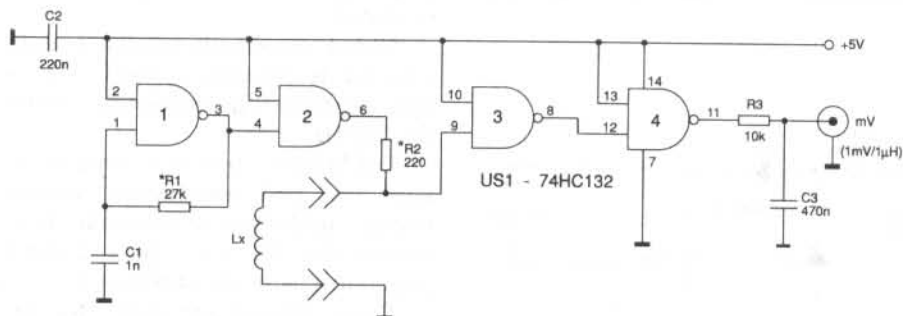
Do pomiarów indukcyjności cewek w warunkach amatorskich proponujemy wykonanie prostej przystawki dołączanej do posiadanego miliwoltomierza. Schemat elektryczny tej przystawki pokazano na **rysunku 3**.

Przystawka jest skonstruowana w oparciu o cztery bramki Schmitta wchodzące w skład układu scalonego 74HC132. Bramka 1 z elementami R1, C1 tworzy generator fali prostokątnej. Wartość rezystora R1 została tak dobrana, aby częstotliwość generatora wynosiła około 50kHz. Bramka 2 stanowi separator - układ formowania sygnału generatora. Zasadnicze właściwości bramki Schmitta zostały wykorzystane w bramce 3. Na jedno z jej wejść jest podany przebieg piłokształtny

uformowany z przebiegu prostokątnego po przejściu przez układ różniczkujący zestawiony z elementów R2, Lx. Przełączenie bramki 74HC132 następuje z chwilą przekroczenia poziomu wejściowego 1,8V (zmiana sygnału z „0” na „1”) i przy 3V (przy zmianie sygnału z „1” na „0”). Bramka 4 odwraca fazy sygnałów wyjściowych bramki 3. Przebiegi sygnałów na wyjściach poszczególnych bramek pokazano na **rysunku 4**. Łatwo zauważyć, że czas trwania jedynki logicznej na wyjściu bramki 4 jest wprost proporcjonalny do stałej czasowej $\tau = Lx/R2$. Impulsy wyjściowe po przejściu przez układ całkujący R3, C3 są kierowane do zacisków woltomierza. Wartość średnia tego napięcia zależy od rezystancji wejściowej podłączonego woltomierza - im większa jest ta rezystancja, tym pomiar bardziej dokładny.

Wartości elementów w przedstawionym układzie przystawki zostały tak dobrane, aby można było mierzyć indukcyjności cewek z przedziału 5...500μH (a więc w najczęściej wykorzystywanym przedziale wartości). W tym zakresie mierzonej indukcyjności układ pracuje liniowo. Indukcyjności 5μH odpowiada napięcie wyjściowe 5mV i odpowiednio 500μH - 500mV. W przypadku bezpośredniego zwarcia zacisków Lx napięcie wyjściowe jest zbliżone do zera, a przy rozwarciu wynosi około 2,7V.

Podczas testowania przystawki zostały wykorzystane multimetry cyfro-



Rys. 3. Schemat elektryczny przystawki do pomiaru L przy pomocy woltomierza

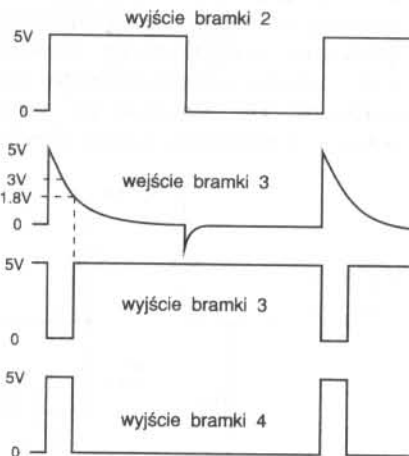
we METEX - M3650 i V561 oraz V640 (analogowy). We wszystkich przypadkach uzyskano identyczne wyniki pomiarów. Po dołączeniu multimetru analogowego typu UM112B na zakresach 30 i 100mV wskazania były obciążone bardzo dużym błędem, dyskwalifikującym ten miernik do naszego zastosowania. Powiększenie zakresu pomiarowego można uzyskać przez zmniejszenie częstotliwości generatora oraz zmniejszenie stałej czasowej układu, czyli przez zmianę wartości rezystorów R1 i R2 (wiąże się to z koniecznością zastosowania dodatkowego przełącznika).

Przystawka do miernika częstotliwości

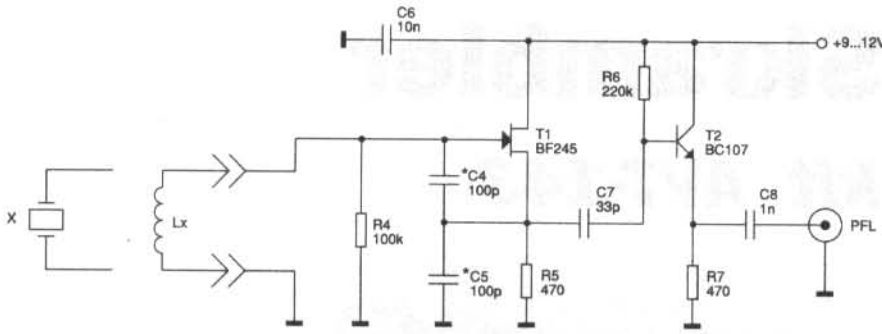
Układ z **rysunku 5** działa na nieco innej zasadzie. Pomiar indukcyjności cewek jest dokonywany metodą pośrednią przez pomiar częstotliwości i następnie określenie indukcyjności ze wzoru lub nomogramu. Dodatkową właściwością tej przystawki jest kontrola częstotliwości rezonatorów kwarcowych. W skład układu wchodzi generator z tranzystorem polowym BF245 i separator z tranzystorem bipolarnym BC107. Zastosowanie tranzystora polowego eliminuje konieczność włączenia w szereg z indukcyjnością Lx dodatkowego kondensatora (co ma wpływ na częstotliwość).

Częstotliwość wyjściowa układu zależy od pojemności wewnętrznej przystawki (Cw). Z dużym przybliżeniem można przyjąć, że pojemność wewnętrzną tworzą szeregowo połączone kondensatory C4 i C5 ($Cw = C4/2$, gdyż $C4 = C5$).

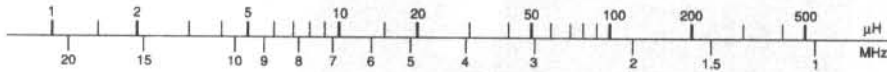
Znacznie dokładniej możemy wyznaczyć pojemność wewnętrzną przys-



Rys. 4. Przebiegi na wyjściach bramek 74HC132



Rys. 5. Schemat ideowy przystawki do pomiaru L przy pomocy miernika częstotliwości



Rys. 6. Nomogram do wyznaczania L na podstawie zmierzonej częstotliwości

tawki w następujący sposób:

- do zacisków przystawki podłączamy cewkę o nieznannej indukcyjności i mierzymy częstotliwość wyjściową f_1 [MHz]

- równolegle do uzwojeń cewki podłączamy kondensator o znanej pojemności, np $C = 100\text{pF}$ i mierzymy częstotliwość wyjściową f_2 [MHz]

- potrzebną pojemność wejściową przystawki wyliczamy ze wzoru:

$$C_w [\text{pF}] = \frac{C [\text{pF}]}{\left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 - 1}$$

Przy szeregowym połączeniu cewki i kondensatora wzór ma nieco inną postać:

$$C_w [\text{pF}] = \left(\frac{f_1^2}{f_2^2} - 1\right) C [\text{pF}]$$

Indukcyjność dołączonej cewki wyliczamy ze wzoru:

$$L_x [\mu\text{H}] = \frac{25330}{f_1^2 C_w [\text{MHz}][\text{pF}]}$$

Do przybliżonego wyznaczania indukcyjności na podstawie zmierzonej częstotliwości można wykorzystać nomogram przedstawiony na rysunku 6. Został on sporządzony dla układu modelowego, w którym $C_w = 56\text{pF}$.

Przy dzielniku pojemnościowym $C_4 = C_5 = 100\text{pF}$ przystawka umożliwia określenie indukcyjności cewek w zakresie $1...500\mu\text{H}$ oraz częstotliwości rezonatorów kwarcowych w zakresie $3...20\text{MHz}$. Chcąc mierzyć częstotliwości rezonatorów w zakresie $1...3\text{MHz}$ oraz cewki o indukcyjności powyżej $500\mu\text{H}$ należy wartości kondensatorów C_4 i C_5 powiększyć do 1nF . Przy zmniejszeniu wartości tych kondensatorów uzyskamy możliwość pomiaru cewek o indukcyjnościach mniejszych od

$1\mu\text{H}$ i rezonatorów o częstotliwościach powyżej 20MHz . Wiąże się to z koniecznością zainstalowania przełącznika i wyznaczenia nowych wartości C_w .

Opisana przystawka umożliwia również wyznaczenie indukcyjności wewnętrznej rezonatora kwarcowego. W tym celu do zacisków przystawki podłączamy rezonator kwarcowy poprzez kondensatory o dwóch różnych znanych wartościach, mierzymy częstotliwości wyjściowe i wyznaczamy wartość L_x ze wzoru:

$$L_x = \frac{25330 (f_1 - f_2)}{f (f_1 - f) (f_2 - f) (C_2 - C_1)} [\text{kHz}, \text{pF}, \text{H}]$$

gdzie:

f - częstotliwość wyjściowa przy bezpośrednim dołączeniu rezonatora

f_1 - częstotliwość wyjściowa przy rezonatorze włączonym w szereg z kondensatorem C_1 (np. 10pF)

f_2 - częstotliwość wyjściowa przy rezonatorze włączonym w szereg z kondensatorem C_2 (np. 47pF)

Kondensatory C_1 i C_2 powinny mieć tolerancję nie gorszą niż 5%.

Montaż i uruchomienie

Obie przystawki zmontowano na jednej płytce drukowanej przedstawionej na wkladce. Czytelnicy wykorzystujący tylko jedną przystawkę, mogą wykonać płytkę o połowę mniejszą (przeciąć płytkę w oznaczonych miejscach). Na rysunku 7 przedstawiono rozmieszczenie elementów na płytce. Do punktów pomiarowych L_x należy podłączyć zaciski laboratoryjne lub podstawki pod rezonatory kwarcowe. Ważne jest, by połączenia do zacisków lub podstawek były jak najkrótsze. Podczas uruchamiania układu z rysunku 3 może zająć konieczność korekcji wartości rezystora R_1 po uprzednim dołączeniu do zacisków L_x cewki o znanej indukcyjności.

Andrzej Janeczek, SP5AHT

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

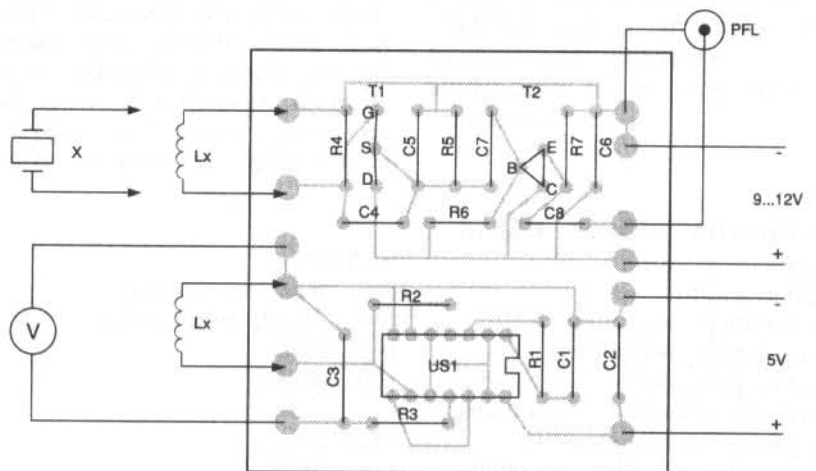
R1: $27\text{k}\Omega$
R2: 220Ω
R3: $10\text{k}\Omega$
R4: $100\text{k}\Omega$
R5: 470Ω
R6: $220\text{k}\Omega$
R7: 470Ω

Kondensatory

C1, C8: 1nF
C2: 220nF
C3: 470nF
C4, C5: 100pF
C6: 10nF
C7: 33pF

Półprzewodniki

US1: 74HC132
T1: BF245
T2: BC107



Rys. 7. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej