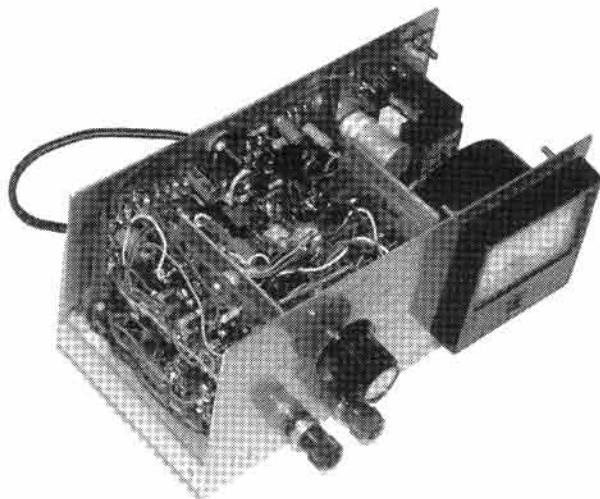


Miernik indukcyjności

Wiele jest metod pomiaru indukcyjności. Do pomiaru małych wartości indukcyjności używa się często Q-metrów lub mostków RLC. Często stosowane są także metody rezonansowe.

Zaletą wykorzystania opisanego miernika indukcyjności jest łatwość pomiaru. Używając go nie trzeba mozolnie szukać „piku” lub zera, wystarczy tylko przekręcić gałkę przełącznika zakresów w odpowiednią pozycję i odczytać wynik.

Dobrze skonstruowany miernik indukcyjności pozwala na pomiary z dokładnością nie mniejszą niż inne tradycyjne metody.



Zasada pomiaru

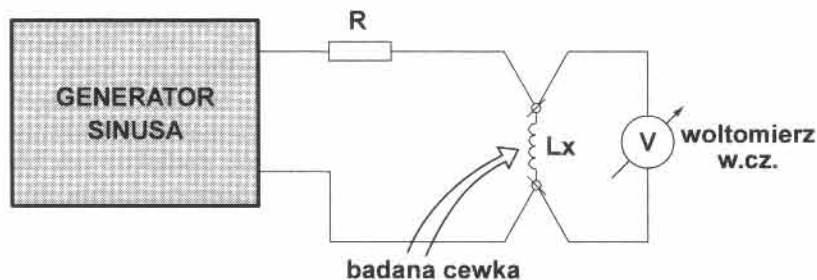
Zasada pomiaru przedstawiona została na **rysunku 1**. Jak widać chodzi tu o pomiar spadku napięcia na cewce. Jeśli $R \gg XL$, to napięcia mierzone woltomierzem RF będzie proporcjonalne do indukcyjności cewki. Woltomierz RF zrealizowany jest w oparciu o wzmacniacz W3 (**rys. 2**). Charakteryzuje go bardzo wysoka impedancja wejściowa oraz liniowa skala wskaźnika. Ta ostatnia cecha uzyskana

została dzięki dobrze znanemu w elektronice chwytowi - wskaźnik włączony jest w pętlę ujemnego sprzężenia zwrotnego, którą objęty jest wzmacniacz.

Jeśli $R \gg XL$, to zasadniczymi źródłami błędów są dwa czynniki nierozdzielnie związane z każdą rzeczywistą cewką, a mianowicie jej pojemność rozproszona oraz skończona dobroć. Dobierając odpowiednio niską częstotliwość pomiarową można sprowadzić efekty związane z pojemnością rozproszoną do zanedbywalnie małych wartości. Jednak czycha tutaj pewna zasadzka - przy niskich częstotliwościach nie można zaniedbać efektów związanych ze skończoną dobrocią cewki. Na szczęście efekt ten jest istotny przy naprawdę niskich wartościach Q. Przykładowo $Q = 5$ daje błąd pomiaru wynoszący 2%, zaś $Q = 10$ już tylko 0,5%.

Uwagi zamieszczone w ostatnim punkcie oznaczają w praktyce jedno: dla każdego zakresu pomiarowego istnieje jakaś optymalna częstotliwość pomiarowa leżąca gdzieś pomiędzy częstotliwością, gdzie Q cewki staje się niska, a częstotliwością dla której nabierają znaczenia efekty pojemnościowe.

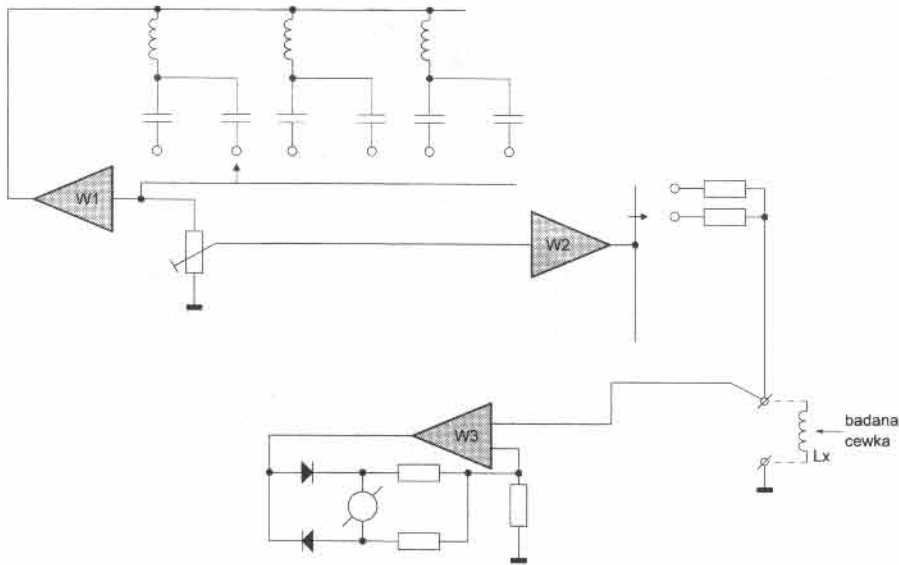
Wybrane dla poszczególnych zakresów częstotliwości pomiarowe zestawiono w **tabeli 1**. Zamieszczono w niej również wielkość impedancji cewki o maksymalnej dla danego zakresu indukcyjności. Te wartości przydadzą się nam w późniejszych rozważaniach.



Rys. 1. Zasada pomiaru indukcyjności.

Tabela 1.

Zakres	Częstotliwość pomiarowa	Impedancja dla końca zakresu
0...1μH	900kHz	5,64Ω
0...3μH	900kHz	16,96Ω
0...10μH	300kHz	18,85Ω
0...30μH	300kHz	56,5Ω
0...100μH	100kHz	62,8Ω
0...300μH	100kHz	188,5Ω
0...1mH	30kHz	188,5Ω
0...3mH	30kHz	565Ω
0...10mH	10kHz	628Ω
0...30mH	3kHz	565Ω
0...100mH	3kHz	1 885Ω



Rys. 2. Schemat blokowy układu pomiarowego.

Opis układu

Schematy blokowy i elektryczny miernika przedstawione są odpowiednio na rysunku 2 i 3.

Jak widać, składa się on z generatora napięcia sinusoidalnego (W1), wzmacniacza wyjściowego (W2) i woltomierza w.c.z. (W3).

Zapewne część czytelników będzie zdumiona użyciem tak dużej ilości elementów dyskretnych, a nie wzmacniaczy operacyjnych. Wyjaśnienie tego faktu jest proste - otóż wyższe częstotliwości pomiarowe są zbyt duże na to, by mógł znaleźć zastosowanie jakkolwiek z typowych wzmacniaczy operacyjnych.

Generator napięcia sinusoidalnego zbudowany jest na tranzystorach T1 oraz T2. Są to dwa wzmacniacze połączone szeregowo i objęte pętlą dodatniego sprzężenia zwrotnego, w której włączony jest obwód LC, decydujący o częstotliwości oscylacji. Napięcie na bazie T1 przypomina, z wystarczającą do naszych celów dokładnością, sinusoidę. Stąd, poprzez potencjometr montażowy P1 podawana jest ona do wzmacniacza wyjściowego (oznaczonego na schemacie blokowym W2).

Wielkości napięć na suwaku P1 zmierzone w egzemplarzu modelowym zamieszczono w tabeli 2. Wartości elementów obwodu rezonansowego nie są krytyczne. Ważne jest jednak, aby częstotliwości wypadły w pobliżu tych podanych w tabeli 1.

Wzmacniacz zbudowany jest na tranzystorach T3-T5. Rolę wzmacniacza napięciowego spełnia T3.

T4 i T5 to wtórniki emiterowe zapewniające niską impedancję wyjściową. Potencjometrem P2 należy dobrać optymalny punkt pracy, tzn. taki, który zapewnia najwyższą amplitudę niezniekształconych przebiegów wyjściowych.

Napięcia zmienne na wyjściu wzmacniacza zamieszczono w tabeli 3.

W skład dzielnika wchodzi: impedancja badanej cewki oraz rezystancja R dobrana odpowiednio do każdego zakresu pomiarowego. Wartość R powinna być duża w stosunku do impedancji cewki. Przyjęcie $R = 10 \times L$ oznacza błąd pomiaru rzędu 0,5% - w pełni akceptowalny w naszym przypadku. Kondensator C12 wraz z rezystorem R12 tworzą filtr dolnoprzepustowy

eliminujący z napięcia pomiarowego wyższe harmoniczne, chroniącego tym samym przed zafalszowaniami pomiarów dla „większych cewek“.

Wymaganą wysoką impedancję wejściową wzmacniacza osiągnięto dzięki zastosowaniu w stopniu wejściowym tranzystora FET. Następujące stopnie objęte są pętlą ujemnego sprzężenia zwrotnego, w którą włączony jest wskaźnik wychyłowy. Dzięki temu uzyskano liniowy charakter skali. Rezystancję R27 należy dobrać w zależności od typu użytego wskaźnika.

Potencjometrem P3 należy dobrać punkt pracy (podobnie jak dla wzmacniacza wyjściowego).

Do zacisków DVM można podłączyć woltomierz cyfrowy. W przypadku wykorzystywania wyłącznic woltomierza cyfrowego można zrezygnować z zakresów 0...3xx. Punkt dziesiątny nie będzie prawidłowo wyświetlany. Miernik zasilany jest stabilizowanym napięciem 12V. Pobór prądu wynosi ok. 55mA. Ze względu na możliwość wykorzystania gotowego zasilacza, pominiemy jego opis.

Woltomierz w.c.z. należy zmontować na osobnej płycie. Wejście woltomierza powinno być podłączone bezpośrednio do zacisków pomiarowych (tzn. zacisków do których podłączane będą badane cewki Lx) - tak jak to zasugerowano na schematach. Uniknie się w ten sposób dodatkowych błędów na skutek doprowadzenia do woltomierza w.c.z. dodatkowo niepożądanych napięć.

Ryszard Szygalski, DF1PN

Tabela 2.

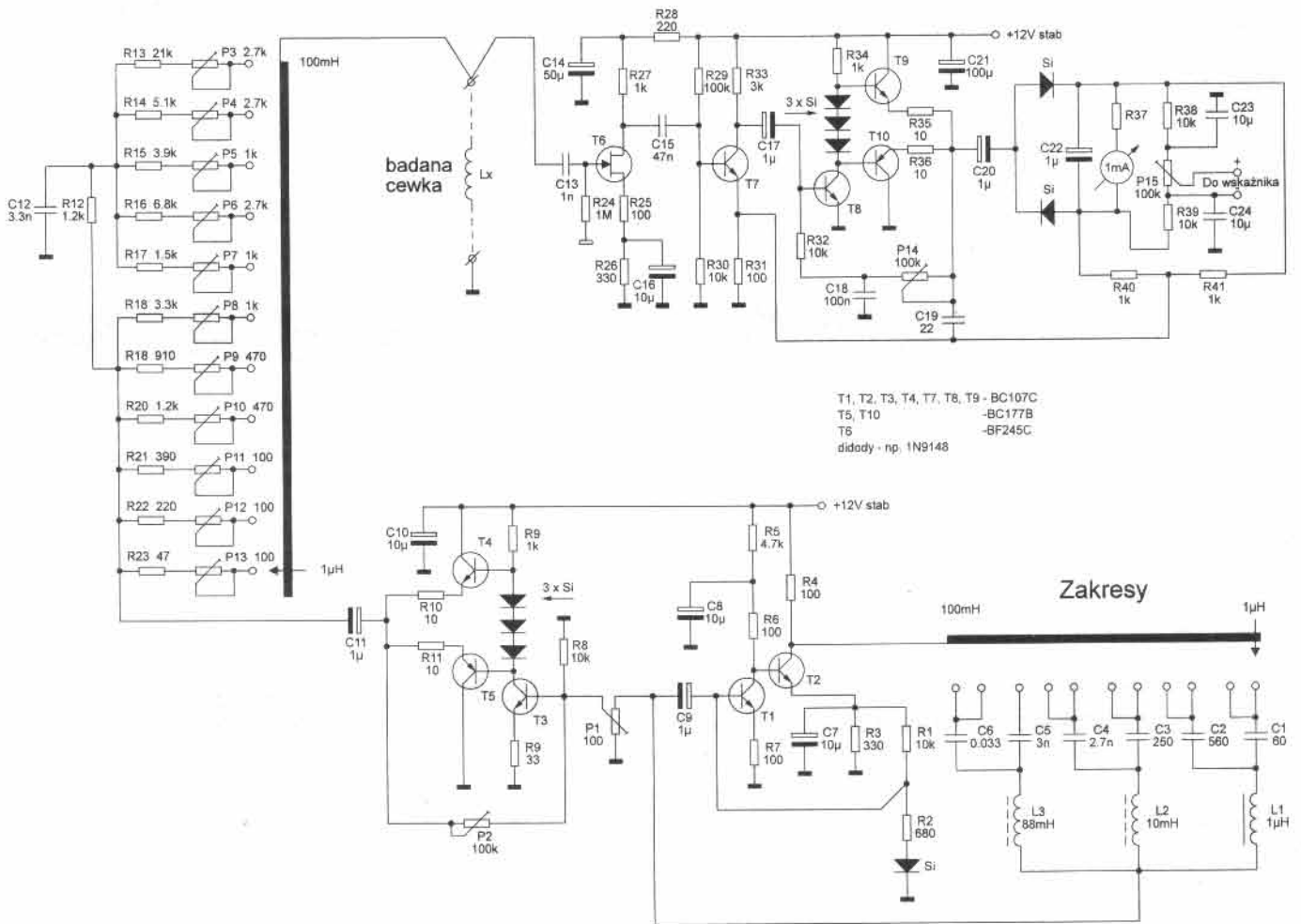
Zakres	Napięcie
0...1μH	75mV
0...3μH	75mV
0...10μH	80mV
0...30μH	80mV
0...100μH	73mV
0...300μH	73mV
0...1mH	103mV
0...3mH	103mV
0...10mH	53mV
0...30mH	58mV
0...100mH	58mV

Uwaga: pomiarów dokonano woltomierzem V640, na zakresach poniżej 1mH użyto sondy w.c.z. nie uwzględniając poprawek na nieliniowość.

Tabela 3.

Zakres	Napięcie
0...1μH	2,63V
0...3μH	2,63V
0...10μH	2,83V
0...30μH	2,83V
0...100μH	2,70V
0...300μH	2,70V
0...1mH	2,70V
0...3mH	2,62V
0...10mH	1,29V
0...30mH	1,70V
0...100mH	1,70 V

Uwaga: pomiarów dokonano woltomierzem V640, na zakresach poniżej 1mH użyto sondy w.c.z.



T1, T2, T3, T4, T7, T8, T9 - BC107C
 T5, T10 - BC177B
 T6 - BF245C
 diody - np. 1N9148

Rys. 3. Schemat elektryczny miernika indukcyjności.

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

- P1, P11...P13: 100Ω
- P9, P10: 470Ω
- P5, P7, P8: 1kΩ
- P3, P4, P6: 2.7kΩ
- P2, P14, P15: 100kΩ
- R1: 10kΩ
- R2: 680Ω
- R3: 330Ω
- R4: 100Ω
- R5: 4.7kΩ
- R6: 100Ω
- R7: 100Ω
- R8: 10kΩ
- R9: 1kΩ
- R10: 10Ω
- R11: 10Ω
- R12: 1.2kΩ
- R13: 21kΩ
- R14: 5.1kΩ
- R15: 3.9kΩ
- R16: 6.8kΩ
- R17: 1.5kΩ
- R18: 3.3kΩ
- R19: 910Ω
- R20: 1.2kΩ
- R21: 390Ω
- R22: 220Ω
- R23: 47Ω
- R24: 1MΩ
- R25: 100Ω
- R26: 330Ω
- R27: 1kΩ
- R28: 220Ω
- R29: 100kΩ
- R30: 10kΩ
- R31: 100Ω
- R32: 10kΩ
- R33: 3kΩ
- R34: 1kΩ
- R35: 10Ω
- R36: 10Ω
- R37: dobrać w zależności od użytego miliamperomierza
- R38: 10kΩ
- R39: 10kΩ
- R40: 1kΩ
- R41: 1kΩ

Kondensatory

- C1: 60pF
- C2: 560pF
- C3: 250pF
- C4: 2.7nF
- C5: 3nF
- C6: 33nF
- C7: 10μF
- C8: 10μF
- C9: 1μF, tantalowy

C10: 10μF

- C11: 1μF
- C12: 3.3nF
- C13: 1nF
- C14: 50μF
- C15: 47nF
- C16: 10μF
- C17: 1μF, tantalowy
- C18: 100nF
- C19: 22pF
- C20: 1μF, tantalowy
- C21: 100μF
- C22: 1μF
- C23: 10nF
- C24: 10nF

Półprzewodniki

- Si: diody krzemowe w.cz. np. 1N9148
- T1...T4, T7...T9: krzemowe npn, np. BC 107C
- T5, T10: krzemowe pnp, np. BC 177B
- T6: FET np. BF245C

Inne

- L1: 500μH
- L2: 10mH
- L3: 88mH