

Andrzej LEBIEDZKI

UKŁAD DO POMIARU TOLERANCJI STAŁEJ INDUKCYJNOŚCI A_L RDZENI DŁAWIKÓW PRZECIWKŁÓCENIOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono układy do pomiaru tolerancji stałej indukcyjności A_L ferrytowych rdzeni pierścieniowych z wykorzystaniem metody technicznej i nierównoważonego mostka transformatorowego. Oba układy mają liniowe charakterystyki przetwarzania i mogą być stosowane do szybkiej kontroli stałej indukcyjności A_L rdzeni u producenta dławików przeciwzakłóceniovych.

CORE CONSTANT INDUCTANCE TOLERANCE A_L MEASUREMENT SYSTEM OF INDUCTORS FOR RADIO INTERFERENCE SUPPRESSION

Summary. In the paper some measurement systems of toroidal ferrite core constant inductance tolerance A_L using technical method and unbalanced transformer bridge have been described. Both measuring systems have linear conversion characteristics and may be used for quick control of core constant induction A_L in inductors for radio interference suppression factory.

1. WPROWADZENIE

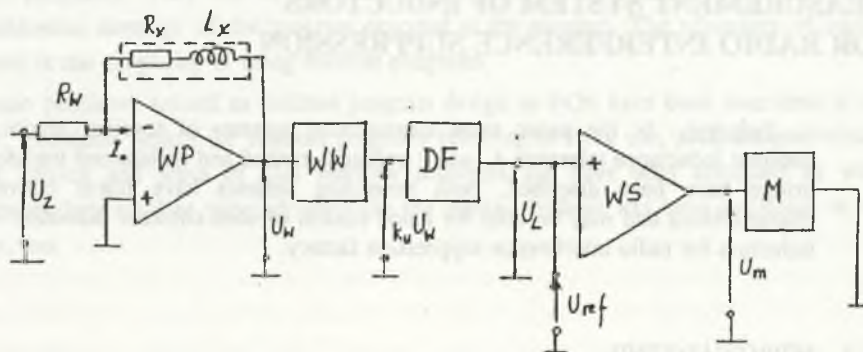
W procesie produkcji dławików filtrów przeciwzakłóceniovych stosowane są pierścieniowe rdzenie ferrytowe. Podstawowym parametrem rdzeni pierścieniowych jest stała indukcyjność A_L , określona jako indukcyjność rdzenia wyrażona w nanohenrach przypadająca na jeden zwój uzwojenia dławika. Dostarczone przez producenta rdzenie ferrytowe powinny mieć podaną wartość znamionową stałej indukcyjności A_{LN} oraz dopuszczalną procentową tolerancję wartości stałej A_L , np. $\pm 25\%$. W ostatnich latach zaobserwowano niepokojące zjawisko znacznej zmiany indukcyjności niektórych dławików krajowych filtrów przeciwzakłóceniovych w badaniach pełnych zgodnie z obowiązującymi normami [1].

Dotyczy to szczególnie ponad 50% obniżenia indukcyjności dławików po badaniach trwałości filtrów w czasie 1000 godzin w temperaturze $+ 85^{\circ}\text{C}$. Postanowiono więc przeprowadzać pomiary kontrolne nowo dostarczonych partii rdzeni ferrytowych po uprzednim kilkunastogodzinnym nagrzewaniu rdzeni w suszarkach w temperaturze 85°C .

Układ pomiarowy powinien pozwalać na szybki pomiar tolerancji stałej indukcyjności A_L bez wcześniejszego nawijania uzwojeń pomiarowych na badany rdzeń pierścieniowy. Jest to możliwe przy zastosowaniu specjalnego 3-stykowego złącza gniazdo-wtyczka o dużej trwałości pozwalającego na wykonanie pomiaru przy trzech zwojach uzwojenia pomiarowego. Częstotliwość pomiarową przyjęto równą $f_N = 10 \text{ kHz}$ zalecaną przez większość światowych producentów rdzeni ferrytowych [2].

2. METODA TECHNICZNA

W rozważanym układzie pomiarowym założono szeregowy schemat zastępczy impedancji Z_x mierzzonego rdzenia pierścieniowego. Schemat blokowy układu do pomiaru przedstawiono na rys. 1.



Rys.1. Schemat blokowy układu do pomiaru tolerancji stałej indukcyjności ΔA_L metodą techniczną: WP — wzmacniacz pomiarowy, WW — wzmacniacz napięciowy, WS — wzmacniacz sumujący, DF — detektor fazoczuły, M — miernik, R_W — rezystor wzorcowy, R_x , L_x — rezystancja i indukcyjność dławika kontrolowanego rdzenia, U_{ref} — napięcie odniesienia

Fig.1. Block diagram of constant inductance tolerance ΔA_L measurement system using technical method: WP — measurement amplifier, WW — voltage amplifier, WS — summing amplifier, DF — phase-sensitive detector, M — meter, R_W — standard resistor, R_x , L_x — resistance and inductance of controlled core inductor, U_{ref} — reference voltage

W układzie tym wykorzystano wzmacniacz pomiarowy WP z rezystancją wzorcową R_w na wejściu przy założeniu stabilizowanego napięcia zasilającego układ $U_z = \text{const}$. Napięcie na wyjściu wzmacniacza WP określa zależność (1)

$$U_w = - \frac{U_z}{R_w} (R_x + j\omega L_x), \quad (1)$$

gdzie:

R_x — rezystancja dławika,

L_x — indukcyjność dławika,

$\omega = \text{const}$ — pulsacja napięcia zasilającego U_z .

Zależność (1) jest słuszna, gdy prąd wejściowy I_0 wzmacniacza pomiarowego spełnia zależność $I_0 \ll I_w$. Napięcie U_w o wartości kilkudziesięciu miliwoltów po wzmocnieniu we wzmacniaczu napięciowym WW do wartości $k_u U_w$ podawane jest na detektor fazoczuły DF składowej biernej. Na wyjściu detektora fazoczułego otrzymuje się napięcie U_L proporcjonalne do indukcyjności L_x i równocześnie do stałej indukcyjności A_{LX} zgodnie z zależnością (2)

$$U_L = \frac{k_u U_z}{R_w} \omega L_x = \frac{k_u U_z}{R_w} \omega A_{LX} z_p^2 = k A_{LX}, \quad (2)$$

gdzie:

$z_p = 3$ - założona liczba zwojów pomiarowych na rdzeniu.

Dla pomiaru tolerancji stałej indukcyjności $\Delta A_{LX} = A_{LX} - A_{LN}$ na wejście wzmacniacza sumującego WS o wzmocnieniu k_s należy podać napięcie odniesienia $U_{ref} = -k A_{LN}$. Napięcie wyjściowe U_m wzmacniacza sumującego WS podawane na miernik M jest proporcjonalne do tolerancji stałej indukcyjności

$$U_m = k_s (U_L + U_{ref}) = k' \Delta A_{LX}. \quad (3)$$

Do zmiany zakresu pomiarowego w tym układzie wystarczająca jest zmiana wartości tylko jednego elementu układu opornika wzorcowego R_w lub wzmocnienia wzmacniacza napięciowego WW.

Przeprowadzając analizę niedokładności pomiaru stałej A_{LX} badanego rdzenia zależność (2) możemy przekształcić

$$A_{LX} = \frac{U_L}{U_z} \cdot \frac{R_w}{K_u Z_p^2 2\Pi f}. \quad (4)$$

Względna niedokładność graniczną $\Delta^0 A_{LX}$ określa zależność

$$\Delta^0 A_{LX} = \pm [|\Delta^0 U_L| + |\Delta^0 U_2| + |\Delta^0 R_w| + |\Delta^0 k_u| + |\Delta^0 f|] \quad (5)$$

Na niedokładność pomiaru stałej A_{LX} mają wpływ: niestalość napięcia i częstotliwości napięcia wzmacniacza mocy U_2 , niedokładność rezystancji R_w , niestalość wzmocnienia napięciowego K_u wzmacniacza WW oraz niedokładność pomiaru składowej biernej napięcia U_L . Ponieważ na miernik M podawane jest napięcie U_m będące sumą napięcia U_L i napięcia odniesienia U_{ref} , to dodatkowo należy uwzględnić błąd związany z niestalością napięcia U_{ref} .

Stosując stabilne źródło napięcia odniesienia, niestalości długoczasowej 0,05% U_{ref} , można wpływ tego błędu pominąć.

3. NIEZRÓWNOWAŻONY MOSTEK TRANSFORMATOROWY

W układzie niezrównoważonego mostka transformatorowego, którego schemat blokowy przedstawiono na rys.2, założono jednakowe wartości napięć zasilających gałęzie dławika mierzzonego o impedancji Z_x i dławika wzorcowego o impedancji $Z_N = R_N + j\omega L_N$

$$U_{Zx} = U_{ZN} = U_Z.$$

W obu gałęziach mostka zastosowano jednakowe wzmacniacze pomiarowe pracujące w układzie przetwornika U/I z jednakowymi rezystancjami wzorcowymi R_w . Napięcie wyjściowe wzmacniacza pomiarowego WP1 określa zależność (6)

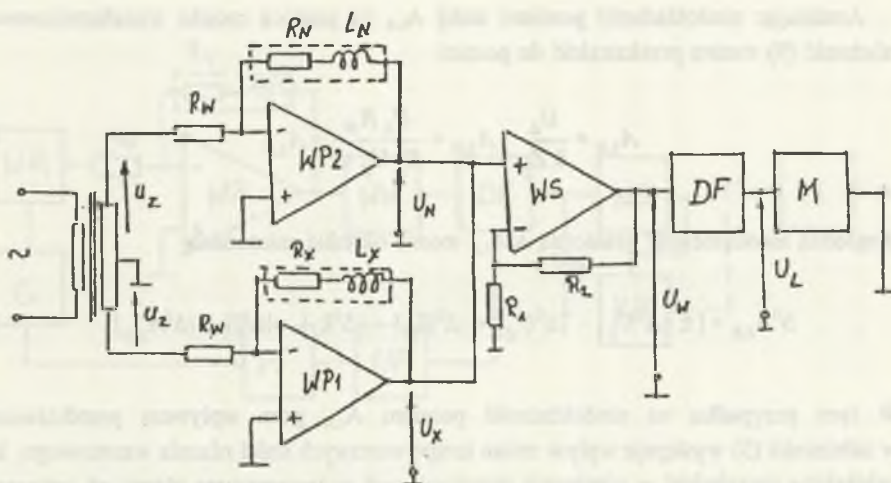
$$U_X = U_Z \frac{1}{R_w} (R_x + j\omega L_x). \quad (6)$$

Napięcie wyjściowe wzmacniacza WP2 określa zależność (7)

$$U_N = -U_Z \frac{1}{R_w} (R_N + j\omega L_N). \quad (7)$$

Napięcia U_X i U_N podawane są następnie na wejście nieodwracające wzmacniacza sumującego o wzmocnieniu napięciowym k_u . Na jego wyjściu otrzymujemy napięcie U_w zgodnie z zależnością (8)

$$U_w = k_u (U_X - U_N) = \frac{k_u}{R_w} U_Z [(R_x - R_N) + j\omega(L_x - L_N)]. \quad (8)$$



Rys.2. Schemat blokowy niezrównoważonego mostka transformatorowego do pomiaru tolerancji stałej indukcyjności ΔA_L : TP — transformator pomiarowy, WP1, WP2 — wzmacniacze pomiarowe, WS — wzmacniacz sumujący, DF — detektor fazoczuły, M — miernik, R_W — rezystor wzorcowy, R_N, L_N — rezystancja i indukcyjność dławika rdzenia wzorcowego

Fig.2. Block diagram of constant inductance tolerance ΔA_L measurement system using unbalanced transformer bridge: TP — measurement transformer, WP1, WP2 — measurement amplifiers, WS — summing amplifier, DF — phase-sensitive detector, M — meter, R_W — standard resistor, R_N, L_N — resistance and inductance of standard core inductor

Po detekcji fazowej składowej biernej napięcia U_w w detektorze DF otrzymujemy ostatecznie napięcie U_L proporcjonalne do różnicy indukcyjności L_X i L_N

$$U_L = k(L_X - L_N) = k z_p^2 (A_{LN} - A_{LN}') = k' \Delta A_{LX}. \quad (9)$$

Różnicę tę najczęściej wyraża się w procentach w odniesieniu do wartości znamionowej A_{LN} . Układ pozwala na pomiar tolerancji stałej indukcyjności ΔA_{LX} .

Zmiana zakresu pomiarowego stałej indukcyjności A_{LN} wymaga w tym przypadku zmiany równocześnie wzorca Z_N i wzmacnienia k_u wzmacniacza sumującego WS zgodnie z zależnością

$$\Delta A_{LX\%} = \frac{\Delta A_{LX}}{A_{LN}} 100\%. \quad (10)$$

Analizując niedokładność pomiaru stałej A_{LX} za pomocą mostka transformatorowego zależność (9) można przekształcić do postaci

$$A_{LX} = \frac{U_L}{k Z_p} - A_{LN} = \frac{U_L R_w}{K_u U_Z \omega} - A_{LN} \quad (11)$$

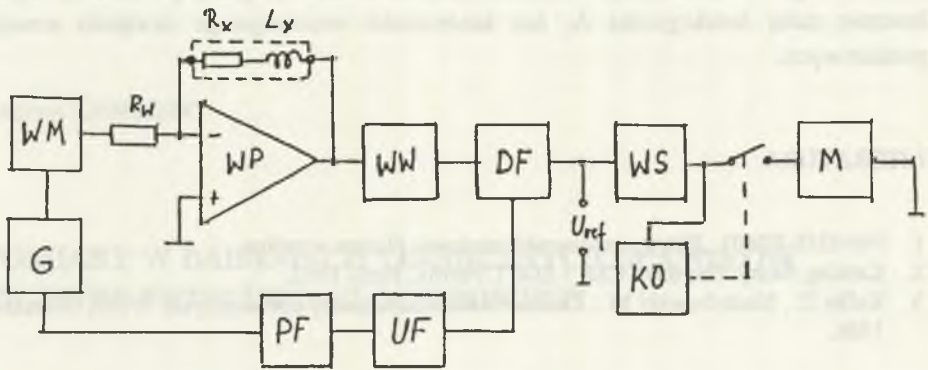
Względna niedokładność graniczną $\Delta^0 A_{LX}$ można określić zależnością

$$\Delta^0 A_{LX} = [\pm |\Delta^0 U_L| + |\Delta^0 U_Z| + |\Delta^0 R_w| + |\Delta^0 k_u| + |\Delta^0 f| + |\Delta^0 A_{LN}|] \quad (12)$$

W tym przypadku na niedokładność pomiaru A_{LX} poza wpływem przedstawionym w zależności (5) występuje wpływ zmian temperaturowych stałej rdzenia wzorcowego, które należałoby uwzględnić w pomiarach dokonywanych w temperaturze różnej od temperatury odniesienia np. 20°C.

4. PROCENTOWY MIERNIK TOLERANCJI STAŁEJ INDUKCYJNOŚCI A_L

Z przedstawionych powyżej układów do praktycznej realizacji wybrana została metoda techniczna przedstawiona na rys.1 wymagająca zmiany tylko wzmocnienia napięciowego k_u wzmacniacza WW przy zmianie rodzaju kontrolowanego rdzenia ferrytowego. Wykonano miernik tolerancji stałej indukcyjności A_L dla trzech rodzajów rdzeni pierścieniowych o stałych $A_{LN} = 3000, 6000$ i 10000 nH. Schemat blokowy wykonanego miernika przedstawia rys.3. Układ pomiarowy zasilany jest z generatora G napięcia sinusoidalnego o częstotliwości $10 \text{ kHz} \pm 50 \text{ Hz}$ o stabilizowanej amplitudzie. Napięcie z generatora podawane jest na wzmacniacz mocy WM zbudowany na wzmacniaczu operacyjnym i parze tranzystorów bipolarnych objętych ujemnym sprzężeniem zwrotnym. Napięcie wzmacniacza mocy podawane jest na rezystor wzorcowy R_w i wzmacniacz pomiarowy WP, w którego petli sprzężenia zwrotnego włączona jest mierzona impedancja badanego rdzenia Z_x . Napięcie wyjściowe wzmacniacza pomiarowego wzmacniane jest we wzmacniaczu WW o wzmocnieniu k_u zależnym od rodzaju badanego typu rdzenia. Po wzmocnieniu napięcie wyjściowe wzmacniacza WW podawane jest na wyjście detektora fazoczułego DF. Detektor fazoczuły składowej biernej wykonano w układzie prostownika jednopółokowego z wykorzystaniem klucza typu FET sterowanego z układu formującego UF przez przesuwnik fazoczuły PF, tak aby mierzona była tylko składowa indukcyjna napięcia wzmacniacza WW. Na wejście wzmacniacza sumującego WS do napięcia detektora fazowego DF dodawane jest napięcie odniesienia U_{ref} o wartości odpowiadającej A_{LN} . Na skali miernika M odczytywana jest tolerancja stałej indukcyjności $\pm 40\% A_{LN}$.



Rys.3. Schemat blokowy miernika tolerancji stałej indukcyjności A_L pierścieniowych rdzeni ferrytowych: G — generator, WM — wzmacniacz mocy, R_w — rezystor wzorcowy, WP — wzmacniacz pomiarowy, WW — wzmacniacz o regulowanym wzmacnieniu, PF — przesuwnik fazowy, UF — układ formujący, DF — detektor fazoczuły, WS — wzmacniacz sumujący, KO — komparator okienkowy, M — miernik

Fig.3. Block diagram of toroidal ferrite core constant inductance tolerance A_L meter: G — generator, WM — power amplifier, R_w — standard resistor, WP — measurement amplifier, WW — amplifier with regulated amplification, PF — phase shifter, UF — formative system, DF — phase-sensitive detector, KO — window comparator, M — meter

Miernik M włączony jest do układu pomiarowego przez kontaktron sterowany z komparatora okienkowego KO tylko w przedziale mierzonych tolerancji pojemności. Dzięki zastosowaniu współczesnych wzmacniaczy scalonych i stabilnych termicznie elementów błędy pomiaru tolerancji stałej indukcyjności A_L na wszystkich zakresach pomiarowych nie przekraczają $\pm 2\% A_{LN}$.

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Przedstawione zostały dwie wybrane metody pomiaru stałej indukcyjności A_L pierścieniowych rdzeni ferrytowych metodą techniczną i metodą niezrównoważonego mostka transformatorowego, posiadające liniowe charakterystyki przetwarzania. Metody przystosowane są do wykonania dużej liczby pomiarów kontrolnych u producenta filtrów przeciwzakłóceńowych przed procesem nawijania uzwojeń na dławiku. Do praktycznej realizacji wykorzystano metodę techniczną wymagającą zmiany tylko jednego elementu

regulowanego w układzie, tj. wzmocnienia wzmacniacza. Przyrząd pozwala na szybką kontrolę stałej indukcyjności A_L bez konieczności wcześniejszego nawijania uzwojeń pomiarowych.

LITERATURA

1. PN-93/T-80103. Filtry przeciwzakłóceniami. Norma wspólna.
2. Katalog firmy Thomson CSF - SOFT Ferrits, Paris 1993.
3. Kulka Z., Nadachowski M.: Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych. WNT, Warszawa 1986.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Augustyn Chwaleba

Wpłynęło do Redakcji dnia 20 kwietnia 1995 r.

Abstract

In the paper some measurement systems of toroid ferrite core constant inductance tolerance A_L using technical method and unbalanced transformer bridge have been described. Both measuring systems have linear conversion characteristics and may be used for quick control of core constant inductance A_L in inductors for radio interference suppression factory. In technical method measurement amplifier WP and standard resistor R_w in its input have been used. Block diagram of this system has been presented in Fig.1. Using summing amplifier WS and reference voltage $U_{ref} = k A_{LN}$ meter M output voltage has been found to be proportional to constant inductance tolerance A_L according to equation 3. In unbalanced transformer bridge system for constant A_L measurements, presented in Fig.2, equal amplifiers and standard resistors have been used. After phase detection output voltage of summing amplifier is proportional to constant inductance tolerance ΔA_{LX} . Technical method of constant inductance tolerance A_L measurement has been used to design 3-range meter for three kinds of toroidal cores. Blok diagram of the designed meter has been presented in Fig.3. On the meter M scale constant inductance tolerance within $\pm 40\% A_{LN}$ can be read. Quick control of constant A_L without previous extra winding of the tested core is possible.