

Marian Salamon SP5CS

RDZENIE PIERŚCIENIOWE POLFER-U W ZASTOSOWANIU DO MODULATORÓW KF

Publikacja niniejsza powstała z inspiracji kolegów SP9OHS i SP8LNC. Stanowi próbę przybliżenia w popularnym ujęciu zagadnień konstrukcji modulatorów pierścieniowych z uwzględnieniem doboru materiałów magnetycznych. Wszystkie zamieszczone charakterystyki rdzeni magnetycznych, zostały opracowane na podstawie przeprowadzonych pomiarów. Modulatory przed pomiarami montowane były w metalowe obudowy PC 16 używane m.in. do hybrydyzacji układów elektronicznych. Rdzenie użyte na transformatory nie podlegały sztucznej dezakomodacji; powodem było wykrycie dużych różnic parametrów w poszczególnych partiach tego samego typu. Autor ma nadzieję na częściowe rozwianie niejasności w tak bogatej dziedzinie, jak materiały magnetyczne.

PODSTAWOWE TERMINY I POJĘCIA

Przenikalność magnetyczna μ

Pod pojęciem przenikalności magnetycznej rozumiemy ilościowy związek stopnia zagęszczenia linii pola magnetycznego w cewce z rdzeniem w stosunku do takiej samej cewki bez rdzenia. Częściowo tylko upraszczając możemy powiedzieć, że μ jest to liczba, która stanowi ile razy zwiększy się indukcyjność cewki z rdzeniem od takiej samej cewki bez rdzenia.

Rozróżniamy:

- Przenikalność początkową μ_0
- Przenikalność równoważną
- Przenikalność względną μ_w
- Przenikalność przemieszczonej pętli
- Przenikalność rewersyjną
- Przenikalność zespoloną - szeregową, równoległą

Ilość terminów związanych z przenikalnością magnetyczną ilustruje złożoność problemu. Ogranicz się do wyjaśnienia tylko tych najczęściej spotykanych w katalogach materiałów magnetycznych i potrzebnych do obliczeń.

Przenikalność początkową materiału magnetycznego wyznacza się zwykle na rdzeniach pierścieniowych, a to ze względu na niskie rozproszenie pola.

Przenikalność wyliczamy z zależności:

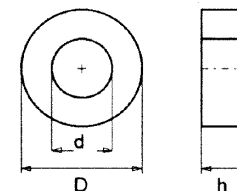
$$\mu_0 = \frac{L}{L_0}$$

Gdzie: L - indukcyjność cewki z rdzeniem ferrytowym magnetycznym toroidalnym
 L_0 - indukcyjność cewki bez rdzenia o kształcie toroidalnym

L_0 - indukcyjność dla toroidów obliczamy ze wzoru:

$$L_0 = 2hN^2 \ln \frac{D}{d} \cdot 10^{-10} \quad [\text{H}]$$

Gdzie: h - grubość rdzenia
 N - ilość zwojów nawiniętych na rdzeniu
 D - średnica zewnętrzna pierścienia
 d - średnica wewnętrzna (otworu) rdzenia



Wymiary rdzenia toroidalnego

Indukcja Magnetyczna B

Czym dla obwodu elektrycznego jest gęstość prądu, tym dla obwodu magnetycznego jest indukcja. Ponieważ strumień Φ w nierozgałęzionym obwodzie magnetycznym ma wartość stałą, indukcja B odpowiadająca gęstości może przybrać różne wartości.

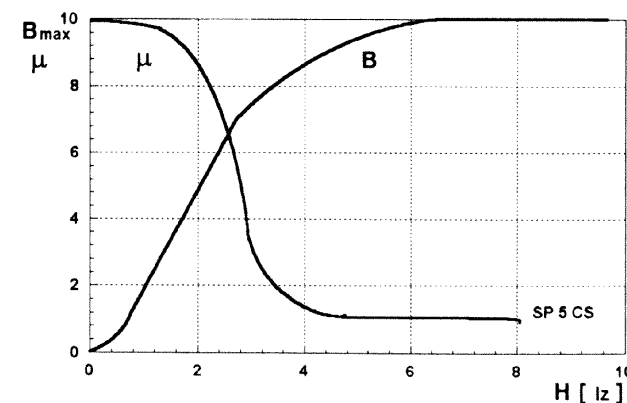
$$\Phi = B S$$

Należy mieć na uwadze, że część strumienia może być rozproszona; wówczas indukcja ma wartość mniejszą. Linie pola magnetycznego są liniami zamkniętymi, więc linia pola rozproszonego musi się przez coś zamknąć, indukując wtórne pole elektryczne. Dlatego ekranowanie pola magnetycznego jest tak trudne, w przeciwieństwie do pola elektrycznego. W rdzeniach toroidalnych rozproszenie jest minimalne, stąd ekranowanie najczęściej jest zbędne.

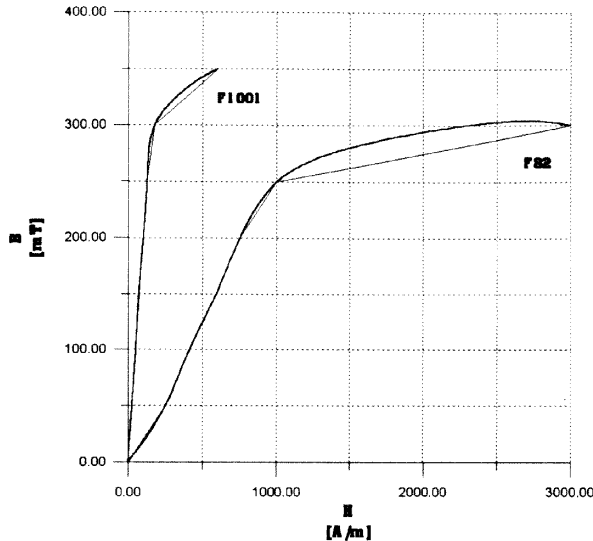
Podobnie jak przy przenikalności, pojęcie indukcji rozciąga się na:

- Indukcję nasycenia
- Indukcję szczytkową.

Indukcja Magnetyczna, Przenikalność Magnetyczna są funkcjami nieliniowymi i antagonistycznymi, jak uwidoczniło na wykresie.



Zadaniem konstruktora jest wybranie takiego odcinka krzywej, by przy zadanej amplitudzie pola magnesującego był on najbardziej liniowy. Praca na quasi liniowej charakterystyce zapewnia najmniejsze zniekształcenie sygnału i przesunięcia fazowe.



Charakterystyka ferrytów F82 i F1001

Na podstawie powyższych charakterystyk magnesowania ferrytów wnioskujemy:

- Materiały magnetyczne F1001 łatwiej można wprowadzić w obszar nieliniowej części charakterystyki.
- Ferryty o małej przenikalności, np. typu F82, U31, nasycają się mniej lecz ich charakterystyka jest bardziej nieliniowa.

Na wykresie wartości z pomiarów połączone zostały prostymi a następnie aproksymowane do krzywej wielomianowej stopnia drugiego.

Stratność materiałów magnetycznych $tg\delta$

Straty w rdzeniach zależą od warunków ich pracy. Wpływają na nie amplituda, zmiana indukcji, częstotliwość pracy oraz kształt zmian indukcji.

Pod pojęciem stratności $tg\delta$ rozumiemy:

- Straty na histerezę
- Straty wynikające z relaksacji ścian domen i obrotami rezonansowymi domen w ferrytach
- Straty z prądów wirowych

Katalogi materiałów magnetycznych podają zredukowany współczynnik strat i często odniesiony do masy rdzenia. Zredukowany współczynnik strat określa stosunek tangensa strat w materiale do przenikalności początkowej materiału. Zależność jest prawdziwa dla słabych indukcji i okreś-

lona wzorem:

$$\frac{tg\delta}{\mu_i} \equiv \frac{1}{\mu_i Q}$$

Wygodną metodą pomiarową $tg\delta$ w zakresie 1 - 100 MHz jest pomiar dobroci Q i na drodze wyliczenia z zależności:

$$tg\delta = \frac{1}{Q} \quad (\text{zakładając, że dobroć jest stała}).$$

Wyliczone w ten sposób straty obejmują nie tylko straty w rdzeniu, lecz na prądy wirowe w ekranie i straty dielektryczne. W rdzeniach toroidalnych pole rozproszone przyjmuje małe wartości, wyliczony $tg\delta$ jest poprawny. Dokładnego opisu metody pomiarowej celowo nie przytoczę, ponieważ do obliczenia i doboru rdzeni magnetycznych potrzebna jest jego wartość, a nie metoda. Mierzac przy określonej częstotliwości dobroć cewki uzyskujemy po wyliczeniu bardzo dobrze przybliżoną wielkość strat. Im większa dobroć cewki, tym mniejsze straty.

OBLICZENIA I DOBIERANIE ROZMIARÓW RDZENI TOROIDALNYCH DLA MIESZACZY PIERŚCIENIOWYCH

Przyjmuję następujące założenia:

1. $B_{max} \leq \frac{U_{max}}{\omega * S * n}$ gdzie:
 - n - ilość zwoi na rdzeniu
 - s - przekrój poprzeczny rdzenia w m^2
 - B - maksymalna wartość indukcji rdzenia przy liniowej aproksymacji charakterystyki pracy mieszacza na 10 mT
 - ω - pulsacja = $2\pi f = 6.28 * 1.5 * 10^6$ dla 1.5 MHz
 - U_{max} - maksymalna wartość napięcia na końcówkach uzwojenia transformatora.

2. Występowanie maksymalne LO [heterodyny] 17 dBm

Wartość napięcia sterującego LO wyliczamy z zależności 1dBm = 0.2236 V na oporności 50 Ω , co stanowi ekwiwalent 1mW mocy traconej na rezystorze.

$$17dBm = 7.08 \text{ wzmocnienia nap. czyli } 0.2236 \text{ V} * 7.08 = 1.583 \text{ V}$$

lub z wzoru ogólnego:

$$U_{max} = 10^{\frac{17}{20}} * \sqrt{1 * 10^{-3} * 50} = 1.583 \text{ [V]}$$

Napięcie na końcówkach uzwojenia LO wynosi 1.583 V wartości skutecznej!

Aplitudę wyniesie: $U_{max} = 1.583 * \sqrt{2} = 2.238 \text{ [V]}$

Taką właśnie wartość amplitudy podstawiamy do wzoru 1. Po podstawieniu danych otrzymamy:

$$10 * 1 * 10^{-3} = \frac{2.238}{8 * 6.28 * 1.5 * 10^6 * S} \quad S = 2.96 \text{ mm}^2$$

Odpowiadający przekrój rdzenia toroidalnego wybrany ze znormalizowanego szeregu rdzeni pierścieniowych POLFER

$$Rp \ 6.3 \times 3.8 \times 2.4$$

Wymiary rdzenia: s = 2.94mm D = 6.3mm d = 3.8mm h = 2.4 mm

Dla mieszaczy pierścieniowych wybieramy specjalnie małą wartość indukcji B=10 mT, ponieważ istnieje uzasadniona obawa pojawienia się 3 harmonicznej LO. harmoniczne powstają na skutek nieliniowej charakterystyki magnesowania rdzenia. Podobny tok obliczeń jest dla stopni mocy. Dopuszcza się większą indukcję B = 150 mT, godząc się z większą zawartością harmonicznych! Stąd konieczność stosowania filtrów dolnoprzepustowych.

(ciąg dalszy - w kolejnym numerze "Krótkofalowca Polskiego")

RDZENIE PIERŚCIENIOWE POLFER-u W ZASTOSOWANIU DO MODULATORÓW KF

(dokończenie)

DOBIERANIE GATUNKU FERRYTY NA TRANSFORMATORY KF

Najczęściej są stosowane dwa rodzaje ferrytów: manganowo - cynkowe F606 do F5001 o przenikalności początkowej $\mu_i = 600 \div 5000$ oraz niklowo - cynkowe $\mu_i = 250 \div 10$ dla F302 do U-11.

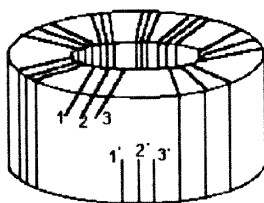
Krajowy producent POLFER w swoim katalogu materiałów magnetycznych podaje zakresy częstotliwościowe zastosowań poszczególnych typów ferrytów. Zakres pracy rozciąga się od 1,5 MHz dla F5001 do 600 MHz dla gatunku U11, lecz pomiary parametrów wykonywane były na częstotliwościach 100 kHz i 3 MHz, a ostatnio **tylko na 100 kHz!**

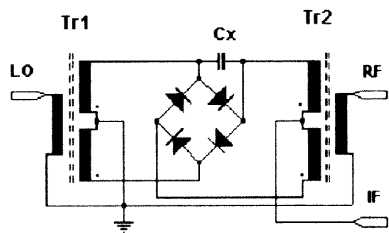
Praktyka wykazała, że ferryty gatunku F1001, F2001, a nawet F3001, pracują rzekomo do setek MHz. Poważni producenci sprzętu elektronicznego również próbowali takich nietypowych aplikacji. Stwierdzenie było zgodne: magnetyki, które z zaleceniami producenta przeznaczone do pracy powyżej 15 - 20 MHz wykazywały słabe parametry, gatunki F1001 himerycznie. Ferryty odznaczają się dużą wrażliwością na zmiany temperatury. Roztrajanie się obwodów rezonansowych jest na tyle poważne, że nie może być pomijane w odpowiedzialnych urządzeniach. Zmiana przenikalności magnetycznej z temperaturą są tym większe, im większa μ_i .

Wymagania stawiane transformatorom w zastosowaniu do mieszaczy

1. Nierównomierność przenoszonego pasma częstotliwości powinna być lepsza od 1 - 3 dB.
2. Transformatory winny się cechować doskonałą symetrią napięciową i fazową.

W całym paśmie transformator powinien wykazywać symetrię napięciową lepszą od 40-60 dB. Symetria napięciowa uzwojeń wtórnych ma decydujący wpływ na poziom harmonicznych produktów mieszania. Optymalne dopasowanie ma miejsce wtedy i tylko wtedy, gdy zachodzi równość reaktancji uzwojeń wtórnych przy identycznej ilości zwoi, a przesunięcia fazowe napięć wynoszą 180°. Uwagi te dotyczą obydwu transformatorów. Symetria ma również związek z jednakową długością przewodu użytego na uzwojenia wtórne. Zwrócić wypada uwagę na wybór uzwojenia pierwotnego. Transformator z nawiniętymi uzwojeniami, 3 druty płasko bez wcześniejszego skręcania razem. Za uzwojenie pierwotne obieramy *środkowe, oznaczone 2.2'- uzyskamy od 10 do 12 dB lepsze tłumienie harmonicznych*. Dzieje się tak, ponieważ rozkład pojemności uzwojeń jest bardziej symetryczny.





Topologia mieszacza pierścieniowego

Kondensator C_x , którego wartość zawiera się od 2 - 6 pF, służy do kompensacji niezerównoważonej reaktancji indukcyjnej transformatorów. Wykonujemy go przez skręcanie dwóch izolowanych przewodów. Doświadczalnie ustala się miejsce, do której gałęzi należy dołączyć kondensator.

Obliczanie indukcyjności uzwojeń transformatorów Tr1 Tr2

Prosta konstrukcja oraz dobre parametry elektryczne modulatora inspirują do realizacji. Modulator składa się z dwóch jednakowych transformatorów Tr1,2 i kwartetu - najczęściej krzemowych - diod.

Po doborze wielkości pierścienia ustalamy gatunek materiału a następnie przystępujemy do łatwych obliczeń.

W technice konstrukcji transformatorów wysokiej częstotliwości napotykamy na ograniczenia trudne do pokonania. Przekładnia zwojowa transformatora szerokopasmowego praktycznie nie powinna być większa niż 1:9. Pojemności własne uzwojenia wtórnego doprowadzają układ na wyższych częstotliwościach do rezonansu dając „*podbicie przekładni*”. Poza rezonansem występuje obciążenie pojemnościowe, wzmocnienie maleje szybko.

Pojemność własna uzwojenia rośnie wraz z ilością zwoi, staramy się więc nawijać jak najmniej. Indukcyjność *uzwojenia pierwotnego* określona jest znanym wzorem:

$$Z = \frac{4 \cdot Z_0}{\omega_{\min}}$$

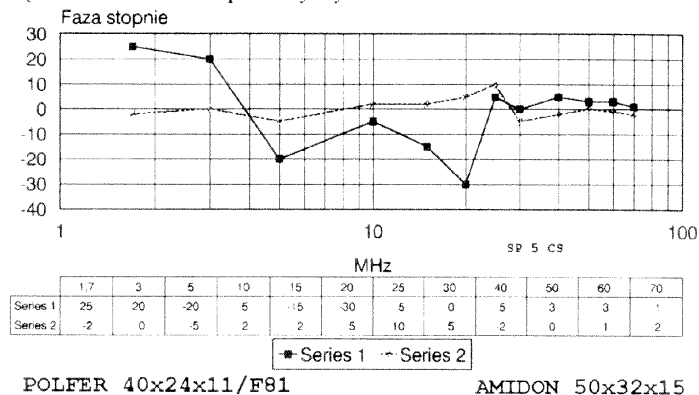
$$\omega_{\min} = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$\omega_{\min} = 2 \cdot 3.14 \cdot 1.5 \cdot 10^6$$

Po podstawieniu wartości otrzymamy $L = 21,22 \mu\text{H}$

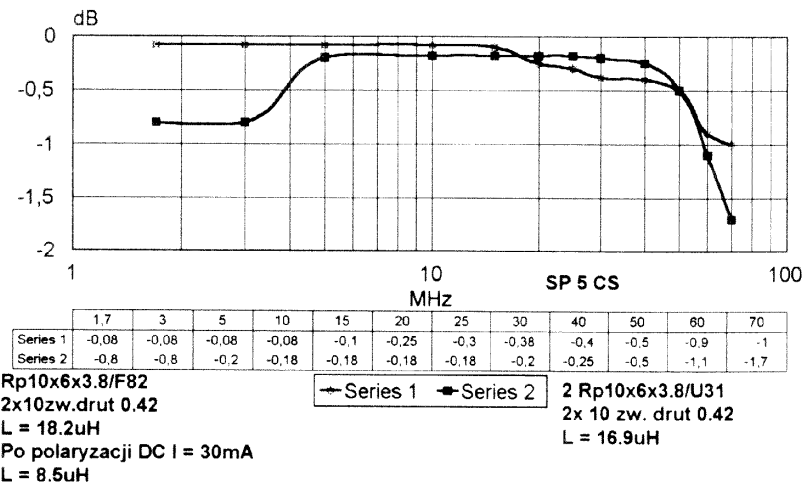
Cewki nawijane na rdzenie pierścieniowe charakteryzują się tym, że nie istnieje pojęcie połowy czy ćwierci zwoja, istnieją tylko ilości całkowite. Indukcyjność wypada przybliżona do zakładanej. Uzwojenie na rdzeniu układamy możliwie jak najbardziej ściśle do rdzenia. Niedokładne nawinięcie powiększa przekrój poprzeczny uzwojenia, lecz nie zwiększa indukcji magnetycznej. Kalkulujemy w następujący sposób: Rdzeń powinien mieć indukcję i częstotliwość przenoszenia maksymalnie dużą. Przy małej ilości zwoi otrzymamy żądaną indukcyjność potrzebną dla zachowania dolnej częstotliwości pasma oraz małą pojemność uzwojenia. Względny praktyczny skłaniają nas do uwzględnienia jeszcze kolejnego ograniczenia. Ograniczeniem jest znaczny rozrzut wartości A_l w rdzeniach. Trudno będzie wykonać - przy jednakowej ilości zwoi - dwa transformatory o identycznych impedancjach. Rdzenie pierścieniowe o dużej przenikalności i pracy na wysokich częstotliwościach, mają znacznie większe stratności która tutaj jest zjawiskiem pozytywnym. Składowa czynna wartości zespolonej $i\delta$ *zmniejsza* zmiany fazowe napięć w transformatorze, charakterystyka częstotliwościowa jest bardziej płaska. Rdzeni gatunku F1001 nie należy stosować do obwodów rezonansowych 10 - 15 MHz, ponieważ w tym zakresie występują największe

zmiany fazy, które powinny wystąpić dopiero w okolicy 50 - 55 MHz. Dobroć obwodu jest za mała jak na obwody selektywne i wynosi $Q = 6 - 15$. Ilustrację zmiany fazy w transformatorach w funkcji częstotliwości stanowi poniższy wykres.



Przedstawiane charakterystyki tłumieniowe transformatorów powstały z wykonanych pomiarów z użyciem różnych gatunków ferrytów. Krzywe są wynikiem aproksymacji prostych odcinkowych do krzywych wielomianów stopnia czwartego. Autor dysponuje dokładną analizą matematyczną wyników przeprowadzonych badań prezentowanych ferrytów. Pomiary wykonane zostały za pomocą unikalnych mierników wysokiej klasy. Weryfikację wyników przeprowadzono z dokładnością lepszą niż 0.5%.

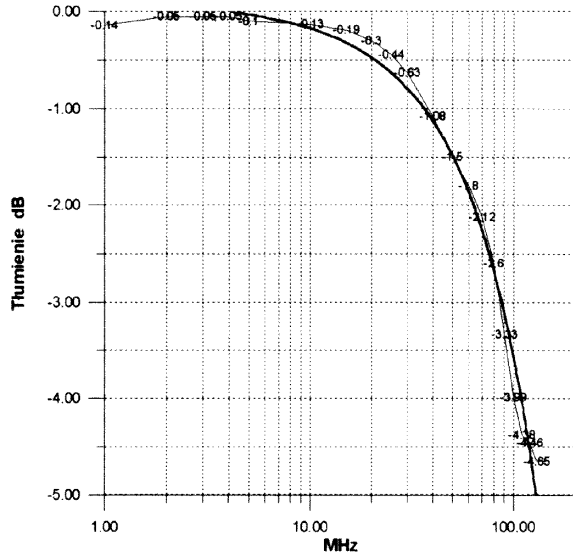
Charakterystyki transformatorów
Rdzenie pierścieniowe Rp10x6x3.8



Dodatkowo dla rdzenia z materiału F82 dokonałem pomiaru indukcyjności przy przepływie prądu stałego w uzwojeniu pierwotnym. Prąd magnesujący w sposób zdecydowany dla tego gatunku wpływa na przenikalność magnetyczną zaś dla U31 i U11 wpływ jest znikomy.

CHARAKTERYSTYKA TRANSFORMATORA 1 : 1

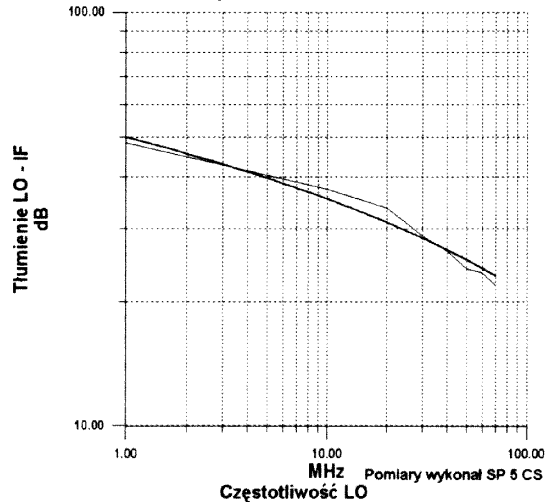
Rdzeń toroidalny Rp 5 x 3 x 2 F1001 POLFER
Uzwojenia 3 x 8 zw. L = 23,3 uH



Pomiary wykonał SP 5 CS

CHARAKTERYSTYKA TŁUMIENIOWA
MIESZACZA PIERŚCIENIOWEGO

Diody 4 x BAP794 Rdzeń toroidalny Rp 5 x 3 x 2 F1001
Uzwojenia 3 x 8 zw. DNE 0.18 mm

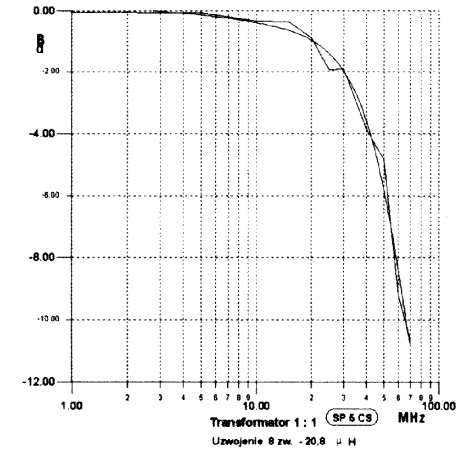


Pomiary wykonał SP 5 CS

Powyższa charakterystyka dotyczy gotowego mieszacza w obudowie PC16 układu hybrydowego. Diody i rdzenie nie były wcześniej selekcjonowane. Mieszacz podczas pomiarów pracował z *bezużytecznym obciążeniem* 50 Ω. Pomiary szumowe, dynamiki, sprawności mieszacza, zagadnień odpowiedzi na skoki jednostkowe (telegrafia) i inne w oddzielnym opracowaniu. Wyniki są porównywalne z danymi katalogowymi firmy Mini Circuits dla typu mieszacza SRA - 1MH, SRA - 1H.

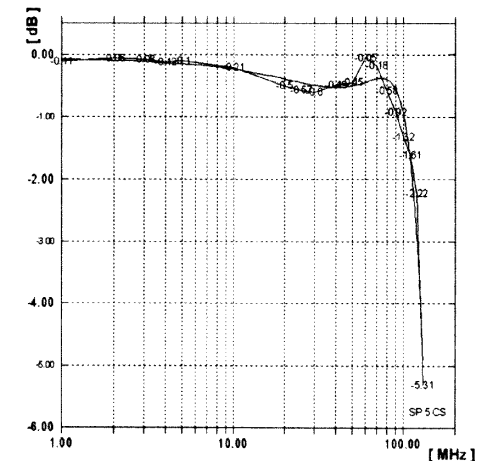
CHARAKTERYSTYKA TŁUMIENIOWA

Rdzeń toroidalny Rp 10x6x3,8/F605 POLFER



Transformator 1 : 1 (SP 5 CS)
Uzwojenia 8 zw. - 20,8 μH

Rdzeń pierścieniowy z materiału F605 charakteryzuje się stosunkowo niską częstotliwością graniczną oraz znacznymi stratami. Nie polecam stosowania tego rodzaju materiału.

Charakterystyka częstotliwościowa
Transformatora mieszacza

Transformator wykonany z dwóch rdzeni bez sklejan

Rp 5x3x2/F1001 i Rp5x3x2/U11, Indukcyjność 8 zw. = 23,3 μH

Zaznaczony jest wpływ rdzenia U11 - na wyższych częstotliwościach poprawia się liniowość przenoszenia.

Wnioski z przeprowadzonych badań ferrytów w zastosowaniu do mieszaczy

- ⇒ Mieszacze z transformatorami wykonanymi na rdzeniach pierścieniowych produkcji POLFER-u posiadają parametry porównywalne z zachodnimi.
- ⇒ Wymagana jest selekcja rdzeni na wartość Al i $tg\delta$ przez pomiar dobroci cewek na stałych częstotliwościach np. 3 i 15 MHz. Pamiętać należy, że każda partia ferrytów może mieć inne i znacznie różniące się parametry.
- ⇒ Zachowanie symetrii długości użytego przewodu na cewki poprawia wartość tłumienia sygnału lokalnego oscylatora do obwodów pośredniej częstotliwości.

Nie należy:

- ⇒ Przegrzewać rdzeni, ponieważ łatwo można przekroczyć temperaturę Curie i doprowadzić rdzeń do nieodwracalnych zmian magnetycznych.
- ⇒ Używać w pobliżu rdzenia lutownicy zwarciowej. Silne pole magnetyczne może zmienić właściwości ferrytu.

Teraz znasz metodę - stosuj ją (*Sir Arthur Conan Doyle*)

Literatura:

1. R.F. Sooho, Teory and Application of Ferrites, Engle Wood Clif, New Jersey
 2. J. Lenkowski, Teoria wąskopasmowych filtrów wielkiej częstotliwości, wyd. PWN
 3. T. Konopiński, R. Pac, Transformatory i dławiki elektronicznych urządzeń zasilających.
 4. Н. Д. Гобунова и Матвеева, Ферриты и магнитодielekтрики
 5. Materiały rdzenie ferrytowe, Ferryty magnetycznie miękkie Feroxyd, Katalog UNITRA
-

ODPOWIEDZI DZIAŁU TECHNICZNEGO

Odpowiedź na list Kolegi SP-0066-TG z miejscowości Brzeziny k. Opatowa Kieleckiego.

Pytania zawarte w liście mogą dotyczyć wątpliwości u większej liczby Czytelników, przytaczamy więc pytania i odpowiedź autora publikacji na łamach "Krótkofalowca Polskiego".

Pytanie 1

Jak wykonać mieszacz diodowy opisany w "KP" 7 i 8-9/94 tak, by impedancja jego wejścia była równa 50Ω ?

Pytanie 2

Jak parować rdzenie na transformatory symetryzujące i dla którego uzwojenia indukcyjność winna wynosić $21,22 \mu\text{H}$, czy uzwojenie pierwotne to LO lub RF?

Odpowiedź 1

Przytoczyłem sposób obliczenia transformatora o reaktancji 50Ω dla częstotliwości dolnej 1.5 MHz na stronie 50 "KP" 8-9/1994. We wzorze na Z oporność obciążenia Z_0 , ma wartość 50Ω dla pierwotnego uzwojenia.

Pozostaje wyjaśnić, dlaczego standardem stała się oporność 50Ω a nie 75 lub 600Ω w telefonii. Stało się to wtedy, gdy prowadzono analizę i szukano sposobów optymalizacji szumowej elektronicznych układów UKF i UHF. Do dzisiaj nie jest właściwie wyjaśniona sprawa niskich szumów Kaskody Walimana. Jest nim układ kaskody zbudowanej na lampie 6J6 i istotnie w sposób niewytłumaczony posiada niskie szumy. Po analizie sposobów optymalizacji szumowej wybrano oporność 50Ω jako optymalną i uznano za standard. Do techniki KF standard wprowadzono po badaniach, w których wykazano, że zmiana oporności wejściowej z 75 na 50Ω również daje "za darmo" poprawę parametrów szumowych. Pełny dowód na łamach "KP" jest z przyczyn technicznych niemożliwy - dla Działu Technicznego wydzielona jest tylko część każdego numeru.

Odpowiedź 2

Rdzenie powinny być jednego gatunku, wymiarów, typoszeręgi oraz posiadać jednakową stratność na całym zakresie przewidywanej pracy.

Sprawdzenie przenikalności początkowej jest czynnością najmniej kłopotliwą, ponieważ sprowadza się do pomiaru indukcyjności nawiniętego uzwojenia pierwotnego.

Przy tej samej ilości zwojów obydwaj transformatory mieszacza pierścieniowego powinny posiadać jednakową indukcyjność. Gdy stwierdzimy większą różnicę w indukcyjności, mamy do czynienia z pomieszczeniem gatunku ferrytu. Przy niedużych różnicach i większej ilości pierścionków po prostu selekcjonujemy rdzenie. Przy małej ilości - zmuszeni jesteśmy szlifować grubość pierścienia, dokonując kolejnych pomiarów indukcyjności. Szlifowanie prowadzimy na papierze ściernym o drobnej granulacji.

Pomiar stratności $\text{tg } \delta$ w funkcji częstotliwości jest bardziej kłopotliwy, ponieważ musimy użyć Q-metra do pomiaru dobroci nawiniętej cewki. Stratność wyliczamy ze wzoru podanego uprzednio w "KP".

Pozostałe pytania dotyczące zakupu części składowych pozostaną bez odpowiedzi, ponieważ redakcja "Krótkofalowca Polskiego" nie zajmuje się pośrednictwem handlowym.

Marian Salamon SP5CS

CIEKAWOSTKA...

W początkach II wojny światowej Niemcy urządzili poligon doświadczalny w Pinemunde, wysepcie leżącej niedaleko Szczecina, celem eksperymentowania z nową bronią, tj. raketami V1, a potem V2. Anglicy, którzy dowiedzieli się o tym, nalotem dywanowym wielu setek bombowców zrównali poligon z ziemią. Wówczas Niemcy przenieśli poligon w pobliże Mielca, wyszłeliwując próbną V2 w kierunku rzeki Bug, po czym je odnajdywali.

Zdarzyło się razu pewnego, że miejscowi rolnicy wsi Sarnaki ukryli znaną raketę w nadburzańskich zaroślach, a następnie przekazali partyzantom, a ci odwieźli ją do Warszawy do inż. Janusza Groszkowskiego, uważanego za najlepszego radiotechnika doby międzywojennej. Zbadał on radiowy mechanizm napędowy rakiety, która następnie została przesłana Londynowi. Uważa się, że taki był początek rakiet i sond międzyplanetarnych oraz eksploracja kosmosu.

Zbigniew SP5I'