

Projektowanie cewek bezrdzeniowych – cz. I

Mirosław Łukiewski

Elhand Transformatory jest producentem bezrdzeniowych elementów indukcyjnych typu EP1 oraz EP3. W artykule zestawiono podstawowe informacje dotyczące projektowania powietrznych elementów indukcyjnych. Rozważania ograniczono do kilku najczęściej występujących w praktyce typów cewek.

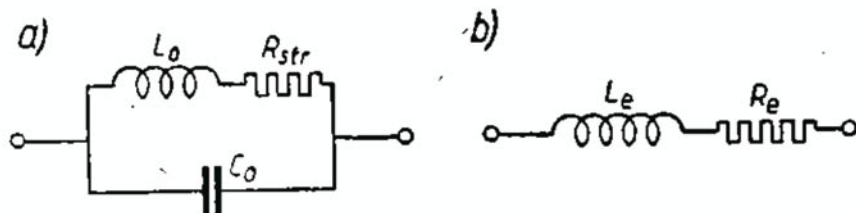
Schemat zastępczy cewki bezrdzeniowej

Bezrdzeniowe uzwojenie – cewka powietrzna – oprócz indukcyjności własnej L_o posiada również pojemność własną C_o oraz rezystancję strat R_{str} , co przedstawia równoległy schemat zastępczy (rys. 1 a). Ten sam element można przedstawić w postaci schematu szeregowego (rys. 1 b), składającego się z indukcyjności i rezystancji efektywnej [1].

$$L_e = \frac{L_o}{1 - \left(\frac{f}{f_r}\right)^2}$$

$$R_e = \frac{R_{str}}{\left[1 - \left(\frac{f}{f_r}\right)^2\right]^2}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_o \cdot C_o}}$$



Rys. 1. Schemat zastępczy cewki powietrznej [1]

Rezystancja strat R_{str} na skutek zjawiska naskórkowości jest zależna od częstotliwości. Dla małych częstotliwości rezystancja strat jest równa rezystancji uzwojenia dla prądu stałego $R_{str} = R_o$. Przy wzroście częstotliwości przyjmujemy, że rezystancja strat jest proporcjonalna do kwadratu częstotliwości $R_{str} \sim f^2$ [1, 2].

Dobroć oraz współczynnik mocy cewki indukcyjnej wyznaczamy, korzystając z zależności:

$$Q = \frac{\omega \cdot L_o}{R_{str}}$$

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{Q^2 + 1}}$$

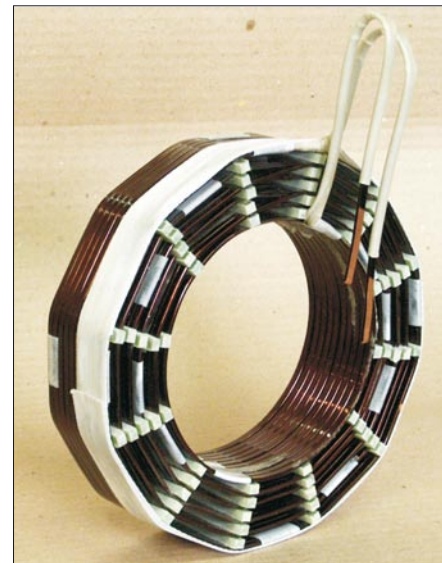
Indukcyjność własna i wzajemna cewek jedno- i wielowarstwowych

Indukcyjność własną cewki powietrznej określa się dla dowolnego kształtu uzwojenia, obliczając strumień skojarzony Φ z prądem cewki I , a następnie samą indukcyjność L_o .

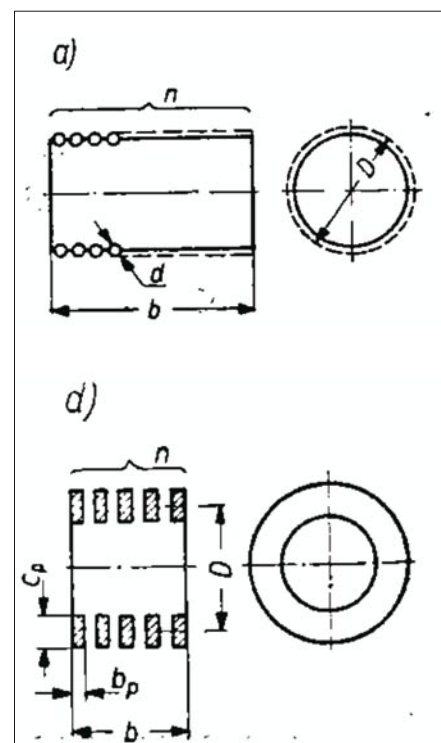
$$\Phi = \oint_{l_M} \left[\iiint_V \frac{I_n \cdot \cos \alpha dV}{r} \right] dl_M$$

$$L_o = \frac{d(n\Phi)}{dI}$$

W ten sposób wyznaczono indukcyjności własne dla najczęściej występujących kształtów cewek bezrdzeniowych jedno- i wielowarstwowych.



Rys. 2. Cewka wielowarstwowa z kanałami chłodzącymi typu EP1-0,49 mH/10 A



Rys. 3. Cewki jednowarstwowe o przekroju kołowym wykonane przewodem: a) okrągłym; b) prostokątnym [1]

Indukcyjność własna cewek jednowarstwowych wykonanych przewodem okrągłym (a) lub prostokątnym (b):

$$L_o = F \cdot D \cdot n^2 \cdot 10^{-3} \text{ [}\mu\text{H]} \quad (\text{a})$$

$$L_o = F \cdot D \cdot n^2 \cdot 10^{-3} - \frac{0,00628 \cdot D \cdot C_p \cdot n^2}{b} \cdot (0,693 + U_3) \text{ [}\mu\text{H]} \quad (\text{b})$$

TRANSFORMATORY

moc od 0,05 kVA do 1600 kVA

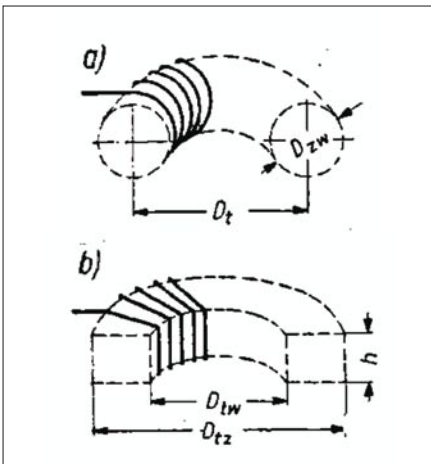
DŁAWIKI

silnikowe
sieciowe
filtracyjne
kompensacyjne
wygładzające
sprzęgające
specjalne

ZASILACZE DC

URZĄDZENIA SPECJALNE

WYRÓŻNIA NAS JAKOŚĆ

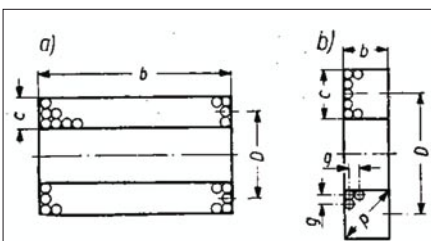


Rys. 4. Cewki toroidalne nawinięte na karkasie o przekroju: a) okrągłym; b) prostokątnym [1]

Indukcyjność własna cewek jednowarstwowych toroidalnych nawiniętych przewodem okrągłym na karkasie o przekroju okrągłym (a) lub prostokątnym (b):

$$L_o = 0,00628 \cdot n^2 \cdot \left[D_t - (D_t^2 - D_{zw}^2)^{\frac{1}{2}} \right] \quad [\mu\text{H}] \quad (a)$$

$$L_o = 4,6 \cdot 10^{-3} \cdot h \cdot \log \frac{D_{tz}}{D_{tw}} \cdot n^2 \quad [\mu\text{H}] \quad (b)$$



Rys. 5. Cewki wielowarstwowe nawinięte na karkasie o przekroju kołowym: a) cewka długa; b) cewka krótka [1]

Indukcyjność własna wielowarstwowej cewki długiej (a) i krótkiej (b):

$$L_o = F \cdot D \cdot n^2 \cdot 10^{-3} - \frac{0,0127 \cdot D \cdot n^2}{b} \cdot (0,693 + U_3) \quad [\mu\text{H}] \quad (a)$$

$$L_o = \frac{80}{3 + 9 \frac{c}{b} + 10 \frac{b}{D}} \cdot D \cdot n^2 \cdot 10^{-3} \quad [\mu\text{H}] \quad (b)$$

W przytoczonych zależnościach występują wymiary geometryczne uzwojenia lub karkasu oraz współczynniki $F = f(D/b)$, $U_3 = f(b/C_p)$ zależne od kształtu cewki.

W praktycznych obliczeniach do wyliczonej indukcyjności własnej należy dodać poprawki korygujące. Indukcyjność wyznaczona na podstawie przytoczonych zależności, z założeniem równomiernego rozkładu prądu w uzwojeniu, będzie nieco mniejsza od rzeczywistej indukcyjności elementu. Odległość między zwojami spowodowana skokiem uzwojenia, kanałami chłodzącymi lub grubością izolacji powoduje nierównomierny rozkład gęstości prądu w przewodach nawojowych, co prowadzi do wzrostu indukcyjności [1].

Zbliżenie i połączenie ze sobą dwóch nieekranowanych cewek spowoduje wzajemne oddziaływanie i pojawienie się indukcyjności wzajemnej M .

Połączenie szeregowe cewek o indukcyjnościach własnych L_1 i L_2 wywoła zmianę indukcyjności układu:

$$L = L_1 + L_2 \pm 2M = L_1 + L_2 \pm 2k\sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

Podczas połączenia równoległego cewek prąd rozplywa się w dwóch obwodach proporcjonalnie do impedancji gałęzi. Indukcyjność poszczególnych gałęzi wynosi:

$$L^a = L_1 - (\pm M)$$

$$L^b = L_1 - (\pm M)$$

Indukcyjność wypadkową układu dwóch równoległe połączonych cewek wyznacza się następująco:

$$L = \frac{L^a \cdot L^b}{L^a + L^b} = \frac{L_1 \cdot L_2 \cdot (1 - k^2)}{L_1 + L_2 \mp 2k\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$$

Współczynnik sprzężenia zależy od odległości oraz stosunku średnic cewek w praktyce przyjmuje wartość maksymalnie $k = 0,6$ [1, 3].

Literatura

- [1] ANTONIEWICZ J.(red.): *Poradnik radio- i teleelektryka. Tom B – Elementy i podzespoły*. PWT, Warszawa 1959.
- [2] RAWA H.: *Elektryczność i magnetyzm w technice*, PWN, Warszawa 2001.
- [3] LUBELSKI K.: *Elektrotechnika teoretyczna. Tom 2*. WPCz, Częstochowa 1992.

elhand 
TRANSFORMATORY

42-700 Lubliniec, ul. PCK 22
tel. (+48 34) 353 17 10, 351 32 20
fax (+48 34) 356 40 03
e-mail: info@elhand.pl www.elhand.pl