

■ TEKST: Mladen Petrović, 9A4ZZ

# VF transformatori impedancije

## 1. DIO – FEROMAGNETNE VF JEZGRE

Cilj ovog članka je objasniti osobine VF feromagnetskih jezgri i VF transformatora impedancije namotanih na ove jezgre. Prvi dio teksta obrađuje VF feromagnetne jezgre, a drugi VF transformatore impedancije – balune i unune. S principom rada ćemo se upoznati na praktičkim primjerima.

Obično u zalihama imamo nekoliko jezgri bez oznake i njih se sjetimo kada moramo namotati balun ili VF prigušnicu. Rezultati najčešće nisu očekivani. Kako bismo znali za što koje koristiti, moramo upoznati njihova svojstva, znati ih razlikovati i upoznati princip rada VF transformatora impedancije.

Jezgre koje se koriste za izradu VF transformatora impedancije baluna (*Balanced to Unbalanced*) ili ununa (*Unbalanced to Unbalanced*) i VF induktiviteta za sprječavanje neželjenog toka VF struja po opletu koaksijalnog kabela VF prigušnice su feromagnetni feriti ili jezgre od željeznog praha. Feromagnetni koriste permeabilnost materijala od kojeg je jezgra napravljena za povećanje induktiviteta (zato par zavoja na feromagnetnoj jezgri nadomješta puno više zavoja na zračnoj jezgri). Time se smanjuje otpor zavoja induktiviteta, gubici u zavojima bit će manji i porast će vrijednost XL/R što znači da će i faktor Q biti veći. Također, zbog oblika jezgre i načina motanja, veća je efikasnost transformacije i neće doći do utjecaja na druge elemente budući da cijeli magnetni tok teče kroz jezgri torusa.

## FERITNE JEZGRE

Feriti koji se koriste u VF tehnici sastavljeni su od oksida mangana (Mn) i cinka (Zn) i imaju veliku permeabilnost i malu volumen-sku otpornost pa ih zovu i "mekani" feriti.

Koriste se za izradu širokopojasnih transformatora u rasponu frekvencija npr. od 2 MHz do 30 MHz. Zbog velikog permeabiliteta iznad 1 000  $\mu$ i brzo se postiže zasićenost i s manjim intenzitetom magnetskog toka. Također se postiže veliki induktivitet zavoja transformatora i čvrsta sprega. NiZn feriti imaju manji permeabilitet (ispod 1 000) i kasnije se postiže zasićenje, a frekvencijski idu do 30 MHz.

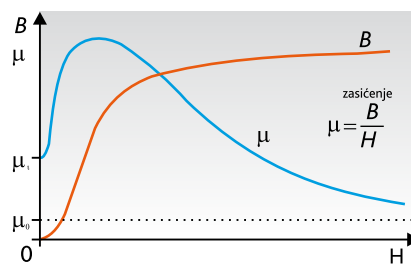
Feriti se prave u raznim oblicima, a najčešće u obliku prstena (torusa), štapa, binokularni i drugim oblicima pogodnim za motanje žice.

## JEZGRE OD ŽELJEZNOG PRAHA

Ova su jezgre izrađene su od karbonilnoga željeza, također u raznim oblicima. Najčešći je prsten zbog veće efikasnosti. Njihov permeabilitet je od 3  $\mu$ i do 35  $\mu$ i. Ove se jezgre upotrebljavaju za uskopojasna kola s velikim Q-faktorom u rasponu od 100 kHz do 200 MHz i za velike snage jer su stabilne u širokom rasponu promjena temperature a i smanjuju se vrtložne struje, posebno kod visokih frekvencija, pa su manji i gubici.

## SVOJSTVA FEROMAGNETNIH JEZGRI

Jezgre, uz fizičke izmjere, imaju i druga svojstva koja ih određuju pa ćemo ih ovdje navesti, zajedno s formulama. Na slici 1. je prikazan dijagram permabiliteta i zasićenje gustoće magnetskog toka.



Slika 1.

Na slici 1. se vidi kako dolazi do magnetskog zasićenja jezgre kad porast jakosti magnetskog polja (H) ne rezultira više povećanjem gustoće magnetskog toka (B). Ovo je uzrokovano padom permeabiliteta materijala. Međutim, do zasićenja prije dolazi zbog porasta temperature, što rezultira gubicima u jezgri (oni se računaju u mW/cm<sup>3</sup>). Čim temperatura prijeđe 50 °C dolazi do gubitaka u jezgri i zavojima, induktivni otpor XL se smanjuje pa se gubi efekt transformacije.

Induktivni index  $A_L$  (nH/turn<sup>2</sup>) je induktivitet po jedinici zavoja. On ovisi o vrsti materijala jezgre i koristi se za izračun potrebnih zavoja za dobivanje vrijednosti induktiviteta za određenu jezgri.

$$N(\text{potreban}) = \sqrt{\frac{\text{željeni } L(nH)}{A_L(nH/N^2)}}$$

$$L(nH) = N^2 \times A_L(nH/N^2)$$

$$A_L(nH/N^2) = \frac{L(nH)}{N^2}$$

N = broj zavoja, L = induktivitet



Slika 2.

Proizvođači daju vrijednost induktivnog indeksa  $A_L$  u  $\mu H/100$  zavoja, za jezgre od željeznog praha gdje je  $A_L$  mali i za feritne jezgre u  $mH/1000$  zavoja gdje je  $A_L$  velik.

$$N = 100 \sqrt{\frac{L(\mu H)}{A_L(\mu H/100 \text{ zavoja})}}$$

$$L(\mu H) = \frac{A_L \times N^2}{1000}$$

$$A_L(\mu H/100 \text{ zavoja}) = \frac{1000 \times L(\mu H)}{N^2}$$

$$N = 1000 \sqrt{\frac{L(mH)}{A_L(mH/1000)}}$$

$$L(mH) = \frac{A_L \times N^2}{1.000.000}$$

$$A_L(mH/1000) = \frac{1.000.000 \times L(mH)}{N^2}$$

- Permeabilitet ( $\mu$ ) nije konstantan i ovisi o porastu temperature, frekvencije i magnetskog toka:

$$\mu = \frac{B}{H}$$

- Inicijalni permabilitet ( $\mu_i$ ) vrijednost permabiliteta kod male jačine magnetskog polja

$$\mu_i = \frac{A_L \times l_e}{\mu_0 \times A_e}$$

$$\mu_0 = 4 \times \pi \times 10^{-7} (H/m),$$

gdje je:

- $\mu_0$  (H/m) permeabilitet slobodnog prostora,
- $l_e$  efektivna dužina jezgre,
- $A_e$  efektivna površina jezgre.

**Jakost magnetskog polja (H)**

**Magnetska indukcija ili gustoća magnetskog toka (B)**

**Maksimalna gustoća magnetnog toka (Bm) gauss** je gustoća toka pri velikoj jačini polja i ovisi o frekvenciji, naponu napajanja, površini presjeka jezgre i broja zavoja.

$$B = \frac{U_{rms} \times \sqrt{2}}{\omega \times A_e \times N}$$

gdje je:

- $U_{rms}$  napon napajanja,
- $A_e$  efektivna površina jezgre,
- $N$  broj zavoja,
- $\omega = 2\pi f$ .

**Gubici jezgre (mW/cm<sup>3</sup>)** rastu eksponencijalno s porastom gustoće toka i povećanjem frekvencije, a ovisi o vrsti materijala i troše energiju kao toplinu. Sastoje se od gubitaka histereze, koji su razmjerni površini petlje histereze (koja je mala kod mekih materijala) i gubitaka uslijed vrtložnih struja (koji su proporcionalni kvadratu frekvencije i magnetskom toku, tj. indukciji).

**Porast temperature jezgre (t/°C)** ovisi o gubitku jezgre i površini presjeka jezgre (ne bi smjela prijeći 40°C).

$$t = \left( \frac{P_{gub}}{A_{presjek}} \right)^{0,833}$$

**Curie temperatura (°C)** je temperatura kod koje feromagnetni materijal gubi feromagnetizam i dobiva paramagnetna svojstva.

Dao sam za primjer podatke o jezgrama oznake T200-2 i BN-43-202 s kojima sam izvršio pokus određivanja vrste jezgra. Podatke o jezgrama možete naći na internetskoj stranici: [www.amidoncorp.com](http://www.amidoncorp.com).

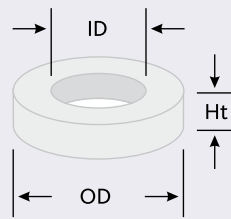
**PRSTENOVIM OD ŽELJEZNOG PRAHA**

U tablicama proizvođača Amidon dani su podaci o fizičkim izmjerama kako bismo mogli odrediti da li nam jezgra odgovara po fizičkim gabaritima. Presjek jezgre i dužina omogućava nam izračun induktiviteta. Prsten je označen slovom "T". Iza toga slijedi vanjski promjer jezgre u stotim dijelovima inča, a na drugom je mjestu oznaka tipa materijala. Radi lakšeg prepoznavanja svaki tip materijala jezgre određen je i bojom.

*Tip materijala-boja:*

- 1 – plava, 2 – crvena, 3 – siva, 6 – žuta,
- 7 – bijela, 10 – crna, 12 – zelena/bijela,
- 15 – crvena/bijela, 17 – plava/žuta,
- 0 – zagasita.

**SPECIFIKACIJA ZA JEZGRU T200-2**



**Oznaka brojem** T 25 - 10  
 OD u inč/100  
 Tip materijala jezgre  
 Slovo označava zamjensku visinu

**Oznake bojama**

- 1 Plava/Čisto
- 2 Crvena/Čisto
- 3 Siva/Čisto
- 6 Žuta/Čisto
- 7 Bijela/Čisto
- 10 Crna/Čisto
- 12 Zelena/Čisto
- 15 Crvena/Čisto
- 17 Plava/Čisto
- 0 Žutosmeđa

**Fizičke izmjere** OD = 2 in. / 50,8 mm  
 ID = 1,250 in. / 31,8 mm  
 Ht = 0,550 in. / 14 mm

**Magnetske izmjere** = 13 cm  
 A = 01,27 cm<sup>2</sup>  
 V = 16,4 cm<sup>3</sup>

**Tolerancija izmjera** OD - +/- 0,025 in.  
 ID - +/- 0,025 in.  
 Ht - +/- 0,030 in.

AL  
 uH = (AL \* broj zavoja<sup>2</sup>)/1 000 ..... 12

Osnovni Fe prah ..... Carbyl E

Permeabilnost materijala (μ°) ..... 10

Temperaturna stabilnost (ppm /°C)  
 \* između -55 °C i +125 °C ..... 95

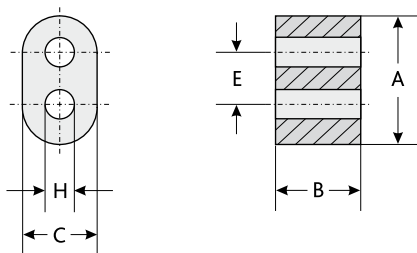
Magnetna tolerancija  
 \* isprobano s jednolikim razmakom zavoja.  
 ..... +/- 5 %

Oznake bojom ..... Crveno/prozirno

Raspon fekvencija rezonantnih krugova  
 \* za optimalni Q faktor i gubitke  
 ..... 250 kHz...10 MHz

Broj Zavoja (n)	Induktivnost (uH)	Dužina žice (inch) (uključivo i izvode od 25,4 mm)
6	0,44	13,4"
8	0,77	17,2"
10	1,2	21,0"
12	1,8	24,8"
14	2,4	28,6"
16	3,1	32,4"
18	3,9	36,2"
20	4,8	40"
22	5,9	43,8"
24	7	47,6"
26	8,2	51,4"
28	9,5	55,2"
30	10,9	59"
32	12,3	62,8"
34	13,9	66,6"
36	15,6	70,4"
38	17,4	74,2"
40	19,3	78"

Tablica 1. Podaci o jezgri od željeznog praha oznake T200-2 proizvođača Amidon



**SPECIFIKACIJA ZA JEZGRU BN-43-202 S DVA OTVORA**

**Izmjere**

- A = 0,525 in / 13,3 mm +/- 0,6 mm
- B = 0,565 in / 14,35 mm +/- 0,5 mm
- C = 0,295 in / 7,5 mm +/- 0,35 mm
- E = 0,225 in / 5,7 mm +/- 0,25 mm
- H = 0,150 in / 3,8 mm +/- 0,25 mm

$A_L = 2200 \pm 20 \%$   
 $\mu H = (A_L * Zavoji^2) / 1000$

Stvarni  $A_L$  izmjeren s 10 zavoja žice #28

Temperaturna stabilnost (ppm / °C) ..... 12 500

Oznake bojom ..... sjajno crna

Raspon frekvencija:  
 širokopojasni transformatori  
 5..... 400 MHz

Transformatori snage  
 0,5 .....30 MHz

Potiskivanje VF smetnji  
 5..... 500 MHz

Tablica 2. Podaci o feritnoj jezgri BN-43-202 proizvođača Amidon

Jedan od najčešće korištenih prstenova s jezgrom od željeznog praha ima oznaku T 200-2 i crvene je boje.

Različiti materijali imaju različite vrijednosti permeabiliteta ( $\mu$ ), koje određuju frekventni opsezi upotrebe za svaki tip materijala. Neopterećeni Q-faktor iznosi od 100 do 200.

U tablicama proizvođača Amidon također se daju podaci o broju namotaja i debljini žice za svaku dimenziju jezgre za motanje u jednom sloju.

**FERITNI PRSTENOV**

Feritni prstenovi nisu označeni bojama. Imaju oznaku "FT", a iza toga slijedi vanjski promjer jezgre u stotim dijelovima inča. Nakon toga ide oznaka tipa materijala. U tablicama proizvođača Amidon dani su podaci za korištenje kod rezonantnih kola i širokopojasnih krugova. Određena je granična frekvencija za najmanje gubitke.

Materijal s nižim permeabilitetom radi s manje gubitaka na višim frekvencijama. Ovaj permeabilitet je takozvani početni permeabilitet ( $\mu_i$ ). Indikativan je za permeabilitet na nižem kraju frekventnog opsega i propisan je za svaki tip materijala. Gornja granica frekventnog područja ograničena je s privedenom snagom i veličinom jezgre. Ferit možemo isprobati tako da namotamo transformator odnosa 1:1 i spojimo ga između odašiljača i SWR-metra i lažne antene. Povećavamo frekvenciju i dižemo snagu te pratimo promjenu SWR-a i temperaturu jezgre koja ne bi trebala biti viša od 40 °C.

**ODREĐIVANJE TIPA JEZGRE**

Znajući osnovna svojstva jezgri možemo pokusom ustanoviti o kojem se tipu jezgre radi – od ferita ili željeznog praha. Namotamo cca 10 zavoja žice oko jezgre i izmjerimo induktivitet na radnoj frekvenciji. Nakon toga izračunamo iz formule  $A_L$ , koji je mali kod jezgri od željeznog praha, a velik kod feritnih jezgri. Potom izmjerimo fizičke dimenzije jezgre i odredimo tip jezgre iz tablice s podacima. Ako ne možemo dobiti rezultat, odnosno ako je induktivitet mali, onda povećamo broj zavoja i ponovimo mjerenja. Jezgre od željeznog praha označena su bojama tako da i pomoću toga možemo znati da je željezno jezgra i koji je materijal. Program za određivanje parametara jezgre izradio je DL5SWB i može se naći na [www.dl5swb.de](http://www.dl5swb.de).

Napravimo pokus sa željeznom jezgrom T 200-2, binokularnim feritom BN-43-202. Pokus sam izveo s poznatim jezgrama kako bi mogao usporediti rezultate mjerenja i izračuna s tvorničkim podacima.



Slika 3.

Treba namotati 10 zavoja lakirane bakrene žice promjera 1 mm na jezgru prema slici 2. tako da se namota cijelom površinom jezgre. Izmjereni induktivitet je 1,375 uH. Uvrstimo to u formulu za  $A_L$ :

$A_L = 1000 \times L(\mu H) / N^2$

$A_L = 1000 \times 1,375 \mu H / 10^2 = 13,75$

U obzir trebamo uzeti da točnost podataka o jezgrama iznosi +/- 5%, a tolerancija greške kod mjerenja jezgri ide i do 30% u odnosu na tvorničke podatke.

Sad znamo vrijednost  $A_L$ . Vidimo da je mali i zaključimo da je to jezgra od željeznog praha. Izmjerimo dimenzije jezgara i usporedimo ih u tablicama s podacima o jezgrama od željeznog praha.

Prema tvorničkim podacima  $A_L (nH/Ne2) = 12$  je induktivni indeks za jezgru od željeznog praha oznake T 200-2.

Podatke o izmjerenom induktivitetu i broju zavoja unesemo u mini Ring Core Calculator program (DL5SWB). Na slici 3. vidimo da se rezultati slažu s našim mjerenjima. Na ovaj smo način potvrdili rezultate mjerenja. Drugi je pokus izveden s feritnom jezgrom BN-43-202.



Slika 4.

Provući ćemo jedan (1) zavoj lakirane bakrene žice promjera 1 mm kroz obje rupe jezgra, kao što je prikazano na slici 2. Izmjerimo induktivitet na 3 675 kHz pomoću instrumenta MFJ259B (možemo mjeriti i nekim drugim instrumentom za mjerenje induktiviteta kod određivanja  $A_L$ ). Izmjereni induktivitet je 2,175 uH. Uvrstimo to u formulu:

$A_L = 1000 \times 2,175 \mu H / 1^2 = 2175$

Vidimo da je broj  $A_L$  velik i zaključujemo da se radi o feritnoj jezgri. Izmjerimo dimenzije, usporedimo ih s tvorničkim podacima u tablicama za feritne jezgre i zaključimo da se radi o feritnoj jezgri BN-43-202 čiji induktivni indeks iznosi  $A_L = 2200$  s tolerancijom +/- 20%. Nakon određivanja tipa jezgre možemo preći na izračun i izradu željenog transformatora impedancije baluna ili ununa.

U idućem broju slijedi članak o VF transformatorima impedancije – balunima i ununima, drugi dio.

Izvori: [www.amidoncorp.com](http://www.amidoncorp.com),  
[www.bytemark.com](http://www.bytemark.com),  
[www.dl5swb.de](http://www.dl5swb.de).

