

FEROMAGNETI

Feriti-Torusi-Proračun zavojnice-Kako dohakati komšiji-Motanje zavojnice-Proračun Transformatora Impedance

Nesumnjivo je da feromagnetni materijali već danas imaju a u budućnosti će imati još i veći značaj i primjenu.. Namjera ovog članka je da se čitateljstvo "Radio T9" upozna u kratkim crtama sa osnovama a to znači osobinama,uz malo hemije,malo tehnologije proizvodnje,malo o proračunima, označavanjima, najznačajnim proizvođačima i nekim aplikacijama feromagnetnih materijala.Nadam se da će biti od koristi početnicima a vjerujem da će i napredni radioamateri naći ponešto interesantno.

Za nas radioamateri feromagnetna jezgra su interesantna između ostalih iz dva glavna razloga.Prvi je izrada kvalitetnih zavojnica,transformatora,prigušnica , manjih po dimenzijama a bolje efikasnosti.Drugi razlog , ne manje važan , bi bio upotreba ferita za otklanjanje radio,TV i elektro smetnji.Telefoni-žični i bežični, Radio aparati,TV aparati ,muzička linija,kompjuter,modem,mikrovalna pećnica,razni kućanski aparati i slične sprave su postale sastavni dio skoro svakog domaćinstva. Neki aparati , pogotovo starije proizvodnje , zrače neželjene smetnje a drugi su vrlo osjetljivi na bilo kakva elektro i radio zračenja u blizini. Radioamateri su obično dežurni krivci za bilo koju od smetnji. Pa i kad pegla ne radi – najlakše je sve svaliti na radioamateri ! Istina je da se ponekad dešavaju neugodnosti sa komšijama kad signal sa naše radiostanice smeta komšijinom raštimanom TV prijemniku iz 60-tih godina.Vidjećemo - Kako dohakati komšiji na relativno jednostavan način - upotrebom ferita.

Prije svega upoznaćemo se sa nekim osnovnim pojmovima koji se susreću u radu sa feromagnetima.

Permeabilitet - Propustljivost

Odredjeni materijali utiču na koncentraciju silnica magnetskog polja.Neke supstance u materijalu utiču na razdvajanje linija magnetnog fluksa što ima za posljedicu smanjenje jačine magnetnog polja upoređujući sa intenzitetom u slučaju da se umjesto te supstance nalazi vakuum. Neke druge supstance povećavaju gustinu magnetnog fluksa.Permeabilitet (označava se sa grčkim slovom mikro – μ) određene supstance u nekom materijalu, je izraz koji pokazuje koliko ta supstanca utiče na gustinu fluksa magnetnog polja. Bezvazdušni prostor (vacuum) ima permeabilitet jednak jedinici - 1 .Materijali koji smanjuju gustinu magnetnog fluksa ,poznati kao diamagnetni materijali imaju permeabilitet manju od 1. Materije koju uzrokuju povećanje gustine magnetnog fluksa se zovu feromagnetni i paramagnetni materijali. Imaju koeficijent permeabilnosti veći od 1 . Paramagnetni materijali imaju koeficijent permeabiliteta neznatno veći od jedan dok feromagnetni imaju znatno veći od 1.

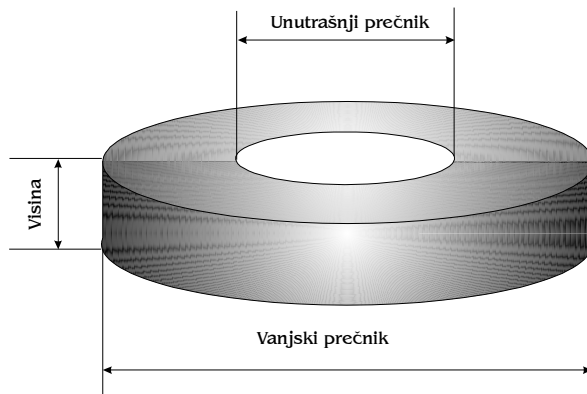
Permeabilitet je zavisan o temperaturi i mijenja sa značajno sa promjenom temperature. Permeabilitet može da varira u zavisnosti od intenziteta magnetnog polja - naročito se odnosi na ferite. Uloga materija visoke vrijednosti permeabiliteta je prvenstveno u povećanju induktiviteta zavojnice

Saturacija - Zasićenje

Sušтина saturacije je u tome da ako se zavojnica sa feritnim jezgrom izloži većoj snazi nego što nominalno može da izdrži dolazi do radikalnih promjena koje su vrlo kompleksne da bi se ovdje jednostavno opisale. Ovaj članak se neće baviti dublje tom problematikom i samo ćemo spomenuti neke od efekata saturacije a to su pregrijavanje koje dovodi do trajnog oštećenja feritnog jezgra, sinusni oblik VF i Audio talasa se izobličuje u nekakav nelinearni četvrtasti oblik koji je bogat harmoničnom energijom a koja će opet raštirati audio kola i proizveti TVI i RFI ¹⁾ smetnje u VF kolima i antenama. Ako je jezgro toplo na dodir znači da je dimenzioniranje pogrešno i da jezgro treba zamjeniti sa drugim većeg presjeka ili smanjiti i ograničiti radnu snagu.

Oblik - Dimenzije - Označavanje

Feromagnetna jezgra se izradjuju u raznim oblicima od kojih su najpoznatiji u obliku torusa (prstena), štapova, traka, perli, lončića, cilindra. Od svih oblika najčešće se koristi a i nama vjerovatno najinteresantniji - TORUSNI (Slika 1) oblik zbog toga što ima veći Q (faktor dobrote)²⁾ uz manji broj zavoja i ne zahtijeva metalno kućište odnosno oklop pošto prirodna konstrukcija torusa obezbjedjuje da se magnetne silnice završavaju unutar jezgra tako da je magnetni fluks prema vani neznatan.



Slika 1

U označavanju rekli bismo vlada pravi haos. Svaki proizvođač ima svoju logiku i nomenklaturu. U Tabeli_1 Je dat uporedni pregled nekih od proizvođača ferita i ne mora značiti da su ekvivalenti identični, pa je za konkretnu aplikaciju sa poznatim jezgrom potrebno potražiti detalje u katalogu proizvođača tog jezgra.

Početni permeabilitet	Visoka frekvencija							Mali gubici			Visoki permeabilitet				Za veće snage				
	25	13	80	125	900	300	2000	750	2200	2200	4300	6000	10000	12000	3000	2000	2300	2200	1800
Iskra Feriti	1E	2E	1F	3F	1C	2C	4C	10G	16G	26G	19G	22G	12G	32G	25G	15G	45G	35G	65G
Siemens	K12	U17	K1		K10	M	N4	M33	N22N26	N48	N30	T37T35	T44T38	T42	N41	N27	N67	N87	N97
Philips		4E1	4D1 4F1	4C6 4C65	4A11 4A15	4B1		3D3	3B7 3H1	3H3	3S1 3E4 3C11	3E27 3E25	3E5	3E6	3B8	3C80	3C81 3C85	3C90 3F3	
LLC Thomson	H5 K5	H6 K6	H3 K3	H3	H1 C3	H2		S5 C5	A9 S1	S4 S3	A6 T6	A4 A5 T4	A3 A2		B1	B5 B6 B3	B2 B4 F1	F2	
TDK	K7A	K8	K6A			K5		H6F	H6B	H6K	H5A	HS52 HSB	H5C2	H5D	PC30	HV22	PC40	PC44	PC50
FDK-FUJI	H55Z	H56Z	H54Z		H52Z		H52B3H01	3H21	H22Z3H20	2H04	2H04	2H06	2H10		6H10	5H50	6H20	6H40	7H10
Hitachi/Nippon											MN30	GP5 GQ5C	GP11		SB5S	SB3L	SB7C	SB9C	SB1M
Micrometals/Amidon	67	68		61	43	64	73		77		F	J	W	H					
Palomar	63	68		61	43														
Indiana Genaral	Q2	Q3		Q1	H		O6		TC9										

Tabela 1

To je naravno relativno lahko ako se zna porijeklo jezgra. Medjutim kako to obično bude konfuzija nastaje kad dobijemo u ruke sivo-crno feritno jezgro bez ikakvih oznaka na sebi, za koje ne znamo ni proizvođača, niti materijal od kojeg je izradjeno a niti kvalitet. U tom slučaju nam ne preostaje ništa drugo nego da eksperimentalno odredimo karakteristiku. Kod jezgra izradjenih od željeznog praha prema Amidonu svi torusi imaju oznaku koja počinje sa T i poslije toga broj. Npr. T-200-6 bi se čitalo kao torusno jezgro vanjskog prečnika 2.00 inča a broj 6 predstavlja materijal od kojeg je izradjeno - u ovom slučaju je to željezni prah MIX-6 (vidi Tabelu_4 Micrometals - Amidon). Unutrašnji prečnik može biti različit za iste nazivne veličine odnosno isti vanjski prečnik u zavisnosti od vrste materijala. Kod feritnih oznake počinju sa F (Micrometals-Amidon) za oznaku da se radi o feritnoj jezgri, zatim slijedi oznaka oblika T-Torus, B-Bead (perla) i broj koji označava veličinu odnosno vanjski prečnik u inčima (1 inč = 25.4 mm) npr FT-23 predstavlja feritni torus vanjskog prečnika 0.23 " (5.84 mm). I kod ostalih proizvođača se uglavnom mogu sresti brojevi koji označavaju veličinu vanjskog prečnika a kod feritnih jezgra i F (ferit).

Iako postoji mnogo vrsta feromagnetnih materijala nama (radioamaterima) su od interesa uglavnom dvije skupine materijala za izradu jezgra: Feriti koji su osnovi keramički materijali i presovani prah uglavnom željezni ili smješan sa nekim drugim elementima kao što su Molibden Mo, Nikal Ni, Aluminijum Al, Silicijum Si...

Feriti

To su uglavnom keramički materijali koji se mogu magnetizirati do visokog stepena. Osnovna materija je željezni oksid (Fe_2O_3) koji se veže uz pomoć Nikla -Ni, Mangana -Mn, Cinka -Zn ili Magnezijuma -Mg. Dvije glavne skupine ferita su nikel-cink (NiZn) i mangan-zink (MnZn). Prva grupa NiZn ima obično permeabilitet od 20μ do 800μ , umjerene temperaturne stabilnosti, visokog Q za frekvencije od 500 kHz do 100 MHz, jezgra su pogodna za niskonaponska rezonantna kola gdje se traži visoka induktivnost i za širokopojasne transformatore. Druga grupa feritnih jezgra MnZn ima permeabilnost veću od 800μ , nisku otpornost, umjerenu saturaciju, visok Q u opsegu od 1 kHz do 1 MHz, uglavnom se koriste za svičere-napojne jedinice, zatim za potiskivanje neželjenih VF signala u opsegu od 20MHz do 400 MHz. Feriti se prave tako što se prvo napravi homogena sješa željeznog oksida sa vezivom koja se zatim kalcinira (smješa zagrijava na temperaturi do $1000\text{ }^\circ\text{C}$). Ovo uzrokuje djelimično razlaganje karbonata i oksida. Smješa se zatim suho presuje u željeni oblik jezgra i na kraju sinteruje povećavanjem temperature do $1500\text{ }^\circ\text{C}$. Poslije sinterovanja normalno je da se smanji dimenzija jezgra za 10-20%. Na kraju jezgra se lakiraju i kodiraju bojama. Završni premaz od 0.05 mm povećava probojni napon i do 750 V. Feriti imaju viši stepen permeabiliteta od željeznog praha i tipični permeabilitet ferita je u opsegu od 40 do 2000 ali je moguće dobiti i vrijednosti preko 15000 i sa vrlo malim gubicima usljed vrtložnih struja³⁾. Zbog većeg permeabiliteta potreban je manji broj navoja na zavojnici. Medjutim visok permeabilitet čini ferit nestabilnim pri povišenju temperature i vrlo brzo dolazi do zasićenja. Izlaganje velikim strujama može uzrokovati trajno oštećenje feritnog jezgra. Zato je vrlo važno odabrati odgovarajući materijal (Micrometals MIX-broj ili smješu) za odgovarajuću aplikaciju. Feriti su krhki jer su napravljeni od keramičkih materijala koji su ustvari poluprovodnici, lahko se lome a mogu se čak i raspršiti usljed pregrijavanja u kolima koja proizvode više snage nego što jezgro može izdržati. Tako će feritno jezgro biti trajno oštećeno. Ovo je i odgovor zašto su mnogi antenski baluni spaljeni korištenjem prevelike snage za napajanje antene koja nije prilagodjena napojnom vodu (visok SWR). (Ovo nije slučaj sa jezgrima od željeznog praha koja će poslije pregrijavanja i kasnijeg hladjenja ponovo vratiti prvobitne osobine). Uglavnom se upotrebljavaju u aplikacijama ispod 10MHz kod DC-DC⁴⁾ konvertora, magnetnih pojačivača, VF prigušnica, balunima i prilagodnim

transformatorima za antene. Vrlo široka primjena je kao atenuatori neželjenih VF signala. Ovi feriti su poznati kao EMI/RFI ¹⁾ supresori. Obično se rade u obliku perli, rascjepljenih jezgra, trakastih jezgri i toroidnih jezgri. Također se koriste u izradi transformatora, invertora i induktora u opsegu od 5kHz do 100 kHz. U tim aplikacijama koriste se gdje je veći fluks a stabilnost pri visokoj temperaturi nije kritična.

U tabeli 2 su prikazane neke od osnovnih karakteristike ferita:

Materijal(Amidon)	33	43	61	64	67	68	73	77	83	F	J	K	W	H
Početna permeabilnost	800	850	125	250	40	20	2500	2000	300	3000	5000	290	10,000	15,000
Maksimalna permeabilnost	1380	3000	450	375	125	40	4000	6000	3600	4300	9500	400	20,000	23,000
Gustina Fluksa Zasićenja Gauss	2500	2750	2350	2200	3000	2000	4000	4600	3900	4700	4300	330	4300	4200
Normalna gustina zasićenja Gaus	1350	1200	1200	1100	1000	1000	1000	1150	3450	900	500	250	800	800
Otpor (oms-cm)	1×10^2	1×10^5	1×10^8	1×10^8	1×10^7	1×10^7	1×10^2	1×10^2	1.5×10^3	1×10^2	1×10^2	20×10^7	1.5×10^2	1×10^2
Temperaturni koeficijent -20°C - 70°C (%/°C)	0.10%	1%	0.15%	0.15%	0.13%	0.06%	0.80%	0.25%	0.40%	0.25%	0.40%	0.15%	0.40%	0.40%
Faktor gubitaka	3×10^{-6} @ 1 MHz	1.2×10^{-6} @ 2 MHz	3.2×10^{-6} @ 1 MHz	100×10^{-6} @ 2.5 MHz	150×10^{-6} @ 2.5 MHz	400×10^{-6} @ 50 MHz	7×10^{-6} @ 0.1 MHz	4.5×10^{-6} @ 0.1 MHz	50×10^{-6} @ 0.1 MHz	4×10^{-6} @ 0.1 MHz	15×10^{-6} @ 0.1 MHz	28×10^{-6} @ 1 MHz	7×10^{-6} @ 10 MHz	15×10^{-6} @ 10 MHz
Koercitivna sila Ersted	0.3	0.3	1.6	1.4	3	10	0.1	0.22	0.45	0.2	0.1	1	0.04	0.04
Curie Temperatura. °C	150	130	350	210	500	500	160	200	300	250	140	280	125	120
Resonantna kola Frekvencija. (MHz)	.01 to 1 MHz	.01 to 1 MHz	.20 to 10 MHz	.05 to 4 MHz	10 to 80 MHz	80 to 180 MHz	1 KHz to 1 MHz	1 KHz to 2 MHz	1 KHz to 5 MHz	1 KHz to 1 MHz	1 KHz to 1 MHz	0.1 KHz to 30 MHz	1 KHz to 250 MHz	1 KHz to 150 MHz
Širokopoljnost Frekvencija. (MHz*)	1 to 30 MHz	1 to 50 MHz	10 to 200 MHz	50 to 500 MHz	200 to 1000 MHz	.5 to 30 MHz	.2 to 15 MHz	.5 to 30 MHz	1 to 15 MHz	.5 to 30 MHz	1 to 15 MHz	50 to 500 MHz	1 KHz to 1 MHz	1 KHz to 1 MHz
Atenuacija VF (MHz)	20 to 80 MHz	30 to 300 MHz	300 to 10,000 MHz	200 to 5,000 MHz	Above 1000 MHz	Above 10,000 MHz	1 to 40 MHz	1 to 40 MHz	.5 to 20 MHz	1 to 20 MHz	0.5 to 10 MHz	200 to 5,000 MHz	100 KHz to 1 MHz	1 to 500 KHz

TABELA 2

Jezgra od željeznog praha.

Izradjuju se od fine željezne prašine čistoće preko 99% Fe, presovane i slijepljenje uz pomoć vezivnih jedinjenja. Postoji različite gradacije željeznog praha od jeftinog i poroznog željeza pa do skupog karbonila (carbonyl) Željezna prašina se mješa sa vezivom pri visokom pritisku a zatim se peče na visokoj temperaturi. Karakteristika jezgra je određena veličinom, gustom i kvalitetom željeznog praha. Željezni prah nije sinterovan i namjera je da se čestice željeza ne dodiruju nego da su idealno izolovane zarobljenim zrakom pomoću vezivnog materijala. Ova jezgra imaju osobinu da se ne zasićuju lahko u poredjenju sa feritima, imaju visok Q i dobru temperaturnu stabilnost. Permeabilitet je dosta nizak (ispod $\mu_i=75$). Visoka temperaturna stabilnost ih čine vrlo primjenjivim u aplikacijama uskopojasnih filterskih zavojnica, oscilatora. Koriste se tamo gdje se traži visok Q i uzak propusni opseg na rezonantnoj frekvenciji kao što su VF pojačivači, mikseri, medjupojačala, oscilatori i VF filteri.

MPP - Molypermalloy Powder Cores - smjesa praha željeznog praha, molibdena i nikla (Mo-Ni-Fe)

Idealna zavojnica na torusnom jezgru ima navoje koji se motaju na 330° dok je 30° ostavljeno za izvode.

Upotreba ferita za otklanjanje smetnji

Kod konvencionalnih načina otklanjanja smetnji od raznih vrsta zračenja podrazumjevaju se intervencije u samom sklopu koji je osjetljiv na smetnje, dodavanjem supresora, filtera kao i druge modifikacije u električnim kolima. Pri tome je vrlo riskantno otići kod komšije i reći – sad ću ja prepraviti tvoj TV pa mu neće više ništa smetati – jer može da se desi da mu stvarno neće ništa više smetati jer je završio svoj radni vijek poslije “intervencija na otklanjanju smetnji”. Dalje sve zavisi od komšije, jeli spreman na nagodbu ili nije ☹ ??

Alternativni pristup je da se koriste feritne perle koje će smanjiti ulazni nivo VF smetnji u određeni aparat a to znači treba postaviti feritne perle ili neki drugi oblik ferita na :TV antenski uvodnik, mrežni kabal, kabal za zvučnike, mrežni kabal od transivera ili na bilo koju drugu žicu koja ulazi u aparat. Tako npr. možemo koristiti ferit Mix-43 (Amidon, Palomar) za kola koja rade na frekvencijama od 0.01 do 1 MHz. Gubici su mali i efikasnost je velika. Isti materijal se može koristiti za kola koja rade u opsegu od 1-1000 MHz sa malo manjom efikasnošću ali još uvijek optrebljivim. Uz materijal Mix-43 za opštu upotrebu se još koristi Mix-77 za niže frekvencije (80m i 160m) i Mix-64 koji je bolji na višim frekvencijama. Perle ili torusi se jednostavno navuku na kabal i predstavljaju otpornik za VF. Ako jedna perla ili torus nije dovoljan stavlja se više komada sve dok se ne potisne VF u potpunosti. Dodavanje ferita nema uticaja na niske frekvencije kao što su audio i istosmjerna struja. Frekvencije koje smo prethodno spomenuli se odnose na signale smetnji koji trebaju biti eliminisani a ne na radne frekvencije opreme koja se štiti. Npr. ako hoćemo da zaštitimo telefon (koji je vjerovatno najosjetljiviji na radio smetnje s obzirom da mu je princip rada sličan radu detektorskih dioda) koji radi na frkvenciji glasa od oko 2 kHz uzećemo ferit Mix-43 ili Mix-77 da bi ga zaštitili od neželjenog zračenja na 14 MHz. Kod višezilnog kabla (zvučnici, skart) može se koristiti jedan ferit navučen preko svih kablova – {to je mnogo jednostavnije i jeftinije nego posebno za svaki kabal. Tveenlead – pljosnati TV kable se takodje oklopi sa jednim feritom preko obadvije žice (u ovom slučaju oklapanje žica pojedinačno dalo bi suprotan efekte) ,na koaksijalni kabal se takodje navuku torusi. Ako se upotrebljava torus koji ima puno veći unutrašnji prečnik nego što je sam kabal onda treba provući kabal nekoliko puta (u petlju). Na taj način se osim mehaničke stabilnosti povećava i efikasnost u sprečavanju prolaza VF-a. Računa se da su dva navoja (petlje) isto što i 4 pojedinačna torusa ili 3 petlje kao 9 torusa (djerdan) navučenih na kabal itd. U posljednje vrijeme rade se torusi ili perle rascjepljene na pola i onda utisnute u komad plastike koji ima kopču pa je moguće zatvaranjem kopče formirati jezgro oko kabla. Ovo rješenje pojednostavljuje primjenu jer ne treba skidati konektore da bi se navukao ferit. Ovdje važno da dodirne površine polovica koje naliježu jedna na drugu moraju imati dobru završnu površinsku obradu tako da idealno naliježu jedna na drugu i ostvaruju dobar kontakt. U slučaju kad se koristi kompjuter povezan na transiver (paket, RTTY, PSK31, SSTV) ili za logiranje mogu se pojaviti smetnje u prijemniku. U tom slučaju postupak je isti, stavlja se feriti na sve kablove koji izlaze iz kompjutera i to na samom izlazu iz kompjutera. Bolja varijanta je potrošiti malo više vremena da se locira tačno izvor smetnji (monitor, tastaura, miš.). tako što će se izolovati jedan po jedan kabal i pratiti S-metar. Kad se nadje “krivac” za smetnje jednostavno se blokira sa feritima. Dodavanjem kondenzatora vrijednosti od 1000 pF do 10 nF sa “žive” na masu pretvaraju se feritne petlje u niskopropusni filter. U tom slučaju je potrebno staviti kondenzatore za svaku pojedinačnu žicu.

Poračun

Proračun torusne zavojnice se svodi na upotrebu podataka iz tabele i određivanje broja zavoja iz formule. Svaki torus ima index induktiviteta tzv A_L factor koji predstavlja induktivitet koji se dobija za određeni broj zavoja. Ovaj factor je različit za različite vrijednosti permeabiliteta torusa koji se koristi.

U Tabeli 5 je dat pregled vrijednosti indeksa induktiviteta A_L (određen i objavljen od strane proizvođača) za različite kvalitete i nazivne veličine torusa od željeznog praha.

Vrijednost A_L za 100 zavoja

Veličina	Prečnik		Materijal (Micrometals-Amidon)										
	inch	mm	MIX-26	MIX-3	MIX-15	MIX-1	MIX-2	MIX-7	MIX-6	MIX-10	MIX-12	MIX-17	MIX-0
T-12	0.12	3.175	-	60	50	48	20	18	17	12	7.5	7.5	3
T-16	0.16	4.064	145	61	55	44	22	-	19	13	8	8	3
T-20	0.20	5.08	180	76	65	52	27	24	22	16	10	10	3.5
T-25	0.25	6.35	235	100	85	70	34	29	27	19	12	12	4.5
T-30	0.30	7.7978	325	140	93	85	43	37	36	25	16	16	6
T-37	0.37	9.525	275	120	90	80	40	32	30	25	15	15	4.9
T-44	0.44	11.176	360	180	160	105	52	46	42	33	18.5	18.5	6.5
T-50	0.50	12.7	320	175	135	100	49	43	40	31	18	18	6.4
T-68	0.68	17.526	420	195	180	115	57	52	47	32	21	21	7.5
T-80	0.80	20.193	450	180	170	160	55	50	45	32	22	22	8.5
T-94	0.94	23.927	590	248	200	160	84	-	70	58	32	-	10.6
T-106	1.06	26.924	900	450	345	325	135	133	116	-	-	-	19
T-130	1.30	33.02	785	350	250	200	110	103	96	-	-	-	15
T-157	1.57	39.878	870	420	360	320	140	-	115	-	-	-	-
T-184	1.84	46.736	1640	720	-	500	240	-	195	-	-	-	-
T-200	2.00	50.8	895	425	-	250	120	105	100	-	-	-	-

TABELA 5

Navešćemo primjer koji daje Amidon za jezgra koje proizvodi Micrometals izradjena od željeznog praha: Pretpostavimo da nam treba zavojnica od 1,2 μH koja će se koristiti za 14 MHz. Uzećemo Amidon jezgro T50-6 (žuto kodirano) koje na toj frekvencije obezbjedjuje najbolji Q.

Iz Tabele 5 pronadjemo vrijednost A_L koja iznosi 40.

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

pa ćemo imati:

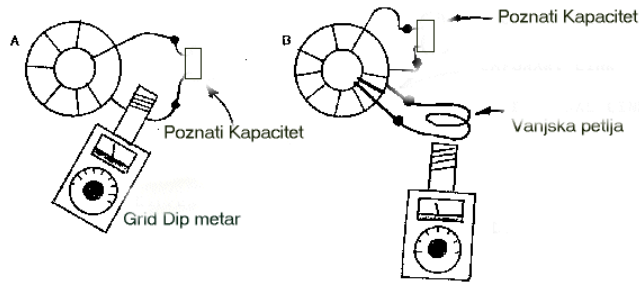
$$N = 100 \sqrt{1.2 / 40} = 17.3 \text{ zavoja}$$

Naravno biće dovoljno da uzmemo 17 zavoja i tako izbjegnemo nepraktičnost razlomka.

Slična formula se koristi i pri proračunu feritne zavojnice s razlikom što se induktivitet izražava u mH umjesto μH (1 mH = 1000 μH) zbog visokog permeabiliteta μ . Pretpostavimo da nam treba zavojnica induktiviteta 10 μH = 0.01mH za upotrebu na 7 MHz. Odabraćemo feritno jezgro FT-37-61. Iz tabele nalazimo $A_L = 55.3$

$$N(\text{brojzavoja}) = 1000 \sqrt{L(\text{mH}) / A_L} \text{ odakle je } N = 1000 \sqrt{0.01 / 55.3} = 13.44 \text{ zavoja}$$

Ispitivanje torusnih zavojnica uključuje upotrebu Grid Dip metra na način kako je prikazano na Slici_4



Slika 4

Induktivet se izračunava na rezonantnoj frekvenciji uz korištenje poznatog kapaciteta. Torusnu zavojnicu nije moguće dipovati istom metodom kao konvencionalne zavojnice.

Optimalan izbor jezgra je da se izabere najbolji materijala koji će potpuno odgovoriti zahtjevu projekta sa minimalnim kompromisom s obzirom na cijenu. Ako je cijena odlučujuća onda je izbor sigurno jezgro od željeznog praha. Ako je primarna temperaturna stabilnost onda je to MPP.

Primjeri upotrebe torusnih jezgra

Jedna od za nas interesantnih upotreba torusnog jezgra je za izradu širokopojasnih transformatora npr u opsegu od 2-30 MHz sa gubicima manjim od 1 dB. U ovakvim primjerima reaktansa namotaja mora biti najmanje 4 puta veća od impedance koju vide proračunati zavoji na najnižoj frekvenciji.

PRIMJER: Kolika je reaktansa navoja transformatora sa primarno opterećenje 300Ω a sekundarno 50Ω . U odnosu na sekundarno opterećenje biće :

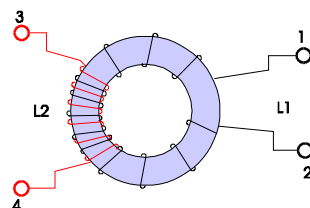
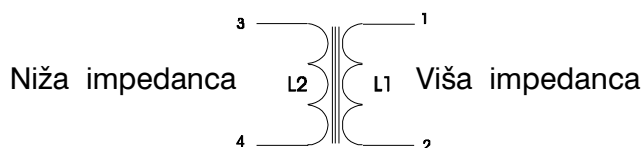
$$X_s = 4Z_s = 4 \times 50\Omega = 200\Omega$$

Reaktansa primarnog opterećenja će biti:

$$X_p = 4Z_p = 4 \times 300\Omega = 1200\Omega$$

Materijal od kojeg je napravljeno jezgro igra odlučujuću ulogu u projektovanju dobrog širokopojasnog transformatora. Efektivni permeabilitet mora biti dovoljno visok da obezbjedi bogatu reaktansu namotaja na najnižoj frekvenciji. Sa povećanjem frekvencije efekat jezgra se gubi tako da na najvišoj frekvenciji jedva da ima uticaja. Ograničavajući faktor na najvišoj frekvenciji su kapaciteti i induktivitet usljed neprilagodjenog fluksa. Jezgra sa visokim permeabilitetom smanjuju broj zavoja potrebnih za datu reaktansu kao i da smanji neželjene kapacitete. Feritna jezgra sa permeabilitetom od $m=850$ je uobičajen izbor za transformatore u opsegu od 2-30 MHz. Na nižim frekvencijama je potreban permeabilitet i do $\mu=2000$ dok na UKT zadovoljava i $\mu=40-125$.

PRIMJER (Slika 5) : Treba izračunati mali širokopojasni transformator sa odnosom impedance od 16:1 u opsegu 2-20 MHz da prilagodi niskosignalni izlaz impedance oko 500Ω na input impedance 32Ω jednog pojačivača.



L1 se mota preko cijelog torusa
L2 se mota preko zavoja L1

Slika 5

1. $X_s = 4Z_s = 4 \times 32 \Omega = 128 \Omega$

2. Induktansa sekundarnog namotaja će biti $L_s = X_s / 2\pi f = 128 / (2 \times 3.14 \times 2.0 \times 10^6 \text{ Hz}) = 0.010 \text{ mH}$

3. Izaberemo odgovarajuće jezgro u ovom slučaju to je FT-37-43 (3/8 inča = 0.375 pa je nazivna veličina jezgra 37 a materijal Mix-43 sa permeabilitetom od $\mu = 850$). Iz tabele proizvođača (Amidon) nalazimo da je index induktiviteta $A_L = 420 \text{ mH}/1000 \text{ zavoja}$. Sada izračunamo broj zavoja

$N(\text{brojzavoja}) = 1000 \sqrt{L(\text{mH}) / A_L}$ tj $N_s = 1000 \sqrt{0.01 / 420} = 1000 \times 0.0049 = 4.9 \text{ zavoja}$

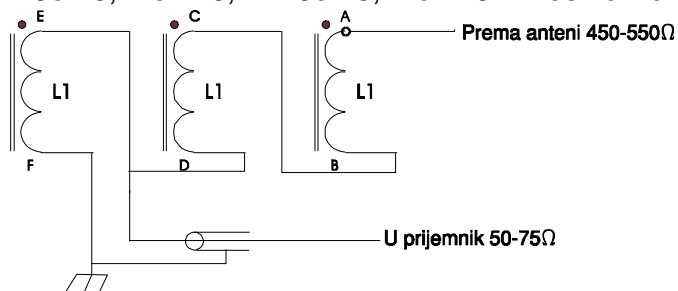
4. Pet zavoja na sekundaru će biti dovoljno. Broj zavoja primara se izračuna iz odnosa impedanci

$$N_p = N_s \sqrt{\frac{Z_p}{Z_s}} = 5 \sqrt{\frac{16}{1}} = 5 \times 4 = 20 \text{ zavoja}$$

Još na kraju u treba izabrati odgovarajuću žicu koja će izdržati potrebnu struju. U ovom slučaju izabrana je žica 0.35 mm prečnika.

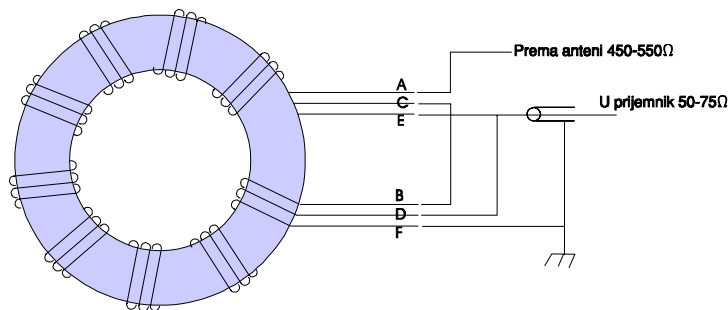
Transformatori za napajanje Beverage antene

Beverage antena ima tipično impedancu od 450-600 Ω koju treba napojiti sa uvodnikom, koaksijalnim kablom impedance od 50 Ω . Transformacija impedance se obično izvodi uz pomoć transformatora impedance motanog na feritnom jezgru. Teoretski bi se mogla koristiti jezgra i od željeznog praha kao i feritna, međutim pošto se radi o prijemnoj anteni na kojoj se ne razvija snaga, logičan izbor je ferit zbog višeg permeabiliteta. Koriste se uglavnom jezgra veličine 0.5" to znači sva ona koja nose oznaku FT-50. Prema preporukama ON4UN **ne treba** koristiti svako jezgro koje nam je dostupno jer u ovom slučaju SWR nema skoro nikakav značaj pa se može desiti da je SWR idealan 1:1 ali su gubici zbog lošeg kvaliteta jezgra i preko 5 dB - što je vrlo značajno kad se radi o prijemnoj anteni. Preporuka je da se koriste feritna jezgra od materijala Mix-75 ili Mix-43 (Amidon, Palomar) ili MN8CX (Ceramics Magnetics). Za transformator 9:1 (Slika 6), za frekvencije 1.8-7 MHz, broj trifilarnih zavoja za MN8CX iznosi 4, a za FT-114-75, FT-50-43, FT-82-43, FT-114-43 FT-50-75, FT82-75, FT-50-75, FT82-75 iznosi 8 zavoja.



Slika 6

Motanje ne bi trebalo da predstavlja veći problem. Uzmite se tri žice iste dužine prečnika 0.4mm (AWG 26) i upredu se otprilike sa 2 okretaja na 1 cm. To se može uraditi upotrebom ručne bušilice tako što se jedan kraj žice fiksira a drugi se ubaci u bušilicu (bor futer). Žice moraju biti idealno paralelne - bez ukrštavanja i ravnomjerno zategnute. Prethodno je potrebno obilježiti krajeve ili koristiti lakiranu žicu različitih boja ili na kraju motanja provjeriti ommetrom krajeve.



Slika 7

Transformator namotan prema gornjim pogacima ima oko 0.5 dB gubitaka koji se mogu smanjiti i do 0.2 dB ako se umjesto jednog jezgra upotrijebe dva stakirana tj zalijepljena jedno za drugo tako da se zavoji motaju preko obadva jezgra..

- 1) EMI - Electro Magnetic Interference - Elektromagnetne smetnje, RFI Radio Frequency Interference - radio smetnje
- 2) Faktor korisnosti (dobrote) obično se označava sa Q i predstavlja upotrebljivost nekog radiotehničkog elementa kod određene frekvencije. Karakteriziran je odnosom između njegovog prividnog i realnog otpora $Q=X/R$. Što je ovaj odnos veći element je za datu frekvenciju kvalitetniji. Za zavojnice vrijedi $Q=Z/R$ gdje je Z karakteristična impedanca zavojnice.
- 3) Vrtložne struje (Eddy Current) : U feromagnetnim materijalima prisustvo promjenjivog magnetnog polja proizvodi kružne struje koje teku kružno ili eliptično. Ove struje utiču na degradaciju efikasnosti transformatora sa čeličnom jezgrom. Da bi se smanjio taj uticaj odnosno presjekao kružni tok eddy struje transformatori se rade od laminata tj feromagnetnih traka koje su izolovane jedna od druge.
- 4) DC -Direct Current - Istosmjerna struja

Izvori:

The ARRL handbook 1996

<http://www.amidon.com>

<http://tritium.fis.unb.br>

<http://www.hard-core-dx.com>

<http://www.ism1.com>

Low Band DX-ing by ON4UN

<http://www.bytemark.com>

<http://www.oselectronics.com>

Dr Božo Metzger – Radio Priručnik za amatere i tehničare

<http://www.steward.com>

<http://www.palomar-engineers.com>

<http://www.hitachi-metals.co.jp>

<http://members.tripod.com/michaelgellis/68hcll>

<http://www.hills2-net.com>

<http://www.rfcafe.com>

Iskra Feriti

Amateur Radio Encyclopedia by Stan Gibilisco W1GV ,1994