

Ferrit- og pulverjernmaterialer

af OZ8NJ Niels Rudberg, Safirvej 2, 3060 Espergærde

Ferromagnetiske materialer

Når man kigger på forskellige materials magnetiske egenskaber, finder man tre kategorier af materialer: de diamagnetiske (f.eks. kobber), de paramagnetiske (f.eks. aluminium) samt de ferromagnetiske materialer. De to første kategorier er stort set uden praktisk betydning, hvorimod den sidste kategori, hvortil hører jern og nikkel, er mere interessant. Man har hos disse materialer den egenskab, at de, når de udsættes for en given magnetiserende kraft, da vil give en betydeligt større magnetisk feltstyrke end tilfældet ville være uden materialet. Vi skal her ikke ind på det teoretiske; vi nøjes bare med at slå fast, at vi kan beskrive et ferromagnetisk materials egenskaber med en proportionalitetskonstant, som vi kalder μ_{rel} (i det følgende blot benævnt μ), et tal, der populært sagt fortæller hvor mange gange selvinduktionen i en spole bliver større, hvis man fra at have spolen i luft anbringer den i et lukket magnetisk kredsløb, f. eks. på en ringkerne. Er det magnetiske kredsløb ikke lukket, bliver selvinduktionen noget mindre, alt afhængigt af forholdene. Vi taler så om en effektiv permeabilitet; tager vi f. eks. et langt emne som en ferritstav, vil vi opleve, at den effektive permeabilitet er henimod halvdelen af den, vi finder i ringkernen.

Ferromagnetiske materialer finder stor anvendelse i elektronikken, nemlig til transformere, spoler, støjdemplingsanordninger og transducere foruden til en række mere specielle ting.

I den følgende gennemgang af disse materialer, deres egenskaber og deres anvendelser skal jeg gøre nogle indskrænkninger, nemlig ved dels kun at beskæftige mig med de såkaldte "bløde" materialer, samt ved kun at beskæftige mig med materialer til og anvendelsen af dem ved relativt høje frekvenser, radiofrekvenser.

Bløde ferritter

Ferrit er i den forbindelse, vi her bruger navnet, betegnelsen for en gruppe af ferromagnetiske materialer, som er af keramisk karakter. De er fremstillet af blandinger af jernoxyd (Fe_2O_3) og et eller flere oxyder af andre metaller (bl. a. Barium, Cobolt, Kobber, Mangan, Magnesium, Nikkel eller Zink). Ferritemnerne fremstilles ved presning af pulver til en ønsket form med en efterfølgende sintring ved høj temperatur. Ved sintringen sker der en krympning på ca. 15 % (40 % volumenmæssigt).

Blandingen af oxyderne bestemmer det færdige materials magnetiske egenskaber. En vigtig egenskab hos ferrit er den høje specifikke modstand; her adskiller ferrit sig fra de metalliske magnetiske materialer. Ferrit kan derfor bruges i magnetiske kredsløb

uden at skulle splittes til tynde plader eller bånd.

Man skelner mellem "hårde" og "bløde" ferritter. De "hårde" er materialer med en stor hysterese-søjle (og stor koercitivkraft). De benyttes til permanente magneter. De "bløde" har en lille hysterese-søjle (og lille koercitivkraft). Her vil vi kun beskæftige os med de "bløde".

Vil skal nu skelne mellem to hovedgrupper af ferritter, nemlig MnZn-ferritter og NiZn-ferritter. Groft sagt kendetegnes MnZn-ferrit ved en relativt høj permeabilitet, lad os sige over 500 - og NiZn har en lavere permeabilitet, nemlig under 500. Skellet er dog ikke så skarpt, der er betydelig forskel på forskellige fabrikanters produkter.

Der er forskellige egenskaber hos ferritmaterialerne, som man skal være opmærksom på:

- Den specifikke modstand; denne hænger stort set sammen med de magnetiske egenskaber således at høj- μ materialer har relativt lav resistivitet og lav- μ materialer har højere resistivitet.

- Dielektricitetskonstanten; med den relativt høje resistivitet kommer dielektricitetskonstanten ind i billedet ved højere frekvenser; tallet for ϵ_{rel} er 10-20 ved høje frekvenser. (Forøvrigt er tingene mere komplicerede, ved lave frekvenser er dielektricitetskonstanten nemlig meget højere). Det er absolut ikke uvæsentligt, at man ved design både af transformere og af støjdemplingskomponenter for højere frekvenser har denne problematik for øje.

- Permeabilitets frekvensafhængighed rummer problemer. For et givet materiale vil den af fabrikanten opgivne begyndelsespermeabilitet gælde for lavere frekvenser. Betragter vi værdien for permeabiliteten som en kompleks størrelse, vil vi se realdelen som det vi kan kalde den virksomme permeabilitet og imaginærdelen som repræsenterende tabene. Ser vi nu på den komplekse permeabilitet som funktion af frekvensen, vil vi se, at vi mod højere frekvenser oplever en mindskning af realdelen og en øgning af imaginærdelen. Med en spole på et ferritemne vil vi altså ved stigende frekvens opleve, at selvinduktionen falder og den seriemodstand, der repræsenterer tabene, stiger. Spolens impedans vil godt nok være stigende, men den går fra at være en spole over til mere at opføre sig som en modstand. I støjdemplingsammenhæng vil man ikke sjældent med fordel kunne udnytte dette forhold.

- Og så yderligere tre ting omkring permeabiliteten: For et givet materiale vil man opleve en betydelig spredning i permeabiliteten; i bedste fald ser man +/- 20 procent. Videre er der en betydelig og ikke veldefineret temperaturafhængighed. Og til sidst er der dette fænomen med at et ferromagnetisk materiale ved en vis temperatur, den såkaldte curietempora-

tur, mister sine magnetiske egenskaber. For højpermeable ferritter kan dette ske allerede ved en temperatur på ca. 100-130 grader Celcius.

Pulverjern

Carbonyljernmaterialet, nok det mest anvendte materiale, består af meget fint pulver af carbonyljern (udgangsmaterialet er jernpentacarbonyl, $\text{Fe}(\text{CO})_5$, hvor man ved en varmebehandling får rent jern med meget lille kulindhold), pulverets enkelte partikler er videre ved en oxydering gjort mindre ledende; pulveret holdes så sammen af et bindemiddel. Pulverjernmaterialet har, hvad man populært kan kalde en "indbygget luftspalte", dels ved oxydlaget, dels ved bindemidlet. Herfor får man kun en ret beskeden permeabilitet, mellem 3 og 35. Til gengæld er hysteresetabene meget små, hvilket er af betydning til en del højfrekvensanvendelser.

Permeabilitetsspredningen er beskeden, +/- 3-5 %. Temperaturafhængigheden er beskeden, typisk + 10 ppm /grad C. Curitemperaturen er høj og en øvre temperaturgrænse på 120 grader er bestemt af bindemidlet.

Udover carbonyljernet findes der også et oxydmateriale; dette består af oxydpulver plus et bindemiddel. Permeabiliteten er lav, 3-4.

En anden speciel type pulverjern er det såkaldt hydrogenreducerede; det fremstilles af jernoxyd, der under fremstillingsprocessen reduceres med hydrogen. Man kan opnå en permeabilitet på 75, men de større tab i denne type jern begrænser anvendelsen betydeligt; det anvendes imidlertid i vid udstrækning til støjdemningsformål.

Emnerne

Emnerne af ferrit eller pulverjern kan have forskellige former. Afhængigt af anvendelserne kan man benytte forskellige udførelser af emnerne; jeg skal her omtale de vigtigste.

Ringkerner

Måske mest brugt i amatør radiosammenhæng er nok ringkernerne. Ringen er jo en sluttet magnetisk kreds, så i alle transformere- eller transformerlignende anvendelser er den jo et naturligt valg. Og når vi taler HF-spoler, så er det også en kendt sag, at ringspolen - toroiden -, er en meget effektiv spole.

Ringkerner findes både i ferrit- og i pulverjernsudførelser. Størrelserne går fra meget små med en yderdiameter på få millimeter op til store med en yderdiameter på 60 millimeter.

For ferritmaterialernes vedkommende er der en øvre grænse for emnernes størrelse bestemt af sintringsprocessen og krympning af materialet under sintringen.

"Perler"/Beads og rør

Meget små ringformede, - eller man kan også

betragte dem som korte rørstykker -, emner omtales sædvanligvis som "perler" eller "beads" på engelsk. De kan dels bruges som små ringkerner i transformere, eller de kan bruges til støjdemnings- og filteringsformål.

Rørformede emner finder også anvendelse. Der findes diametre fra få millimeter op til ca. 20 millimeter og med længder på op til 10 gange diameteren.

Perler og rør forekommer hovedsageligt som ferritemner.

To-hulskerner

Tohulskernerne, ofte populært omtalt som "grise-tryner" finder udbredt anvendelse til transformere. Navnet forklarer vel tydeligt nok, at det her drejer sig om emnet med to huller gennem hvilke en vikling kan gå. Tohulskernerne gør det muligt at lave meget effektive magnetiske kredsløb. Denne kernetype kombinerer nemlig et stort kernetværsnit og en kort jernvej.

Mangehulskerner

"Mange" betyder her nu kun seks! Sekshulskerner finder anvendelse til drosselspoler; hullerne giver plads til op til tre vindinger på en sådan kerne.

Andre former

Der findes et utal af andre typer kerner, specielt på ferritområdet. Jeg skal bare nævne nogle få:

- Ferritstave, der anvendes til modtagerantenner og til støjdemningsformål.
- To-parts kerner til spoler og transformere:
- Skålkerner, RM-kerner, ågkerner.
- Gevindkerner til afstemning af spoler - og på det seneste er der kommet en del emner frem til støjdemning specielt i computersammenhæng.

Anvendelserne

Afstemte kredse samt høj- og lavpasfiltre

Til anvendelser, hvor man tidligere brugte cylindriske luftspoler, har toroidspoler i de seneste årtier vundet frem. Toroiden er jo som før nævnt en meget effektiv spolekonfiguration; den udmærker sig specielt ved et ringe ydre felt.

Når toroiden så ydermere vikles på et magnetisk emne, får man en god spole med små dimensioner, som ikke stiller krav m.h.t. afskærmning. Til toroidspoler til afstemte kredse bruger man altid pulverjern. Pulverjernets relativt lave permeabilitet giver en rimelig sikkerhed mod mætning af jernet (og dermed følgende ulinearitet); opvarmning p.g.a. tab i tråd og kerne sætter den effektmæssige grænse for en given kernestørrelse.

På tilsvarende vis vil man også til spoler, der indgår i høj- og lavpasfiltre, praktisk talt altid bruge pulverjern.

Vi skal senere se lidt på den praktiske brug af pulverjernringkerner og på beregninger og justering.

Tabel 1: Ferritmaterialer, sammenligning fabrikater - μ

μ	USA	Phi.	Sie.	Anglosid	LCC	Salford	TDK	Ferrop.
10			U17	F29	H52			PX60
20	68						K7	
40	63, 67			F25				PX58
80			K1				K6A	
100	65				H30			PX56
125	61	4C6		F16				
250	64			F14	H20		K5	PX54 PX35
500						S1		PX52
600				F13				
700		4S2						
750		3D3	M33		H10			
800	33						H6F	
850	43							
900		3B						PX51
1800	77		N22	F8				
2000	72		N27	F4			H6A	
2200		3H2			T10			
2500	73	3E1						
4000		3S1						
4300		3E4	N30					
5000		3E2		F10	T4		H5B	

Noter: 1. USA betyder amerikanske fabrikater: Amidon, Fair-Rite, Palomar og RadioKit.

2. Anglosid og Salford er engelske, LCC (=Thomson) er fransk og TDK er japansk.

3. Tabellen giver kun omtrentlige værdier på μ , og andre parametre kan være ganske forskellige fra fabrikat til fabrikat.

4. Philips typer 3S1 og 4S2 er specielle "EMC-typer".

Transformere

I transformere gælder det næsten altid om at have den tættest mulige magnetiske kobling. Dette krav gør sig i højeste grad gældende, hvis transformeren skal være bredbåndet. Her vil det i langt de fleste tilfælde være ferritemner, der kommer på tale.

Ringkerner og to-hulskerner er mest anvendte i dette tilfælde. Ved lavere frekvenser kan dog også eksempelvis skålkerner komme i betragtning.

Antennebaluns og -transformere

Strømbaluns til HF-antenner vil oftest kunne realiseres med ferritemner.

Ringkerner beviklede med et stykke transmissionslinje (enten koax eller totråds) er en løsning. Problemer med mætning af kerner er ikke så tilbøjelige til at opstå, i og med at strømbalunen i sig selv virker strømbegrænsende. Man kan på de lave bånd bruge en MnZn ferrit med et μ på ca 2000; bedre er det, hvis man skal dække alle bånd, da at bruge en NiZn ferrit med et μ på 100 til 250.

En måske mere nutidig udgave af strømbalunen er nok den såkaldte sleeve eller bead balun. Her bruger man ferritringe eller -rør, der trækkes udenpå et koaxkabel. For valget af ferrit gælder som anført

ovenfor. Den bedste løsning, hvis man vil lave en bredbåndet balun, er at bruge to slags ferritemner, dels en lavpermeabel, som er effektiv i den høje ende af frekvensområdet, dels en højpermeabel, som er effektiv i den lave ende.

Transformere til føddning af HF-antenner, f. eks. til FD4-antenner, laves mest med ferrit. Kernen skal være stor nok til at forblive lineær med den forekommende effekt. Husk, at man, hvor standbølgefórhóldet afviger fra 1:1 skal tage højde herfor! Det må nok anbefales, at man til denne anvendelse bruger en NiZn ferrit med et relativt lavt μ .

Støjdæmpning

Ordet støjdæmpning er her brugt i bredeste betydning, d.v.s. vi tænker på egentlig støjdæmpning, på forstyrrelsesafhjælpning, på HF-isolation apparater imellem etc.

Mest anvendt i denne sammenhæng er ferritmaterialer, og blandt dem bruges nok oftest MnZn ferritterne, de højpermeable ferritter. Der er godt nok også det materiale, man bør anvende på HF, men desværre ser man også denne type ferrit anvendt kritiskløst også på VHF og UHF. Som regel ønsker

man en drosselspolevirkning; men man bruger bevidst ferritter, der på en aktuel frekvens har en stor imaginærdel i den komplekse permeabilitet, således at man får en væsentlig modstandskomponent i droslen. Herved undgår man problemer med eventuelle resonanser i droslen.

Man bruger ferritperler, rør, flerhulskerner, eller beviklede ringe. Der findes videre et stort udvalg af specielle kerner, f. eks. kerner til brug på fladkabler.

Det er lidt svært at give helt klare retningslinier, men hovedreglen er nok den, at man bør bruge MnZn-ferrit med et μ på ca. 2000 på HF og NiZn-ferrit med et μ på 25-500 på VHF og UHF.

Udover ferrit ser man også det førnævnte højpermeable pulverjern anvendt, nemlig hydrogenreduceret pulverjern. Denne type jern er ret tabsbehæftet - som tidligere nævnt en fordel her. Videre gælder det, at den i forhold til ferrit lave permeabilitet betyder mindre risiko for mætning af kernen. I nogle forbindelser, f. eks. i power supplies, kan man i et ledningssæt med vekselstrøm godt have en vis jævnstrømskomponent.

Det hydrogenreducerede pulverjern har hos de amerikanske producenter bl. a. "mix"-betegnelsen 26.

Tabel 2: Pulverjernmaterialer, sammenligning fabrikater - μ

μ	USA	Philips	Anglosid
1	0		
3	12		
4		1P04	
4,5			910
5			901
6	10		
8	6		
10	2		900
11		1P11	
12			500
20	1		
22			100
25	15		
30		1P30	
35	3		
45		2P45	
70		2P70	
75	26		
90		2P90	

Noter:

1. USA betyder amerikanske fabrikater: Amidon, Micrometals og Palomar.
2. Materialerne med en permeabilitet op til 35 er carbonyl-jern, de over 35 er hydrogenreduceret jern.
3. De tyske producenter Kaschke, Neosid og Vogt fremstiller også pulverjern-emner, nok mest småting. Mangler desværre data.

Jernkernespoler i praksis, lidt om beregning og justering.

Den, der ikke forlængst er blevet forskrækket over alt det, der indtil nu er sagt, kunne måske indimellem have lyst til at lave spoler på ferrit- eller pulverjernemner. Så lad os se på beregningen af sådanne spoler.

En jernkernespoles selvinduktion er bestemt af jernets u , af tværsnittet og længden af den magnetiske vej samt af vindingstallet. Kigger vi på en ringkernespole, en toroide, har vi en formel for selvinduktionen, der er

$$L = 0,0046 \cdot N^2 \cdot \mu \cdot h \cdot \log \frac{D}{d}$$

hvor L er selvinduktionen i mikrohenry,
 N er vindingstallet,
 μ er permeabiliteten,
 h er kernens højde i cm og
 D og d er kernens yder- og inderdiameter.

De fleste producenter af ferrit og pulverjernemner gør det hele nemmere for os ved for et givet emne et angive en såkaldt Al-værdi. Det er et tal, som fortæller os, hvor stor en selvinduktion vi får per vinding på spolen. Enheden for Al er som regel nanohenry per vinding, (men pas på, der er nogen, der finder på eksempelvis at sige millihenry per 1000 vindinger eller sådan noget, og så må vi til at regne om!). Så skal vi lige huske at gange Al-værdien med kvadratet af vindingstallet, så har vi selvinduktionen.

For den, som vil lave spoler på andet end ringkerner, f. eks. på emner med luftspalte, bliver Al-værdien af endnu større nytte, en beregning vil ellers blive alt for besværlig!

Skal den spole, man vil lave, have mange vindinger, f. eks. 100 vindinger, kan man komme rimelig nær en ønsket selvinduktion; vi må jo lige være opmærksom på, at vi kun kan lave hele vindinger (og husk: hver tråd igennem hullet er en vinding!). Hvis vi nu har 10 vindinger og det netop er for lidt, er vi så fortabt? 11 vindinger vil jo give 20 % større selvinduktion, hvad måske er for meget.

Al-værdien forudsætter, at vor vikling er fordelt over hele ringkernen. I praksis vil vi som regel ikke lade spolens ender gå helt sammen, men vi vil lade viklingen dække 300 til 345 grader af omkredsen. Allerede nu vil vi få en selvinduktion, der er lidt større end den som Al-værdien lover os. Skubber vi nu viklingen sammen, så den dækker en mindre del af omkredsen, vil selvinduktionen stige! Dækker den samme vikling kun 200 grader af omkredsen, vil selvinduktionen være steget med ca. 25 %, hvis vi har et materiale med et μ på 10. Højere permeabilitet giver nok mindre variation og omvendt.

Nogle emner er "bare"; det gælder mest for ferritterne, andre er lakerede; der er tilfældet med pulver

Tabel 3, gængse størrelser og typer.

Amerikanske ringkerner, standardstørrelser:

De amerikanske producenter har standardiseret omkring størrelsen af ferrit- og pulverjernringkerner.

I en typebetegnelse for kernen bruger man et FT for ferrit og T for pulverjern efterfulgt af et tal for kernens yderdiameter. Tallet angiver diameteren i hundrededele tommer. For den fuldstændige beskrivelse af kernen sluttes så med talkoden for materialet. Enkelte kernediameter forekommer i to bredder; for den brede type vil diameter-tallet være efterfulgt af et A.

Forekommende kernestørrelser er:

-400, -300, -300, -225, -225A, -200, -200A, -184, -157, -130, -106, -94, -80, -68, -50, -44, -37, -30, -25, -20, -16 og -12.

Fra de europæiske fabrikater, - her kniber det lidt med standardiseringen -, kan nævnes:

Philips:

36 mm udv. dia., 4C6 ferrit (violet), meget brugt i bredbåndstrafoer, baluns etc., klarer på HF sagtens 200 Watt.

23 mm udv. dia., 4C6 og 3H2 ferrit, kan bruges til bredbandede sleeve baluns.

36 mm udv. dia., 3E1 ferrit (grøn) eller 3H2 (rød), god til støjdæmpning på HF.

Siemens:

Op til 34 mm udv. dia. i N27 og N30 ferrit, - til støjdæmpningsformål på HF; K1 og M33 kun op til 10 mm (til VHF/UHF).

To-hulskerne 6,2x7,2,4,2 i K1 eller U17 ferrit, fin til VHF/UHF skilletransformere.

jernet. I de fleste tilfælde har man med trådens isolation alene eller med laklag plus trådisolation ingen problemer. I mere kritiske sammenhænge, ved høje spændinger eller i visse andre situationer, kan man isolere en ringkerne yderligere med en tapebevikling. Teflontape af den slags, vvs-folk bruger, er fremragende hertil.

Materialefabrikater og -typer.

Ferrit

Antallet af producenter af ferrit er stort, og der findes et utal af forskellige ferritmateriale og ferritemner.

Det har knebet noget med standardiseringen omkring materialerne. I tabel 1 prøver jeg at sammenligne forholdsvis få typer materiale fra et antal

forskellige producenter. Jeg har søgt at medtage typer, som har været nævnt i amatør-litteraturen.

Med hensyn til emnerne, så er der en del IEC-rekommandationer og DIN-normer for skålkerner, RM-kerner og lignende. Og amerikanerne har standardiserede ringkernestørrelser.

Pulverjern

Der er ikke så mange producenter af pulverjernemner. Der er nogle amerikanske og ganske få europæiske. Der er også japanske producenter, men jeg er uden videre kendskab til dem.

Lige som med ferrit har amerikanerne standardiseret omkring materialetyper og størrelser på ringkerner.

Tabel 2 dækker de i amatørsammenhæng mest kendte materialer.

Tabel 3 giver størrelser på amerikanske ringkerner tillige med oplysninger om ofte anvendte europæiske emner.

OZ

Fra andre blade

Amatørradio og frimærker

Om dette fortæller GW0RTA i RadCom sep/95. Han er motivsamler og da han også er radioamatør, var det nærliggende for ham at vælge samler-motiver, hvor radio og/eller telekommunikation indgår.

GW0RTA opdeler relevante frimærker i to grupper: 1. gruppe (Ham-Stamp) er erindringsmærker, hvor motivet er amatørradio. I 2. gruppe er motivet indirekte relateret til amatørradio (Quasi-Ham-Stamp). I artiklen, som er veillustreret med mange forskellige frimærker i farvetryk, findes en liste over Ham-Stamps (gruppe 1) indeholdende ca. 100 udgivelser. Listen over Quasi-Ham-Stamps er meget længere og er ikke gengivet i artiklen, men kan rekvireres hos forfatteren.

Også udgivelsen af to "Marconi-Stamps" d. 5. september 1995 i England omtales. Førstedagskuverter kan i begrænset omfang købes ved henvendelse til RSGB.

Taizo Arakawa, GW0RTA/N2ATT/JASAER: "Amateur Radio on Postage Stamps", RadCom sep. 1995 pp. 17-20.

En variabel mellemfrekvens-enhed

GM3AHR beskriver på to sider en mellemfrekvensenhed med variabelt gennemgangsområde.

Enheder kan kobles på en ældre kommerciel eller hjemmebygget RX/TRX med 9 MHz mellemfrekvens for derved at få mulighed for variabel mellemfrekvens-selektivitet. Fra en VXO som afstemmes med en BB 105 varicapdiode føres et 19,7 MHz signal (+/- var.) til en dualgatemixer (MFE 20), hvor det blandes med 9 MHz mellemfrekvenssignal fra RX/TRX. Blandingsdifferencen 10,7 MHz føres gennem et 10,7 MHz xtal-filter til et nyt mixertrin (også med MFE 20), hvor det bliver blandet med samme VXO-signal som før, og vi er tilbage på 9 MHz. Dette signal føres via en 2N3819 tilbage til RX/TRX til videre behandling.

Forfatteren anfører at modtagelsen af såvel SSB som CW signaler nu "is much improved".

Et forsøg med 10,7 MHz x-taller i en "ladder-filter" opstilling gav dårlige resultater, så der er anvendt et standard 10,7 SSB filter.

Der er komponentplaceringstegning (med de største komponenter), men ikke print-lay-out.

A. R. Thomson, GM3AHR: "A variable IF Selectivity Unit", RadCom sep. 1995, pp. 38-39.