

Nova generacija Mn - Zn feritov za močnostne aplikacije

A new generation Mn-Zn ferrites for power applications

Andrej Žnidaršič - ISKRA Feriti, Ljubljana

Miha Drofenik - Inštitut Jozef Štefan, Ljubljana

Študirali smo feritne materiale uporabne v različnih napetostnih pretvornikih. Izboljšali smo njihove magnetne lastnosti, zvišali začetno permeabilnost μ in nasičenjsko magnetizacijo B_s , ter znižali magnetne izgube P/V na enoto volumna. Z razvojem nove generacije močnostnih Mn-Zn feritov, s komercialnimi imeni 35G, 45G, smo razširili proizvodni program tržno zanimivih visokokvalitetnih feritnih materialov za vgradnjo v frekvenčnem področju do 500 kHz.

Ključne besede : magnetni materiali, močnostni feriti, napetostni pretvorniki, frekvenčno področje, začetna permeabilnost, predmagnetizacija, magnetne izgube

The popular frequency range for switching power supplies is from 10 to 300 kHz at present, but it is more likely to be 500 kHz to some MHz in the near future.

It is well-known that predominant losses in Mn-Zn ferrite are hysteresis and eddy current losses. The main motivation for using ferrite in transformers cores are very low eddy current losses. Eddy current loss can be reduced by increasing the resistivity of the ferrite which depends on the grain boundary resistivity and the grain resistivity.

Three type of additions can be distinguished with respect to the kind of incorporation in the basic ferrite. The first type of addition acts indirectly via liquid phase formation and influence the microstructural development during sintering.

Additions of the second type modify the grain boundary chemistry and increase the grain boundary resistivity, as for example Ca, Si. In the third type of additives cations are soluble in the spinel lattice, as for example Ta, Sn etc. They effect the intrinsic properties such as magnetization, anisotropy, resistivity and after effects.

The desired chemical composition must lead to a high saturation magnetization and a total anisotropy, optimized according to the operating frequency, the operating temperature and the ceramic microstructure.

The quality of the raw material determines the ferrite quality. The microstructure of high frequency power ferrite must be controlled very carefully. So for synthesising a power ferrite with high performances, in the raw material impurities content and powder reactivity before firing have to be controlled precisely.

Firing is a very important step in the process, because it is during this step that the ferrite is definitively synthesized and that the microstructure is performed. So atmosphere control in firing profile have to be carefully chosen.

Our main goal was to obtain a fine and uniform microstructure and this has been possible by controlling sintering temperature, heating rate and high temperature soak time. Moreover, during the firing, the oxygen partial pressure pO_2 determines the Fe^{2+}/Fe^{3+} ratio and then increases the resistivity by decreasing the hopping mechanism.

A new power ferrite designated as 35G and 45G for switching power supplies in frequency range

up to 500 kHz, has been successfully developed and put in the market already.

Key words : magnetic materials, power ferrites, voltage converters, frequency domain, initial permeability, premagnetization, magnetic losses

1 Uvod

Feriti so in ostajajo tehnično zelo pomembni oksidni materiali. Obseg in uporaba feritnih jeder se na različnih področjih elektronike zelo spreminja, odvisno od razvoja in aplikativnih sposobnosti samih feritov, kot tudi drugih pasivnih in aktivnih komponent. S prehodom od analogne na digitalno telekomunikacijsko tehniko se večajo potrebe po širokopasovnih prenosnikih, s prodorom elektronike na različna področja tehnike pa naraščajo potrebe po necentraliziranih tokovnih virih, impulznih napetostnih pretvornikih itd., v katerih so vgrajeni visokofrekvenčni moloizgubni močnostni Mn - Zn feriti. Potrebe po prenosu večjih moči ob istočasnih zahtevah po miniaturizaciji pa narekujejo raziskave v smeri razvoja novih feritnih materialov z nizkimi magnetnimi izgubami v širokem frekvenčnem področju.

Z razvojem nove generacije močnostnih Mn - Zn feritnih materialov in izpopolnjenih geometrijskih oblik jeder, ki omogočajo prenose večjih moči, prodira uporaba feritnih jeder tudi na področje širokopotrošne in profesionalne elektronike (napajalniki, linijski transformatorji, impulzni transformatorji, vrstični transformatorji, impulzni napetostni pretvorniki, razne dušilke, varilne elektrode), torej na področje energetske elektronike. Uporaba in razvoj MOSFET in hitrih bipolarnih tranzistorjev omogoča delovanje in uporabo različnih napetostnih pretvornikov pri frekvencah tudi nad 500 kHz. Delovanju pri tako visokih frekvencah morajo biti prilagojene tudi lastnosti močnostnih feritnih materialov in jeder. Feritni materiali uporabni v navedenih aplikacijah in širokem frekvenčnem področju od 20 kHz do 500 kHz se odlikujejo po visoki nasičenjski gostoti B_s , Curievi temperaturi T_c , notranji upornosti (ρ) in začetni permeabilnosti μ_i , prilagojeni delovni (uporabni) frekvenci, ter po nizkih temperaturno in frekvenčno odvisnih magnetnih izgubah (P/V), ki dosegajo minimalno vrednost pri delovni temperaturi magnetnega sklopa. Pri delovnih frekvencah Mn-Zn feritnega jedra $f = 500$ kHz je zelo pomembna temperaturna odvisnost magnetnih izgub. Magnetne izgube v splošnem naraščajo z rastočo frekvenco, kar povzroča segrevanje feritnega jedra in celotnega magnetnega sklopa. Zato je zelo pomembno, da imajo močnostni Mn-Zn feritni materiali visoko Curieovo temperaturo $T_c \geq 200^\circ\text{C}$, kar dosežemo s primerno kemijsko sestavo bogato z Fe_2O_3 in Mn_3O_4 , ter visoko nasičenjsko gostoto pri delovni temperaturi $T_{del} = 90$ do 105°C . Magnetne izgube ustreznega Mn-Zn ferita morajo imeti negativni temperaturni koeficient in doseči minimalno vrednost na področju delovne temperature magnetnega sklopa. Na magnetne izgube feritnega materiala vplivajo različni faktorji, kot so: kemijska sestava, valenca ionov, nečistoče, dodatki (Sn, Ti, Ca, Ta), pore in njihova porazdelitev, ter pojavi na mejah med zrni. Zato je potrebno za zmanjšanje magnetnih izgub preprečiti vse navedene vplive, dobro obvladovati tehnološki proces izdelave feritnih jeder, posebno pripravo feritnega prahu in sintranje. Pri feritih z visoko nasičenjsko gostoto in nizko magnetokri-

stalno anizotropijo, dosežemo sicer visoke permeabilnosti, vendar pa nizke specifične upornosti zaradi prisotnosti Fe^{2+} hopping efekta $\text{Fe}^{2+} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+} + e^-$, ki zvišujejo magnetne izgube zaradi vrtnčastih tokov. Hopping efekt začne postopoma naraščati, ko prekoračimo delovno frekvenco $f \geq 100$ kHz. Dušenje omenjenega efekta je možno z zvišanjem specifične upornosti, kar dosežemo z dopiranjem različnih malih dodatkov (npr. Ti^{4+}). Ti zasedejo v kristalni rešetki B mesta v bližini Fe^{2+} iona in tako preprečijo gibanje elektronov med Fe^{2+} in Fe^{3+} . Druga možnost dušenja omenjenega efekta ter s tem zmanjševanja magnetnih izgub, kot posledico vrtnčastih tokov, je tvorba izolacijskega filma na mejah med zrni, kar dosežemo z dopiranjem različnih malih dodatkov (npr. Ca^{2+} , Si^{2+}). Kemijska setava samih zrn se pri tem ne spreminja, dopanti se koncentrirajo na mejah med zrni, kar omogoča ohranjanje nizkih magnetnih izgub feritnega materiala. Tretja možnost zvišanja specifične upornosti in s tem zmanjšanja magnetnih izgub, je pravilen razvoj mikrostrukture končnega feritnega materiala, na katero vplivamo predvsem s fazo sintranja. Če je mikrostruktura nehomogena in se kemijska sestava v posameznih zrnih spreminja je distribucija magnetnega pretoka in permeabilnosti v zrnih neenakomerna. Ker razmerje med gostoto magnetnega pretoka B in močnostnimi izgubami ni linearno, povzroči nehomogenost magnetnega pretoka zvišanje magnetnih izgub v samem feritu. Zato pri pripravi močnostnih feritnih materialov uporabnih pri višjih frekvencah uporabljamo zelo čiste vhodne surovine, rast zrn pri sintranju pa zaviramo z uvajanjem raznih dodatkov (npr. Ta^{5+} , Sn^{4+}).

2 Tipične magnetne lastnosti

Močnostni Mn - Zn feriti so poleg trajnih keramičnih magnetnih materialov, komercialno najuspešnejše področje, s trendom rasti cca. 10-15 % na leto. Potrebe po prenosu večjih moči ob istočasnih zahtevah po miniaturizaciji, usmerjajo raziskave v razvoj novih materialov, novih geometrijsko prilagojenih oblik, kakor tudi v smeri izboljšave že obstoječih feritnih materialov.

Tudi v Feritih, edinemu proizvajalcu feritnih materialov na področju Slovenije, se zavedamo, da brez seznanjanja in prilaganja hitrim tehnološkim dosežkom, ki jih vsak dan doživljamo na področju širokopotrošne in profesionalne elektronike, ni mogoče dolgo ostati na zahtevnih trgih razvitega sveta, kamor smo zaradi majhnosti našega tržišča prisiljeni izvažati cca. 80 % celotnega proizvodnjega programa. Zaprtost in skope informacije na področju tržno zanimivih elementov za elektroniko povzročajo, da veliko pozornost posvečamo lastni razvojni dejavnosti, v tesnem sodelovanju z IJS - K 5. Rezultat skupnega razvojnega dela mešanega tima R.O. - Feriti in IJS - K 5 je tudi razvoj in uvajanje redne proizvodnje nove generacije močnostnih Mn - Zn feritov, s katerimi smo se izenačili z

Tabela 1. Močnostni Mn - Zn ferit uporaben v frekvenčnem področju do 300 kHz**Table 1.** Mn-Zn power ferrite for application in frequency range up to 300 kHz

Material	μ_i	P/V (mW/cm ³) 25°C	f=100 kHz 100°C	B=0.1T 25°C	B (mT) 100°C
45G - ISKRA	2300	≤ 170	≤ 110	≥ 500	≥ 320
N67 - SIEMENS	2300	≤ 160	≤ 100	≥ 510	≥ 320
3C85- PHILIPS	2000	≤ 230	≤ 165	≥ 500	≥ 330

Tabela 2. Močnostni Mn - Zn ferit uporaben v frekvenčnem področju do 500 kHz**Table 2.** Mn-Zn power ferrite for application in frequency range up to 500 kHz

Material	μ_i	P/V (mW/cm ³) 25°C	f=500 kHz 100°C	B=50 mT 25°C	B (mT) 100°C
35G - ISKRA	2000	≤ 300	≤ 230	≥ 500	≥ 330
N87 - SIEMENS	2300	≤ 290	≤ 240	≥ 510	≥ 320
3F3 - PHILIPS	2000	≤ 225	≤ 230	≥ 500	≥ 330

materiali, ki jih proizvajata renomirana proizvajalca Siemens in Philips.

3 Zaključek

Recesija, ki je zajela svetovni trg elektronske industrije v letih 1991, 1992, in se v določeni meri prenesla tudi v leto 1993, je močno vplivala na strukturo povpraševanja po feritnih materialih. Klasični program feritnih materialov, ki je v preteklem obdobju obvladoval predvsem področje zabavne elektronike in različne telekomunikacijske sisteme, zaradi zasičenosti, predvsem pa sprememb v tehnologiji izdelave, vse bolj izgublja svoj prvotni namen. Glede na trende, ki se pojavljajo na področju elektronske industrije v smeri video teleanematike, prenosne telefonije, satelitskih telekomunikacij, zabavne elektronike (HDTV) in napajalnikov različnih oblik in dimenzij, se spreminja tudi struktura tržno zanimivih Mn-Zn feritnih materialov. Najvišjo stopnjo rasti predstavljajo visokofrekvenčni močnostni Mn - Zn feriti, ki pokrivajo frekvenčno področje od 200 kHz do 500 kHz, vgrajeni v različnih napetostnih pretvornikih in napajalnikih, med katerimi so prav gotovo najpomembnejši SMPS (Switch Mode Power Supplies), ki pomenijo pravo revolucijo v omenjenem razvoju. Razvoj omenjenih napajalnikov sovпада z razvojem hitrih bipolarnih tranzistorjev, ki usmerjene signale na vходу spremenijo v pulze visokih frekvenc, ter jih nato s feritnimi transformatorji transformiramo na zahtevano izhodno napetost.

Z razvojem nove generacije močnostnih Mn - Zn feritov, smo razširili svoj program tržno zanimivih

visokokvalitetnih Mn - Zn feritnih materialov, ter se po lastnostih izenačili s Siemensom in Philipsom, ki sta trenutno edina evropska proizvajalca omenjenih kvalitet .

Zaradi hitrih sprememb, ki jih vsak dan doživljamo na področju elektronike, usmerjamo svoje nadaljne razvojne akcije skladno s trendi svetovnih proizvajalcev v razvoj višje frekvenčnih Mn-Zn feritov, ki bodo vgrajeni v različnih visokonapetostnih transformatorjih v frekvenčnem področju do 1 MHz, ter novo kvaliteto visokopermeabilnih Mn- Zn feritov ($\mu_i = 15000$), ki bodo vgrajeni v različnih transformatorjih, induktorjih, ter visokoselektivnih filterih na področju profesionalne, prenosne in zabavne elektronike, ter telefonije, zaradi prodora miniaturizacije in prehoda iz analognih na digitalne telefonske sisteme.

4 Reference

- 1 A. ŽNIDARŠIČ : Vpliv Sn⁴⁺ na Mn - Zn ferite za močnostne aplikacije - SD 91, Portorož
- 2 A. ŽNIDARŠIČ , M. LIMPEL , G. DRAŽIČ , M. DROFENIK, Investigation of power ferrites - ECERS second conference - Augsburg 1991 - ZRN
- 3 A. ŽNIDARŠIČ , M. LIMPEL , G. DRAŽIČ , M. DROFENIK, Influence of Ta₂O₅ on microstructure in low loss power ferrites - MIEL SD 92 , Portorož
- 4 A. ŽNIDARŠIČ , M. LIMPEL , M. DROFENIK : Microstructure control in low loss power ferrites - ICF 6 1992 -Tokyo, Japonska
- 5 A. ŽNIDARŠIČ : Mn - Zn feriti za močnostne aplikacije Prvo slovensko posvetovanje - ELEKTRIČNENAPRA-

VE - SPEN 92, Maribor

- 6 A. ŽNIDARŠIČ, M. LIMPEL, M. DROFENIK - Doping of ferrites for high frequency switching power supplies European Ceramic society, 3th Conference, September 1993, Madrid
- 7 A. ŽNIDARŠIČ, M. LIMPEL, M. DROFENIK - The effect of additives on magnetic properties and microstructure of Mn-Zn ferrites for high frequency power supplies, MIEL-SD 93, September 1993, Bled