

Weichmagnetische Ferrite

zum Aufbau von Präzisions-Hochfrequenzbauelementen
für Kommunikationstechnik, Automobilindustrie
und Industrieautomatisierung

Prof. Dr. rer. nat. Lothar Michalowsky

Dipl.-Phys. Jörg Dreikorn
Dr. Rüdiger Dreyer
Dipl.-Ing. Mauricio Esguerra
Dr. Ulrich Hoeppel
Dr.-Ing. habil. Ralph Lucke
Dr. Heiko Meuche
Dipl.-Ing. Stefan Siebert

Mit 158 Bildern und 38 Tabellen



Kontakt & Studium
Band 584

Herausgeber:
Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. Wilfried J. Bartz
Dipl.-Ing. Elmar Wippler

expert  **verlag**®

Inhaltsverzeichnis

1	Theoretische Grundlagen zur Magnetisierung, freien Energie, der Domänenstruktur, zu den Magnetisierungsprozessen und den Eigenschaften der Ferrite	1
	Lothar Michalowsky	
1.1	Ferro- und Ferrimagnetismus	1
1.2	Intrinsische Eigenschaften weichmagnetische Werkstoffe	8
1.2.1	Magnetokristalline Anisotropieenergie	9
1.2.2	Magnetostriktion	13
1.2.3	Induzierte uniaxiale Anisotropieenergie	15
1.2.4	Elektrische Eigenschaften	17
1.2.4.1	Halbleitung in Ferriten	17
1.2.4.2	Dielektrische Eigenschaften	20
1.3	Freie Energie weichmagnetischer Werkstoffe	21
1.4	Eigenschaften weichmagnetischer Werkstoffe	25
1.4.1	Magnetische Kenngrößen	25
1.4.2	Permeabilitäts- und Koerzitivkraftmodelle	29
1.4.3	Ummagnetisierungsprozesse	30
1.5	Gefügedefinition und mikrostrukturelles Konstruieren	32
1.6	Spezialliteratur zur Ferritkeramik	32
1.7	Anlagen	33
2	Scherung und Linearisierung	39
	Jörg Dreikorn	
2.1	Einleitung und Grundbegriffe	39
2.1.1	Einführung des Entmagnetisierungsfaktors	39
2.1.2	Magnetischer Widerstand (Reluktanz)	41
2.1.3	Näherungen für kleine Luftspalte	42
2.1.4	Scherung der Hysterese	43
2.1.5	Homogene Entmagnetisierung	44
2.1.6	Inhomogene Entmagnetisierung	45
2.2	Magnetische Eigenschaften	46
2.2.1	Komplexe Permeabilität und Verlustwinkel	46
2.2.2	Wirbelstrom- und Restverluste	47
2.2.3	Hystereseverluste	48
2.2.4	Klirrfaktor	51
2.2.5	Temperaturabhängigkeit der Anfangspermeabilität	51
2.2.6	Energiespeicherung	53
2.2.7	Reversible Permeabilität und Sättigung	54
2.2.8	Zusammenfassung zu den magnetischen Eigenschaften	56

2.3	Bauformen und Anwendungen	56
2.3.1	Stabkerne	56
2.3.2	Pilz- und Rollenkerne	58
2.3.3	E-Kerne und verwandte Kernformen	58
2.3.4	RM- und Schalenkerne für Filteranwendungen	58
2.3.5	Breitbandübertrager	59
2.3.6	Pulverkerne – verteilter Luftspalt	60
2.3.7	Zusammenfassung	61
2.4	Streifelder und Proximityeffekt	61
2.4.1	Induktivitätsabnahme	62
2.4.2	Proximityeffekt und Kupferverluste	63
2.4.3	Methoden zur Verringerung des Streufeldes	63
2.5	Formelzeichen	64
2.6	Literatur	65
3	Messtechnik zur Kennwertbestimmung weichmagnetischer Werkstoffe	66
	Stefan Siebert	
3.1	Messtechnische Grundlagen	66
3.1.1	Messung des magnetischen Flusses	66
3.1.2	Magnetische Flussdichte	68
3.1.3	Magnetische Polarisation	68
3.1.4	Magnetische Feldstärke	69
3.1.5	Relative Permeabilität	70
3.2	Messtechnik	71
3.2.1	Fluxmeter	71
3.2.1.1	Integrationsprinzip	71
3.2.1.2	Der Einfluss der Quellimpedanz	72
3.2.1.3	Drift	72
3.2.1.4	Aufbau eines Fluxmeters	73
3.2.2	Digitale Integration	73
3.3	Messung der magnetischen Eigenschaften mit Hilfe eines Hysteresegraphen	74
3.4	Berechnung der Hysterese aus Feldstärke und Flussdichte	76
3.4.1	Darstellung der Neukurve	77
3.4.2	Darstellung der Permeabilitätskurve	78
3.4.3	Bestimmung der Ummagnetisierungsverluste	79
3.4.4	Andere Messverfahren	79
3.4.5	Wattmeter- und Voltmetermethode	80
4.	Messtechnik zur Charakterisierung von Ferritkernen nach IEC 62044	82
	Heiko Meuche	
4.1	Motivation	82
4.2	Messung an gepaarten Kernen	82
4.2.1	Klammerung gepaarter Kerne	83
4.2.2	Prüfspulen	83
4.2.3	Streifelder und Wirbelstromverluste	85

4.3	Messungen bei geringer Aussteuerung	85
4.3.1	Induktivität, A_L -Wert und Anfangspermeabilität	85
4.3.2	Bezogener Temperaturbeiwert	86
4.3.3	Bezogener Verlustfaktor	86
4.3.4	Hysteresematerialkonstante	86
4.3.5	Total Harmonic Distortion THD (Klirrfaktor)	87
4.3.6	Disakkomodationsfaktor	89
4.4	Messung bei hoher Aussteuerung	89
4.4.1	Spezifische Kernverlustleistung	89
4.4.2	Amplitudenpermeabilität	90
4.5	Übertragungsrate in Abhängigkeit der Leitungslänge	91
4.6	Literatur	91
5	Weichmagnetische Ferritwerkstoffe für die Leistungsübertragung	92
	Ralph Lucke	
6.1	Applikationsseitige Grundlagen	92
6.2	Werkstoffseitige Anforderungen an Leistungsübertragerferrite	94
6.3	Kernformspezifische Besonderheiten	104
6.4	Neueste Ergebnisse der Materialentwicklung	104
6.5	Möglichkeiten und Grenzen üblicher Ferrit-Stoffsysteme	106
6.6	Literatur	108
6	Weichmagnetische Ferrite für Kleinsignalanwendungen	109
	Mauricio Esguerra	
6.1	Einleitung	110
6.2	Filter/Oszillator – Anwendungen	110
6.2.1	Niedriger Verlustfaktor	110
6.2.2	Eng tolerierter A_L -Wert	111
6.2.3	Eng tolerierter Temperaturbeiwert	112
6.2.4	Niedriger Desakkomodationsfaktor	112
6.2.5	Weiter Abgleichbereich	112
6.2.6	Auswahl geeigneter Werkstoffe für analoge Filter	112
6.3	Breitband-Anwendungen	113
6.3.1	Betriebsdämpfung	113
6.3.2	Bandbreite	113
6.3.2.1	Einfluss vom Streufluss	113
6.3.2.2	Grunddämpfung	114
6.3.3	Spannungsklirrfaktor	115
6.3.3.1	Core Distortion Factor (CDF) und Shape Distortion Factor (SDF)	115
6.3.3.2	Hystereseeiwert (nach IEC 60401)	118
6.3.3.3	Schaltungskorrektur: Circuit Correction Factor (CCF)	119
6.3.3.4	Applikationsmessung: ADSL- Reichweite in Abhängigkeit von eingesetzter Kernform sowie Werkstoff	119
6.3.4	Gleichstromvormagnetisierung (gescherte Kerne)	120
6.3.4.1	Materialwahl	120
6.3.4.2	Kernform- und Luftspaltwahl	121
6.4	Local Area Network (LAN)-Anwendungen	122
6.4.1	Werkstoff T57	122
6.5	Literatur	123

7	Nickel-Zink-Kobalt-Ferrite für Anwendungen in der Entstör- und Transpondertechnik sowie in HF-Absorbern	
	Rüdiger Dreyer	
7.1	Physikalische Grundlagen	124
7.1.1	Vorbemerkung	126
7.1.2	Permeabilität und Dielektrizitätskonstante	126
7.1.3	Curietemperatur und Temperaturverhalten	127
7.1.4	Sättigungsflussdichte, Remanenz, Koerzitivfeldstärke	129
7.1.5	Güte Q und Verluste P	130
7.1.6	Spezifischer Widerstand	132
7.2	Fertigungsverfahren	133
7.3	Materialklassen und elektromagnetische Eigenschaften	137
7.3.1	Ni-Zn-Ferrite	137
7.3.2	Ni-Zn-Co-Ferrite (Perminvarferrite)	137
7.3.3	Niedrigsinternde Ni-Zn-Cu-Ferrite	138
7.4	Kernformen und Anwendungsbereiche	139
7.4.1	Entstöranwendungen	139
7.4.1.1	Störspannungen	140
7.4.1.2	Störstrahlung	142
7.4.2	Antennenanwendungen	143
7.5	Literaturverzeichnis	145
8	Mikrowellenferrite und ihre Anwendungen	146
	Ulrich Hoeppe	
8.1	Einleitung	146
8.2	Material	146
8.2.1	Mikrowellenferrite: Unterschiede zu anderen Anwendungen	146
8.2.2	Bewegungsgleichung der Magnetisierung	147
8.2.3	Suszeptibilität, Resonanz, und Wellenausbreitung im Ferritmaterial	148
8.2.4	Wichtige Eigenschaften von Mikrowellenferriten	150
8.2.5	Spinelle, Kristallstruktur, Dotierung, Eigenschaften	150
8.2.6	Granate	151
8.2.6.1	Kristallstruktur, Dotierung, Yttrium-Eisen-Granat (YIG)	151
8.2.6.2	Al-YIG und Gd-YIG	153
8.3	Anwendungen	154
8.3.1	Nichtreziproker Phasenschieber	155
8.3.2	4-Tor Phasenschieberzirkulator	155
8.3.3	3-Tor Y-Zirkulator	156
8.4	Literatur	157
9	Alternative magnetische Werkstoffentwicklungen und Wirkprinzipien für Bauelemente der Elektronik und Elektrotechnik	158
	Lothar Michalowsky	
9.1	Einführende Bemerkungen	158
9.2	Weichmagnetische Verbundwerkstoffe mit organischer und anorganisch-nichtmetallischer Bindung	160

9.3	Höchstpermeable amorphe und nanokristalline Werkstoffe	166
9.4	Keramische Hochtemperatursupraleiter	173
9.5	Hochtemperatursupraleitung in keramischen Werkstoffen	174
9.6	Werkstoffe mit sehr großem Magnetowiderstand	181
9.7	Literatur	188

Autorenverzeichnis

Sachregister