
Magnettechnik

Grundlagen und Anwendungen

*Mit 184 Bildern,
88 Tabellen und 13 Tafeln*



Fachbuchverlag Leipzig - Köln

Inhaltsverzeichnis

GR	1	Grundlagen	15
	1.1	<i>Maxwellsche Gleichungen</i>	15
	1.1.1	Energie und Kräfte	19
	1.1.2	Maßsysteme	20
	1.2	<i>Magnetisches Moment</i>	23
	1.2.1	Atomares magnetisches Moment	23
	1.2.2	Einteilung der magnetischen Werkstoffe	27
	1.2.3	Diamagnetische Substanzen	27
	1.2.4	Paramagnetische Substanzen	28
	1.3	<i>Magnetische Grundgrößen und Begriffe</i>	29
	1.3.1	Curie-Temperatur und spontane Magnetisierung	29
	1.3.1.1	Klassische Molekularfeldtheorie des Ferromagnetismus	30
	1.3.1.2	Austauschwechselwirkung	31
	1.3.1.3	Austauschenergie	32
	1.3.2	Kristallanisotropieenergie	34
	1.3.3	Induzierte Anisotropie	36
	1.3.4	Magnetomechanische Effekte, Spannungsanisotropie	36
	1.3.5	Austauschanisotropie	38
	1.3.6	Formanisotropie	39
	1.4	<i>Magnetisierungsprozesse und Domänentheorie</i>	39
	1.4.1	Mikromagnetismus	40
	1.4.2	Domänenstrukturen	43
	1.4.3	Domänengrenzen (Bloch-, Neel-Wände)	47
	1.4.4	Ummagnetisierung durch Wandverschiebung	50
	1.4.5	Kohärente Rotation	54
	1.4.5.1	Stoner-Wohlfahrt-Modell	54
	1.4.5.2	Brownisches Paradoxon	54
	1.4.6	Keimbildung	55
	1.4.7	Wechselwirkung	55
	1.5	<i>Magnetisierungskurven und Hystereseigenschaften</i>	57
	1.5.1	Magnetische Hysterese	57
	1.5.2	Magnetisierungskurven	59
	1.5.3	Schleifenform	62
	1.5.3.1	Remanenz	62

1.5.3.2	Koerzitivfeldstärke	64
1.5.4	Einmündung in die magnetische Sättigung	65
1.5.4.1	Reversible Drehungen im Bereich hoher Feldstärken	66
1.5.4.2	Paraprozeß	66
1.5.5	Änderung der Magnetisierung	67
1.5.5.1	Abmagnetisieren	67
1.5.5.2	Aufmagnetisieren	67
1.6	<i>Dynamische Ummagnetisierungsvorgänge</i>	68
1.6.1	Magnetische Werkstoffe in Wechselfeldern	68
1.6.1.1	Oberwellen, komplexe Permeabilität	68
1.6.1.2	Wirbelstromeinflüsse	70
1.6.1.3	Auftrennung der Gesamtverluste	72
1.6.2	Ummagnetisierungsverluste in Wechselfeldern	72
1.6.2.1	Ummagnetisierungsvorgänge im Bereich kleiner Amplituden, Rayleigh-Bereich	72
1.6.2.2	Ummagnetisierungsverluste bei größeren Wechselfeldamplituden	73
1.6.3	Magnetische Nachwirkung	76
1.6.4	Spezielle Magnetisierungsprozesse	78
1.6.4.1	Ummagnetisierung durch impulsförmige Aussteuerung	78
1.6.4.2	Ummagnetisierungsvorgänge in dünnen Schichten	80
1.6.5	Ferromagnetische Resonanz	80
1.6.5.1	Ungedämpfte Präzession	81
1.6.5.2	Gedämpfte Präzession	82
1.6.6	Spinwellen	83
1.7	<i>Berechnung magnetischer Felder und magnetischer Kreise</i>	84
1.7.1	Felderzeugung durch Leitungsstrom	84
1.7.1.1	Grundlagen	84
1.7.1.2	Feldberechnung	84
1.7.1.3	Leiterschleife – Dipolschicht	86
1.7.2	Felderzeugung durch magnetische Werkstoffe	86
1.7.2.1	Grundlagen	86
1.7.2.2	Magnetischer Dipol	87
1.7.2.3	Berechnung des magnetischen Feldes bei gegebener magnetischer Polarisation	88
1.7.3	Felder an Grenzflächen magnetischer Substanzen und bei Magnetkörpern mit endlichen Abmessungen	88
1.7.3.1	Brechungsgesetz der magnetischen Feldlinien	88
1.7.3.2	Entmagnetisierendes Feld	89
1.7.3.3	Scherung	92
1.7.3.4	Entmagnetisierungsfaktor	93
1.7.4	Magnetischer Kreis	94
1.7.4.1	Potentialverluste	95
1.7.4.2	Strefaktor	96
1.7.4.3	Arbeitspunkt eines magnetischen Kreises, Arbeitsgerade	96

MM	2	Magnetische Meßtechnik	98
	2.1	<i>Erzeugung magnetischer Felder</i>	98
	2.1.1	Luftpulen	98
	2.1.2	Elektromagnete	99
	2.1.3	Dauermagnete	102
	2.1.4	Hochfeldmagnete	102
	2.2	<i>Magnetische Gleichfeldmeßverfahren</i>	105
	2.2.1	Induktionsmethoden	105
	2.2.1.1	Fluxmetrische Methode	106
	2.2.1.2	Vibrationsmagnetometer	114
	2.2.1.3	Magnetischer Spannungsmesser	115
	2.2.1.4	Feldmeßgenerator	117
	2.2.1.5	Magnetkernsonden	118
	2.2.2	Kraftmethoden	120
	2.2.2.1	Magnetometer	120
	2.2.2.2	Drehmoment-Magnetometer	123
	2.2.2.3	Magnetische Waagen	125
	2.2.3	Sonstige Verfahren	127
	2.2.3.1	Hall-Sonden-Meßgeräte	127
	2.2.3.2	Kernresonanz (NMR)-Magnetfeldmessung	128
	2.2.3.3	SQUID-Magnetometer	130
	2.3	<i>Magnetische Meßtechnik für Werkstoffe</i>	132
	2.3.1	Hysteresegraph	132
	2.3.2	Koerzimeter	134
	2.3.3	Wechselfeld (50 Hz)-Meßeinrichtungen	138
	2.3.3.1	Phasengesteuerter Meßkontakt-Gleichrichter	139
	2.3.3.2	Epstein-Rahmen	142
	2.3.3.3	Prüfgeräte für Einzelbleche und Elektroband	146
	2.3.4	Magnetische Meßeinrichtungen für höhere Frequenzen	150
	2.3.4.1	Permeabilitäts-Meßgeräte	150
	2.3.4.2	Scheinwiderstands-Meßbrücken	150
	2.3.4.3	Magnetische Impulsverfahren	154
	2.3.4.4	Mikrowellen-Messung	156
	2.3.5	Spezielle Meßtechnik für Dauermagnete	160
	2.3.5.1	Neumann-Joch	160
	2.3.5.2	Doppeljoch-Magnetprüfer	162
	2.3.5.3	Permagraph-Magnetprüfer /2.40/	162
	2.3.6	Messung der Magnetostriktion	163

MW	3	Magnetische Werkstoffe	165
	3.1	<i>Weichmagnetische metallische Werkstoffe</i>	166
	3.1.1	Werkstoffe mit höchsten Werten der Sättigungspolarisation	169
	3.1.2	Elektrobleche	171
	3.1.3	Eisen-Aluminium und Eisen-Aluminium-Silicium-Legierungen	175
	3.1.4	Eisen-Nickel-Werkstoffe /3.2/, /3.4/	176
	3.1.5	Amorphe weichmagnetische Werkstoffe	179

3.1.6	Weichmagnetische metallische Werkstoffe mit besonderen magnetischen, mechanischen und thermischen Eigenschaften	183
3.1.6.1	Magnetkopfwerkstoffe	183
3.1.6.2	Weichmagnetische metallische Werkstoffe für temperatur-empfindliche Schalter und Relais	183
3.1.6.3	Magnetostriktive Werkstoffe	186
3.1.6.4	Weichmagnetische metallische Werkstoffe mit einem nur schwach temperaturabhängigen Elastizitätsmodul	188
3.1.6.5	Magnetische Werkstoffe mit definiertem Ausdehnungsverhalten	188
3.1.7	Weichmagnetische Form- und Massivteile	190
3.1.8	Weichmagnetische Pulververbundwerkstoffe	192
3.2	<i>Weichmagnetische Ferrite/3.2A/</i>	194
3.2.1	Weichmagnetische Ferrite für frequenzselektive Bauelemente mit hoher Anfangspermeabilität und mittlerer Grenzfrequenz f_G ($f_G \leq 2$ MHz)	197
3.2.2	Weichmagnetische Ferrite für frequenzselektive Bauelemente hoher Grenzfrequenz ($f_G \geq 1$ MHz)	199
3.2.3	Weichmagnetische Werkstoffe für die Mikrowellentechnik (1...25 GHz)	201
3.2.4	Weichmagnetische Ferrite für die Leistungsübertragung	202
3.2.5	Weichmagnetische Ferrite für Magnetköpfe	203
3.2.6	Ferritwerkstoffe mit rechteckiger Hystereseschleife für die Informationstechnik	203
3.2.7	Weichmagnetische Ferrit-Werkstoffe mit hoher Magnetostruktion	205
3.3	<i>Hartmagnetische metallische Werkstoffe</i>	205
3.3.1	Martensitische Stähle	209
3.3.2	Hartmagnete auf Basis von CuNiFe und CuNiCo	210
3.3.3	Hartmagnete auf Basis von FeCoVCr	210
3.3.4	FeCoCr-Hartmagnete	211
3.3.5	AlNiCo-Dauermagnetwerkstoffe	211
3.3.6	PtCo-Dauermagnetwerkstoffe	216
3.3.7	Hartmagnete auf Basis von MnAlC	216
3.3.8	Dauermagnetwerkstoffe auf Basis von Seltenerdmetallen (SE-Magnete)	217
3.3.8.1	SE-Co-Magnete	219
3.3.8.2	NdFeB-Magnete	222
3.4	<i>Oxidische Dauermagnetwerkstoffe</i>	223
3.5	<i>Hartmagnetische Verbundwerkstoffe</i>	227
3.6	<i>Magnetisch-halbharte metallische Werkstoffe</i>	230
3.7	<i>Materialien für die magnetische Aufzeichnung und Datenspeicherung</i>	232

	3.7.1	Magnetomotorische Speichermedien	232
	3.7.2	Magnetblasenspeicher-Medien	234
	3.7.3	Magnetooptische Speichermedien	235
	3.8	<i>Magnetische Flüssigkeiten</i>	237
	3.9	<i>Magnetische Separation</i>	238
<hr/>			
AW	4	Anwendung magnetischer Werkstoffe	244
	4.1	<i>Einsatzgebiete in der elektrischen Energietechnik</i>	244
	4.1.1	Transformator	244
	4.1.2	Elektrische Maschinen	248
	4.1.3	Elektrische Maschinen mit höherer Betriebsfrequenz	254
	4.2	<i>Metallische Magnetwerkstoffe für Mittelfrequenztransformatoren</i>	258
	4.3	<i>Magnetische Werkstoffe für die Leistungselektronik</i>	259
	4.3.1	Magnetische Werkstoffe für Schaltnetzteile und für die Ansteuerung und den Schutz von Thyristoren	261
	4.3.2	Magnetische Werkstoffe für Drosseln in Stromrichter-schaltungen	267
	4.4	<i>Magnetische Werkstoffe für elektrische Schalt- und Schutzfunktionen</i>	267
	4.4.1	Funkentstörung	267
	4.4.2	Magnetische Bauelemente für die Informationstechnik	268
	4.4.3	Magnetische Abschirmung	270
	4.5	<i>Magnetische Werkstoffe für Meßwandler</i>	275
	4.6	<i>Magnetische Werkstoffe für elektromagnetische Schalt- und Schutzfunktionen</i>	276
	4.6.1	Fehlerstromschutzschalter	277
	4.6.2	Relais	279
	4.7	<i>Übertrager für die Schwachstromtechnik</i>	281
	4.8	<i>Spulen und andere Bauelemente für die Rundfunk-, Fernseh- und Nachrichtentechnik</i>	288
	4.8.1	Ringkernspulen	289
	4.8.2	Antennenspulen	290
	4.8.3	Schwingkreis-, Filter- und Oszillatordspulen	290
	4.8.4	Filterspulen für die Trägerfrequenztechnik	291
4.8.5	Jochringkerne für die Fernsehgerätetechnik	296	
4.8.6	Bauelemente der Mikrowellentechnik	298	

4.9	<i>Magnetische Verstärker</i>	302
4.10	<i>Magnetostriktive Bauelemente</i>	303
4.10.1	Magnetomechanische Filter und Verzögerungsleitungen	303
4.10.2	Ultraschallschwinger	305
4.11	<i>Sensoren auf der Basis magnetischer Materialien</i>	306
4.11.1	Magnetoelastische Sensoren	308
4.11.2	Positionssensoren	310
4.12	<i>Magnetomotorische Aufzeichnungstechniken</i>	311
4.12.1	Magnetkopf	313
4.12.2	Aufzeichnungsmedium	314
4.13	<i>Magnetooptische Informationsaufzeichnung</i>	320
4.14	<i>Einsatz von Dauermagnetwerkstoffen</i>	323
4.14.1	Allgemeines	323
4.14.2	Elektrische Maschinen mit Dauermagneten	332
4.14.3	Haftmagnete und weitere magnetomechanische Anwendungen	335
4.14.4	Elektroakustische Wandler	340
4.14.5	Dauermagnete in Meßgeräten und anderen physikalischen Geräten	342

LV

Literaturverzeichnis	344
----------------------------	-----

SV

Sachwortverzeichnis	353
---------------------------	-----
