

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	13
Tabellenverzeichnis	19
Abkürzungsverzeichnis	21
Symbolverzeichnis	23
1 Einleitung	25
1.1 Stand der Wissenschaft und Technik	27
1.2 Gliederung der Arbeit	29
2 Vorüberlegungen	31
2.1 Transformatoren	31
2.1.1 Grundlagen	32
2.1.2 Vorzeichenkonvention	34
2.1.3 Transformatorgleichungen	35
2.1.4 Ersatzschaltbilder	37
2.1.5 Hochfrequenzverhalten	38
2.1.6 Idealer Transformator	39
2.2 Magnetische Kernmaterialien	40
2.2.1 Grundlagen	40
2.2.2 Magnetismus in Festkörpern	42
2.2.3 Magnetische Hysterese	45
2.2.4 Permeabilität	48
2.2.5 NiZn-Ferritkerne	52
2.2.6 Nanokristalline Kerne	54
2.3 Biasströme	58
2.3.1 Auswirkungen von DC-Biasströmen	58
2.3.2 Auswirkungen von AC-Biasströmen	63
2.4 Biasströme und Transformatoren	65
3 Messverfahren	67
3.1 Ausgewählte Messzangen	69

3.2	Beschreibung induktiver Messzangen als Zweitore	71
3.2.1	Prinzipielles Ersatzschaltbild	72
3.2.2	Zweitorbetrachtung	76
3.3	Vollständige Kalibrierung induktiver Messzangen	77
3.3.1	Reflektometerkalibrierung	78
3.3.2	Grenzen der Reflektometerkalibrierung	86
3.3.3	Transmissionskalibrierung	90
3.4	Impedanzmessung mit einzelnen Messzangen	93
3.4.1	Schleifenimpedanz und lokale Impedanz	94
3.4.2	Referenzmessung	94
3.5	Impedanzmessung mit zwei Messzangen	96
3.5.1	Dreitorbetrachtung	97
3.5.2	Doppelstromzange	98
3.5.3	Vergleich mit der Einzelzangenmethode	100
3.6	Strommessung	101
3.6.1	Transferimpedanz	101
3.6.2	Einfügeimpedanz	104
3.6.3	Korrektur des Einflusses der Einfügeimpedanz	105
3.6.4	Messtechnische Verifikation	107
3.7	Leistungsmessung	109
3.8	Kontaktlose vektorielle Netzwerkanalyse	110
3.8.1	Semikontaktlose vektorielle Netzwerkanalyse	110
3.8.2	Vollkontaktlose vektorielle Netzwerkanalyse	111
3.9	Fehlerquellen und Messgenauigkeit	112
3.9.1	Untersuchung der kapazitiven Verkopplung	112
3.9.2	Numerische Unsicherheitsabschätzung am Beispiel der Impedanzmessung	115
3.9.3	HF-Störungen durch das SUT	120
4	Einfluss von Biasströmen	123
4.1	Theoretische Abschätzung der Messabweichung	123
4.1.1	Einfluss von Biasströmen auf die Elemente des Ersatz- schaltbilds	125
4.1.2	Resultierende Abweichung bei der Impedanzmessung	125
4.1.3	Resultierende Abweichung bei der Strommessung	127
4.2	Experimentelle Untersuchungen	127
4.3	Messaufbau mit klassischen Bias Tees	128
4.4	Referenzaufbau für Messungen bei hohen Biasströmen	131
4.4.1	Impedanzmessungen bei hohen Biasströmen	132
4.4.2	Klassische EMV-Strommessung mit hohem Biasstrom	138

5	Umgang mit dem Einfluss von Biasströmen	143
5.1	Designmaßnahmen	144
5.2	Kalibrierung induktiver Messzangen unter Biasstromeinfluss . . .	145
5.2.1	Messaufbau	145
5.2.2	Korrektur des Einflusses des Messaufbaus	148
5.2.3	Streuparameter unter Biasstromeinfluss	150
5.2.4	Bestimmung der Messabweichung bei der Impedanzmessung	152
5.3	Rechnerische Korrektur	154
6	Diskussion und Ausblick	159
A	Anhang	163
A.1	Aufnahme der Hysteresekurve	163
A.2	Permeabilitätsmessung	164
A.3	Messunsicherheit des VNA	165
A.4	Conductor over Ground Plane	166
A.5	Analytische Berechnung der Kalibrierstandards	167
	Literatur	169