

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	iv
Vorwort zur fünften Auflage	vi
Schreibweisen und Hinweise	xiii
1 Einleitung	1
2 Grundbegriffe und Grundlagen	7
2.1 Das Modell der Störbeeinflussung	7
2.2 Spannungs- und Stromübertragung	8
2.3 Der Störabstand als Gütekriterium	9
2.4 Quellen und Empfänger für die Stromübertragung	10
2.4.1 Stromquelle mit einem Operationsverstärker	11
2.4.2 Stromquelle mit einem Transistor	12
2.4.3 Stromquelle mit Operationsverstärker und Transistor	13
2.4.4 Auswahl einer geeigneten Stromquelle	15
2.4.5 Stromempfänger	15
2.5 Unsymmetrische und symmetrische Übertragung	16
2.6 Teilkapazität und Betriebskapazität	20
2.7 Selbstinduktivität und Gegeninduktivität	22
2.7.1 Dämpfung magnetischer Felder durch Kurzschlussringe	26
2.8 EMV-Ersatzschaltbilder von Bauelementen	29
2.8.1 Das Ersatzschaltbild von Leitungen	30
2.8.2 Das Ersatzschaltbild von Widerständen	31
2.8.3 Das Ersatzschaltbild von Kondensatoren	32
2.8.4 Das Ersatzschaltbild von Spulen	35
2.8.5 Das Ersatzschaltbild von Transistoren	38
2.8.6 Transformatoren und EMV	40
Literatur	42

3	Kopplungsmechanismen	43
3.1	Kapazitive Kopplung	43
3.1.1	Kapazitive Kopplung in unsymmetrische Signalkreise	43
3.1.2	Amplitudengang der eingekoppelten Störung	45
3.1.3	Kapazitive Kopplung in symmetrische Signalkreise	47
3.2	Induktive Kopplung	48
3.2.1	Induktive Kopplung in Signalkreise	48
3.2.2	Induktive Kopplung von Gleichtaktstörungen in symmetrische Signalkreise	51
3.3	Impedanzkopplung	51
3.3.1	Impedanzkopplung in unsymmetrische Signalkreise	52
3.3.2	Impedanzkopplung in symmetrische Signalkreise	54
3.4	Kopplung durch elektromagnetische Felder	55
3.5	Zusammenfassung	55
	Literatur	55
4	Verfahren	57
4.1	Die Stromanalyse	57
4.2	Das Verfahren der Verschiebung der Knotenpunkte	59
4.3	Beispiele zur Stromanalyse und Verschiebung der Knotenpunkte	61
4.4	Die Stromumschaltanalyse	63
	Literatur	64
5	Abblockung elektronischer Schaltungen	65
5.1	Das Wechselstrom-Ersatzschaltbild für die Abblockung	65
5.2	Ströme auf dem Masse- und Versorgungssystem	70
5.2.1	Abblockung von Operationsverstärkern	70
5.2.2	Abblockung digitaler ICs	73
5.3	Gruppenabblockung und Einzelabblockung	75
5.4	Auswahl geeigneter Abblockkondensatoren	76
5.5	Parallelschaltung von Abblockkondensatoren	77
5.6	Anschluss von Kondensatoren	81
5.7	Beispiele für das Layout des Versorgungsspannungssystems	85
5.7.1	Layout von Digitalschaltungen auf zweilagigen Leiterplatten	85
5.7.2	Layout von Schaltungen mit diskreten Transistoren	87
5.7.3	Verbindung analoger und digitaler Baugruppen	88
5.8	Abblockung auf Zweilagigenleiterplatten – Zusammenfassung	89
5.9	Abblockung auf Multilayern	90
5.9.1	Die Impedanz des Abblocksystems	92
5.9.2	Ein einfaches Modell des Leiterplattenkondensators	95
5.9.3	Stehende Wellen auf dem Masse-/Versorgungssystem	95
5.9.4	Berechnung des Abschlusswiderstandes einer rechteckigen Leiterplatte	102
5.9.5	Abblockmaßnahmen	104
5.9.6	Abblockung auf Multilayern – Zusammenfassung	118

5.10	Simulation des Versorgungssystems mit SPICE	120
5.10.1	Dimensionierung der Elemente des Simulationsmodells	121
5.10.2	Erstellen des Simulationsmodells der Testleiterplatte	122
5.10.3	Vergleich von Simulations- und Messwerten	125
	Literatur	126
6	Masse- und Signalstrukturen	127
6.1	Reihenmassestruktur	128
6.2	Masseschleifen	130
6.3	Entkopplungsmethoden	131
6.3.1	Vermaschung	132
6.3.2	Sternstruktur	133
6.3.3	Galvanische Trennung	136
6.3.4	Differenzbildung	137
6.3.5	Stromkompensierte Drossel (Gleichtaktdrossel)	138
6.3.6	Schutzleiterdrossel	141
6.3.7	Getrenntes Potentialbezugssystem	142
6.3.8	Symmetrische Struktur	143
6.3.9	Stromübertragung	145
6.3.10	Filter	146
6.3.11	Weitere Entkopplungsmethoden durch Änderung der Signalgröße	147
	Literatur	148
7	Planung der EMV von Baugruppen, Geräten und Anlagen	149
7.1	EMV-Zonen	150
7.1.1	Einrichten von EMV-Zonen in elektronischen Schaltungen	151
7.1.2	Ein leitfähiges Gerätegehäuse als EMV-Zonengrenze	153
7.1.3	Konstruktive Voraussetzungen für EMV-Filter	155
7.2	Massestruktur von Baugruppen	155
7.2.1	Verkopplung einer Baugruppe mit der Umgebung	156
7.2.2	Entkopplung durch Sternstruktur	158
7.2.3	Verkopplung durch kapazitiven Rückschluss	159
7.2.4	Entkopplung zwischen Baugruppe und Umgebung durch eine weitere Masseschleife	160
7.2.5	Maßnahmen bei ungünstiger Platzierung der Anschlüsse	161
7.2.6	Entwicklungsbegleitendes Testverfahren zur Prüfung des Massesystems	162
7.3	Strahlungskopplung bei ungünstiger Massestruktur	163
7.3.1	Teilmassen und Kabel als Antennenstrukturen	163
7.3.2	Strahlung von ICs durch Ground-Bounce	166
7.3.3	Strahlung von Schlitzantennen	170
7.4	Strukturierung der Masse digitaler Baugruppen	173
7.5	Massestrukturen von Geräten	175
7.6	Masseschleifen und Kopplungen in einer Anlage	182

7.7	Verbindung von Baugruppen	183
7.7.1	Transferadmittanz und Transferimpedanz	184
7.7.2	Ein- oder beidseitiger Anschluss von Kabelschirmen	186
7.7.3	Anschluss von Kabeln	189
7.7.4	Verbindung digitaler Schaltungen mit Flachbandkabeln	192
7.8	Zonen mit definiertem Massebezugspotential	192
7.9	Zusammenfassung	193
	Literatur	194
8	Fallbeispiele	197
8.1	Das klassische Spannungsteiler-Problem	197
8.2	Stereoverstärker	199
8.3	Beispiele für Stromübertragung	203
8.4	ESD-Schutz mit falschem Masseanschluss	206
8.5	Ein strahlendes Kabel	207
8.6	Messfehler bei elektronischen Messgeräten durch Masseströme.	208
8.7	Signalstruktur höchstempfindlicher analoger Messschaltungen	208
8.8	Sensoren in elektronischen Schaltungen	209
8.8.1	Sensoren in Brückenschaltungen	210
8.8.2	Andere Messprinzipien für passive Sensoren	213
8.8.3	Photodioden	214
8.8.4	Sensoren mit Messschaltung am Messort	214
8.9	Störungen an einem Personal Computer	215
8.10	Ungünstige Massestruktur einer zugekauften Baugruppe	216
8.11	Brummstörungen an einer Telefonanlage	218
8.12	Verbindung von Analog- und Digitalmasse	220
8.13	Strukturierung einer Digitalschaltung mit einem schnellen Schaltungskern	221
8.14	Planung an einem Baugruppenträger	222
8.15	EMV-gerechte konstruktive Gerätegestaltung	225
8.16	Strahlung einer Baugruppe mit einem LCD	226
8.17	Leistungselektronische Schaltungen	227
8.17.1	Analyse von Schaltnetzteilen	228
8.17.2	Entstörung von IGBT-Umrichtern	237
8.17.3	Wechselrichter	247
8.18	Zusammenfassung	252
	Literatur	253
9	Abschließende Betrachtungen	255
	Sachwortverzeichnis	259