

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Vorwort zur vierten Auflage	VII
Inhaltsverzeichnis	IX
Schreibweisen und Hinweise	XIV
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	11
2.4.1 Stromquelle mit einem Operationsverstärker	11
2.4.2 Stromquelle mit einem Transistor	12
2.4.3 Stromquelle mit Operationsverstärker und Transistor	14
2.4.4 Auswahl einer geeigneten Stromquelle	15
2.4.5 Stromempfänger	16
2.5 Unsymmetrische und symmetrische Übertragung	17
2.6 Teilkapazität und Betriebskapazität	20
2.7 Selbstinduktivität und Gegeninduktivität	23
2.8 EMV-Ersatzschaltbilder von Bauelementen	28
2.8.1 Das Ersatzschaltbild von Leitungen	28
2.8.2 Das Ersatzschaltbild von Widerständen	30
2.8.3 Das Ersatzschaltbild von Kondensatoren	31
2.8.4 Das Ersatzschaltbild von Spulen	34

2.8.5	Das Ersatzschaltbild von Transistoren	37
2.8.6	Transformatoren und EMV	39
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
3.2.3	Dämpfung magnetischer Felder durch Kurzschlussringe . .	52
3.3	Impedanzkopplung	55
3.3.1	Impedanzkopplung in unsymmetrische Signalkreise	56
3.3.2	Impedanzkopplung in symmetrische Signalkreise	58
3.4	Kopplung durch elektromagnetische Felder	58
3.5	Zusammenfassung	59
4	Verfahren	61
4.1	Die Stromanalyse	61
4.2	Das Verfahren der Verschiebung der Knotenpunkte	63
4.3	Beispiele zur Stromanalyse und Verschiebung der Knotenpunkte	65
4.4	Die Stromumschaltanalyse	67
5	Abblockung elektronischer Schaltungen	71
5.1	Das Wechselstrom-Ersatzschaltbild für die Abblockung	71
5.2	Ströme auf dem Masse- und Versorgungssystem	77
5.3	Gruppenabblockung und Einzelabblockung	82
5.4	Auswahl geeigneter Abblockkondensatoren	84
5.5	Parallelschaltung von Abblockkondensatoren	85
5.6	Anschluss von Kondensatoren	89

5.7	Logik-Fehler und Strahlung bei digitalen ICs durch Ground Bounce	94
5.8	Beispiele für das Layout des Versorgungsspannungssystems . .	96
5.9	Abblockung auf Zweilagenerleiterplatten – Zusammenfassung . .	101
5.10	Abblockung auf Multilayern	102
5.10.1	Die Impedanz des Abblocksystems	103
5.10.2	Ein einfaches Modell des Leiterplattenkondensators	107
5.10.3	Stehende Wellen auf dem Masse-/Versorgungssystem	108
5.10.4	Berechnung des Abschlusswiderstandes einer rechteckigen Leiterplatte	115
5.10.5	Abblockmaßnahmen	118
5.10.6	Abblockung auf Multilayern – Zusammenfassung	132
5.11	Simulation des Versorgungssystems mit SPICE	134
5.11.1	Dimensionierung der Elemente des Simulationsmodells . .	135
5.11.2	Erstellen des Simulationsmodells der Testleiterplatte	137
5.11.3	Vergleich von Simulations- und Messwerten	140
6	Masse- und Signalstrukturen	143
6.1	Reihenmassestruktur	143
6.2	Masseschleifen	146
6.3	Entkopplungsmethoden	148
6.3.1	Vermaschung	149
6.3.2	Sternstruktur	150
6.3.3	Galvanische Trennung	153
6.3.4	Differenzbildung	154
6.3.5	Stromkompensierte Drossel (Gleichtaktdrossel)	156
6.3.6	Schutzleiterdrossel	159
6.3.7	Getrenntes Potentialbezugssystem	160
6.3.8	Symmetrische Struktur	161
6.3.9	Stromübertragung	164
6.3.10	Filter	165
6.3.11	Weitere Entkopplungsmethoden durch Änderung der Signalgröße	165

7	Planung der EMV von Baugruppen, Geräten und Anlagen	167
7.1	EMV-Zonen	168
7.1.1	Einrichten von EMV-Zonen in elektronischen Schaltungen .	169
7.1.2	Ein leitfähiges Gerätegehäuse als EMV-Zonengrenze	171
7.1.3	Konstruktive Voraussetzungen für EMV-Filter	172
7.2	Massestruktur von Baugruppen	173
7.2.1	Verkopplung einer Baugruppe mit der Umgebung	174
7.2.2	Entkopplung durch Sternstruktur	176
7.2.3	Verkopplung durch kapazitiven Rückschluss	177
7.2.4	Entkopplung zwischen Baugruppe und Umgebung durch eine weitere Masseschleife	178
7.2.5	Maßnahmen bei ungünstiger Platzierung der Anschlüsse . .	179
7.2.6	Entwicklungsbegleitendes Testverfahren zur Prüfung des Massesystems	180
7.3	Strahlungskopplung bei ungünstiger Massestruktur	181
7.3.1	Teilmassen und Kabel als Antennenstrukturen	182
7.3.2	Strahlung von ICs durch Ground-Bounce	186
7.3.3	Strahlung von Schlitzantennen	190
7.4	Massestrukturen von Geräten	193
7.5	Masseschleifen und Kopplungen in einer Anlage	200
7.6	Verbindung von Baugruppen	202
7.6.1	Transferadmittanz und Transferimpedanz	202
7.6.2	Ein- oder beidseitiger Anschluss von Kabelschirmen	205
7.6.3	Anschluss von Kabeln	207
7.7	Zonen mit definiertem Massebezugspotential	211
7.8	Strukturierung der Masse digitaler Schaltungen	212
7.9	Zusammenfassung	214

8	Fallbeispiele	217
8.1	Das klassische Spannungsteiler-Problem	217
8.2	Stereoverstärker	220
8.3	Beispiele für Stromübertragung	224
8.4	Ein strahlendes Kabel	227
8.5	Messfehler bei elektronischen Messgeräten durch Masseströme.	228
8.6	Signalstruktur höchstempfindlicher analoger Messschaltungen	229
8.7	Störungen an einem Personal Computer	230
8.8	Ungünstige Massestruktur einer zugekauften Baugruppe	231
8.9	Brummstörungen an einer Telefonanlage	234
8.10	Verbindung von Analog- und Digitalmasse	236
8.11	Strukturierung einer Digitalschaltung mit einem schnellen Schaltungskern	237
8.12	Planung an einem Baugruppenträger	239
8.13	EMV-gerechte konstruktive Gerätegestaltung	242
8.14	Strahlung einer Baugruppe mit LCD-Display	243
8.15	Analyse von Schaltnetzteilen	244
8.15.1	Analyse eines Aufwärtswandlers	247
8.15.2	Analyse eines Abwärtswandlers	249
8.15.3	Analyse eines Flyback Reglers	250
8.16	Entstörung von IGBT-Umrichtern	252
8.16.1	Problemstellung	252
8.16.2	Analyse der Störungen	253
8.16.3	Lösungsansätze	254
8.16.4	Die Kommutierung und die kritische Masche	259
8.16.5	Integration von Umrichter-Leistungsteil und Motor	262
8.17	Zusammenfassung	263
9	Abschließende Betrachtungen	265
	Literaturverzeichnis	269
	Sachwortverzeichnis	273