

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung in die Elektromagnetische Verträglichkeit.....	1
1.1	Elektromagnetische Verträglichkeit, Elektromagnetische Beeinflussung	1
1.2	Störpegel – Störabstand – Grenzstörpegel – Stördämpfung	7
1.2.1	Logarithmierte bezogene Systemgrößen - Pegel	8
1.2.2	Störpegel und Störabstand	13
1.2.3	Statische und dynamische Störabstände digitaler Schaltkreise	16
1.2.4	Grenzstörpegel für Emissionen	20
1.2.5	Prüfpegel für Immissionen.....	23
1.2.6	Stördämpfung	24
1.3	Natur der elektromagnetischen Beeinflussungen und ihrer Übertragungswege	25
1.4	Gegentakt- und Gleichtaktstörungen	30
1.4.1	Unsymmetrische, symmetrische und asymmetrische Spannungen	31
1.4.2	Gegentaktstörungen.....	32
1.4.3	Gleichtaktstörungen.....	34
1.5	Erde und Masse.....	39
1.5.1	Erde	41
1.5.2	Masse.....	43
1.6	Beschreibung elektromagnetischer Beeinflussungen im Zeit- und Frequenzbereich	46
1.6.1	Darstellung periodischer Zeitbereichsfunktionen im Frequenzbereich durch eine Fourier-Reihe	46
1.6.2	Darstellung <i>nicht</i> periodischer Zeitbereichsfunktionen im Frequenzbereich – <i>Fourier-Integral</i>	52
1.6.3	EMV-Tafel.....	56
1.6.3.1	Übergang vom Zeitbereich in den Frequenzbereich	56
1.6.3.2	Rückkehr vom Frequenzbereich in den Zeitbereich.....	59
1.6.3.3	Berücksichtigung des Übertragungswegs.....	62
2	Störquellen.....	63
2.1	Klassifizierung von Störquellen	65
2.2	Schmalbandige Störquellen	67

2.2.1	Kommunikationssender.....	67
2.2.2	HF - Generatoren für Industrie, Forschung, Medizin und Haushalt.....	71
2.2.3	Funkempfänger – Bildschirmgeräte Rechnerysteme – Schaltnetzteile.....	73
2.2.4	Netzurückwirkungen.....	74
2.2.5	Beeinflussungen durch Starkstromleitungen.....	75
2.3	Intermittierende Breitbandstörquellen.....	76
2.3.1	Grundstörpegel in Städten.....	76
2.3.2	KFZ-Zündanlagen.....	76
2.3.3	Gasentladungslampen.....	78
2.3.4	Kommutatormotoren.....	79
2.3.5	Hochspannungsfreileitungen.....	80
2.4	Transiente Breitbandstörquellen.....	81
2.4.1	Elektrostatische Entladungen.....	81
2.4.2	Geschaltete Induktivitäten.....	85
2.4.3	Transienten in Niederspannungsnetzen.....	88
2.4.4	Transienten in Hochspannungsnetzen.....	88
2.4.5	Transienten in der Hochspannungsprüftechnik und Plasmaphysik.....	92
2.4.6	Blitze - LEMP.....	92
2.4.7	Nuklearer elektromagnetischer Puls - NEMP.....	93
2.5	Umgebungsklassen.....	95
2.5.1	Leitungsgebundene Störungen.....	95
2.5.2	Störstrahlung.....	97
3	Koppelmechanismen und Gegenmaßnahmen.....	99
3.1	Galvanische Kopplung.....	99
3.1.1	Galvanische Kopplung von Betriebsstromkreisen.....	100
3.1.2	Erdschleifen.....	105
3.1.3	Kopplungsimpedanz von Mess- und Signalleitungen.....	118
3.1.4	Rückwärtiger Überschlag.....	125
3.2	Kapazitive Kopplung.....	126
3.3	Induktive Kopplung.....	129
3.4	Elektromagnetische Leitungskopplung.....	134
3.4.1	Elektromagnetische Kopplung zweier Leitungen.....	135
3.4.2	Elektromagnetisch gekoppelte Mehrleitersysteme.....	138
3.5	Strahlungskopplung.....	142
3.5.1	Abstrahlung durch Gleichtaktströme.....	147
3.5.2	Abstrahlung durch Gegentaktströme.....	148
3.6	Erdung von Kabelschirmen.....	149
3.7	Identifikation von Kopplungsmechanismen.....	151
3.8	Beschreibung von Kopplungsmechanismen mit Hilfe numerischer Methoden.....	154

4	Passive Entstörkomponenten	157
4.1	Filter	157
4.1.1	Wirkungsprinzip – Filterdämpfung	157
4.1.2	Filter für Gleich- und Gegentaktstörungen	161
4.1.3	Filterresonanzen	163
4.1.4	Dissipative Dielektrika und Magnetika	165
4.1.5	Filterbauformen.....	168
	4.1.5.1 Kondensatoren	168
	4.1.5.2 Drosseln	170
	4.1.5.3 LC-Filter	173
4.2	Überspannungsableiter	177
4.2.1	Varistoren.....	178
4.2.2	Silizium-Lawinendioden.....	182
4.2.3	Funkenstrecken.....	183
4.2.4	Hybrid-Ableiterschaltungen	186
4.3	Optokoppler und Lichtleiterstrecken.....	188
4.4	Trenntransformatoren.....	190
5	Elektromagnetische Schirme.....	195
5.1	Natur der Schirmwirkung – Nahfeld, Fernfeld	195
5.2	Schirmung statischer Felder	205
5.2.1	Elektrostatische Felder.....	205
5.2.2	Magnetostatische Felder.....	206
5.3	Schirmung quasistatischer Felder.....	207
5.3.1	Elektrische Wechselfelder.....	207
5.3.2	Magnetische Wechselfelder	208
5.4	Schirmung elektromagnetischer Wellen	210
5.5	Schirmmaterialien.....	211
5.6	Schirmzubehör	214
5.6.1	Dichtungen für Schirmfugen und geschirmte Türen.....	214
5.6.2	Kamindurchführungen, Wabenkaminfenster, Lochbleche.....	218
5.6.3	Netzfilter und Erdung.....	220
5.7	Geschirmte Räume für messtechnische Anwendungen.....	222
5.7.1	Reflexionsarme Schirmräume – Absorberräume.....	223
5.7.2	Modenverwirbelungskammern	225
5.7.3	TEM-Messzellen	231
5.7.4	GTEM-Zellen	232
6	Theorie elektromagnetischer Schirme.....	235
6.1	Analytische Schirmberechnung	236
6.1.1	Theoretische Grundlagen.....	236
6.1.2	Zylinderschirm im longitudinalen Feld	239

6.1.3	Zylinderschirm im transversalen Feld	246
6.1.4	Zylinderschirm im elektromagnetischen Wellenfeld	253
6.1.5	Kugelschirm im elektromagnetischen Wellenfeld	262
6.2	Impedanzkonzept	264
6.2.1	Klassische Betrachtungsweise	264
6.2.1.1	Reflexionsdämpfung	266
6.2.1.2	Absorptionsdämpfung	269
6.2.1.3	Dämpfungskorrektur für multiple Reflexionen	270
6.2.2	Erweitertes Impedanzkonzept	271
6.2.3	Zusammenfassung des Impedanzkonzepts	278
7	EMV-Emissionsmesstechnik	281
7.1	Messung von Störspannungen und -strömen	282
7.2	Messung von Störfeldstärken	289
7.2.1	Antennen	289
7.2.1.1	E-Feld Antennen	289
7.2.1.2	Breitbandantennen	292
7.2.1.3	H-Feld Antennen	295
7.2.1.4	Schnüffellantennen	296
7.2.1.5	Feldsonden	297
7.2.1.6	Antennen-Symmetrierübertrager	297
7.2.2	Messgelände und Messplätze	299
7.3	Messung von Störleistungen	305
7.4	EMB-Messgeräte	306
7.4.1	Störmessempfänger	307
7.4.1.1	Spitzenwertanzeige	308
7.4.1.2	Quasi-Spitzenwertanzeige	309
7.4.1.3	Mittelwertanzeige	312
7.4.1.4	Effektivwertanzeige	313
7.4.1.5	Einfluss der Empfängerbandbreite auf die Anzeige von Schmal- und Breitbandstörungen	315
7.4.2	Spektrumanalysatoren	317
7.5	Messunsicherheit in der EMV	318
7.6	Automatisierte EMV-Messplätze	322
8	EMV-Störfestigkeitsprüftechnik	327
8.1	Simulation leitungsgebundener Störgrößen	328
8.1.1	Simulation von Niederfrequenzstörungen in Niederspannungsnetzen (ms-Impulse)	331
8.1.2	Simulation breitbandiger energiearmer Schaltspannungsstörungen (Burst)	332

8.1.3	Simulation breitbandiger energiereicher Überspannungen (Hybridgenerator)	335
8.1.4	Simulatoren für elektrostatische Entladungen (ESD)	341
8.1.5	Simulation schmalbandiger Störungen	345
8.1.6	Kommerzielle Geräte	346
8.2	Simulation quasistatischer Felder und elektromagnetischer Wellen	349
8.2.1	Simulation schmalbandiger Störfelder	349
8.2.1.1	Spezialantennen, offene und geschlossene Wellenleiter	351
8.2.1.2	Verstärker	356
8.2.2	Simulation breitbandiger elektromagnetischer Wellenfelder	357
8.2.3	Simulation quasistatischer Felder und elektromagnetischer Wellen durch Strominjektion	359
8.2.3.1	Strominjektionsprüfungen an Kabeln und Gehäuseschirmen	360
8.2.3.2	Prüfung der Störempfindlichkeit von Geräten durch Strominjektion in deren Kabelbäume	361
9	EMV-Entstörmittelmessungen	363
9.1	Schirmdämpfung von Kabelschirmen	363
9.1.1	Schirmdämpfung für quasistatische Magnetfelder (<i>Kopplungsimpedanz</i>)	363
9.1.2	Schirmdämpfung für quasistatische elektrische Felder (<i>Transfer- Admittanz</i>)	365
9.1.3	Schirmdämpfung für elektromagnetische Wellen (<i>Schirmungsmaß</i>)	366
9.2	Schirmdämpfung von Gerätegehäusen und Schirmräumen	367
9.3	Intrinsic-Schirmdämpfung von Schirmmaterialien	374
9.3.1	Koaxiale TEM-Messzelle mit durchgehendem Innenleiter	374
9.3.2	Koaxiale TEM-Messzelle mit gestoßenem Innenleiter	375
9.3.3	Doppel TEM-Messzelle	376
9.4	Schirmdämpfung von Dichtungen	378
9.5	Reflexionsdämpfung von Absorberwänden	380
9.6	Filterdämpfung	383
10	Repräsentative EMV-Probleme	387
10.1	Entstörung von Magnetspulen	387
10.1.1	Beschaltung gleichstrombetriebener Magnetspulen	388
10.1.2	Beschaltung wechselstrombetriebener Magnetspulen	389
10.2	Funkentstörung von Universalmotoren	390
10.3	Elektrostatische Entladungen	393
10.4	Netzzrückwirkungen	395
10.5	Blitzschutz – Blitzschutzzonen-Konzept	397
10.6	Pulse Power Technik – Hochspannungslaboratorien	406
10.7	Messungen mit Differenzverstärkern	413

10.8	EMV von komplexen Systemen	415
10.8.1	EMV-gerechter Schaltschrankbau in der Steuerungstechnik.....	416
10.8.2	Analyse von EMV-Problemen komplexer Systeme im Flugzeug.....	421
10.9	EMV in der Medizintechnik	423
10.10	Wirkung elektromagnetischer Felder auf Organismen	426
11	EMV gerechter Entwurf elektronischer Baugruppen.....	433
11.1	Leiterplattenwahl.....	433
11.2	Intrasystem-Beeinflussungen.....	438
11.2.1	Störsignalverkopplungen über gemeinsame Impedanzen.....	438
11.2.1.1	Ausführung der Stromversorgungsleitungen.....	438
11.2.1.2	Stützung der Versorgungsspannung.....	439
11.2.1.3	Gestaltung der Schaltungsmasse.....	442
11.2.2	Übersprechen zwischen parallelen Leiterbahnen	445
11.2.2.1	Nebensprechen und Gegensprechen	445
11.2.2.2	Allgemeine Maßnahmen zur Reduzierung des Übersprechens.....	448
11.2.3	Signalreflexionen auf langen Leitungen	450
11.2.3.1	Vermeidung von Reflexionen durch Leitungsführung.....	451
11.2.3.2	Anpassnetzwerke.....	454
11.3	Intersystem-Beeinflussung durch Störabstrahlung.....	456
11.3.1	Abstrahlung von Signalstromschleifen	456
11.3.2	Abstrahlungsprobleme bei hochintegrierten Schaltungen	458
11.3.3	Maßnahmen an Störquellen	461
12	EMV-Normung und CE-Konformität.....	465
12.1	Einführung in das EMV-Vorschriftenwesen.....	465
12.2	EMV-Normungsgremien.....	466
12.3	Normungsklassen	468
12.4	Rechtliche Grundlagen der EMV - Normung.....	471
12.5	Nachweis der Konformität mit dem EMV-Gesetz.....	475
12.6	Benannte Stellen.....	481
12.7	EMV - Normen	483
12.7.1	EMV - Normen nach Problemkreisen geordnet.....	484
12.7.2	EMV-Normen nach Europeanormen geordnet.....	496
12.8	Wichtige Anschriften	504
Literatur		507
Index		535