

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 Breitbandstörungen	76
2.3.1	Grundstörspegel 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 Breitbandstörungen	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	Umgebungsclassen.....	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 Überslag.....	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	Elektrostatistische Felder	205
5.2.2	Magnetostatistische 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	Schnüffelantennen	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	EMV-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 Störepfindlichkeit 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	Netzurückwirkungen.....	395
10.5	Blitzschutz – Blitzschutzonen-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 Europannormen geordnet.....	496
12.8	Wichtige Anschriften	504
Literatur	507
Index	535