

Inhaltsverzeichnis:

Adolf J. Schwab

Elektromagnetische Verträglichkeit

ISBN: 978-3-540-42004-0

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 Übertra- gungswege	25
1.4. Gegentakt- und Gleichtaktstörungen	30
1.5. Erde und Masse	30
1.5.1. Erde	39
1.5.2. Masse	41
1.6. Beschreibung elektromagnetischer Beeinflussungen im Zeit- und Fre- quenzbereich.....	44
1.6.1. Darstellung periodischer Zeitbereichsfunktionen im Frequenzbe- reich durch eine Fourier-Reihe	45
1.6.2. Darstellung <i>nicht</i> periodischer Zeitbereichsfunktionen im Frequenz- bereich – <i>Fourier-Integral</i>	51
1.6.3. EMV-Tafel.....	55
1.6.3.1. Übergang vom Zeitbereich in den Frequenzbereich.....	55
1.6.3.2. Rückkehr vom Frequenzbereich in den Zeitbereich	58
1.6.3.3. Berücksichtigung des Übertragungswegs	61
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 Haus- halt.....	71
2.2.3. Funkempfänger – Bildschirmgeräte – Rechnersysteme – Schalt- netzteile	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. Kopplungsmechanismen 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 Me- thoden	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	177
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	214
5.6.2. Kamindurchführungen, Wabenkaminfenster, Lochbleche	216
5.6.3. Netzfilter und Erdung	218
5.7. Geschirmte Räume für messtechnische Anwendungen	219
5.7.1. Reflexionsarme Schirmräume – Absorberräume	220
5.7.2. Modenverwirbelungskammern	222
5.7.3. TEM-Messzellen	228
5.7.4. GTEM-Zellen	229
6. Theorie elektromagnetischer Schirme	233
6.1. Analytische Schirmberechnung	234
6.1.1. Theoretische Grundlagen	234
6.1.2. Zylinderschirm im longitudinalen Feld	237
6.1.3. Zylinderschirm im transversalen Feld	244
6.1.4. Zylinderschirm im elektromagnetischen Wellenfeld	251
6.1.5. Kugelschirm im elektromagnetischen Wellenfeld	260
6.2. Impedanzkonzept	262
6.2.1. Klassische Betrachtungsweise	262
6.2.1.1. Reflexionsdämpfung	264
6.2.1.2. Absorptionsdämpfung	267
6.2.1.3. Dämpfungskorrektur für multiple Reflexionen	289
6.2.2. Erweitertes Impedanzkonzept	269
6.2.3. Zusammenfassung des Impedanzkonzepts	276
7. EMV-Emissionsmesstechnik	279
7.1. Messung von Störspannungen und –strömen	280
7.2. Messung von Störfeldstärken	287
7.2.1. Antennen	287
7.2.1.1. E-Feld Antennen	287
7.2.1.2. Breitbandantennen	290
7.2.1.3. H-Feld Antennen	293
7.2.1.4. Schnüffelantennen	294
7.2.1.5. Feldsonden	295
7.2.1.6. Antennen-Symmetrierübertrager	295
7.2.2. Messgelände und Messplätze	297
7.3. Messung von Störleistungen	303
7.4. EMB-Messgeräte	304
7.4.1. Störmessempfänger	305
7.4.1.1. Spitzenwertanzeige	306
7.4.1.2. Quasi-Spitzenwertanzeige	307
7.4.1.3. Mittelwertanzeige	310
7.4.1.4. Effektivwertanzeige	311
7.4.1.5. Einfluss der Empfängerbandbreite auf die Anzeige von Schmal- und Breitbandstörungen	313
7.4.2. Spektrumanalysatoren	315
7.5. Messunsicherheit in der EMV	316

7.6. Automatisierte EMV-Messplätze	320
8. EMV-Störfestigkeitsprüftechnik	323
8.1. Simulation leitungsgebundener Störgrößen	324
8.1.1. Simulation von Niederfrequenzstörungen in Nieder- spannungsnetzen (ms- Impulse)	327
8.1.2. Simulation breitbandiger energiearmer Schaltspannungsstörun- gen (Burst).....	328
8.1.3. Simulation breitbandiger energiereicher Überspannungen (Hyb- ridgenerator).....	331
8.1.4. Simulatoren für elektrostatische Entladungen (ESD).....	337
8.1.5. Simulation schmalbandiger Störungen	341
8.1.6. Kommerzielle Geräte	342
8.2. Simulation quasistatischer Felder und elektromagnetischer Wellen	345
8.2.1. Simulation schmalbandiger Störfelder	345
8.2.1.1. Spezialantennen, offene und geschlossene Wellenleiter	347
8.2.1.2. Verstärker.....	352
8.2.2. Simulation breitbandiger elektromagnetischer Wellenfelder	353
8.2.3. Simulation quasistatischer Felder und elektromagnetischer Wel- len durch Strominjektion	355
8.2.3.1. Strominjektionsprüfungen an Kabeln und Gehäuseschirmen	356
8.2.3.2. Prüfung der Störempfindlichkeit von Geräten durch Strom- injektion in deren Kabelbäume	357
9. EMV-Entstörmittelmessungen	359
9.1. Schirmdämpfung von Kabelschirmen.....	359
9.1.1. Schirmdämpfung für quasistatische Magnetfelder (Kopplungs- impedanz).....	359
9.1.2. Schirmdämpfung für quasistatische elektrische Felder (Transfer- Admittanz)	361
9.1.3. Schirmdämpfung für elektromagnetische Wellen (Schirmungs- maß).....	362
9.2. Schirmdämpfung von Gerätegehäusen und Schirmräumen	363
9.3. Intrinsic-Schirmdämpfung von Schirmmaterialien	370
9.3.1. Koaxiale TEM-Messzelle mit durchgehendem Innenleiter	370
9.3.2. Koaxiale TEM-Messzelle mit gestoßenem Innenleiter	371
9.3.3. Doppel TEM-Messzelle.....	372
9.4. Schirmdämpfung von Dichtungen	374
9.5. Reflexionsdämpfung von Absorberwänden.....	376
9.6. Filterdämpfung	379
10. Repräsentative EMV-Probleme	383
10.1. Entstörung von Magnetspulen	383
10.1.1. Beschaltung gleichstrombetriebener Magnetspulen	384
10.1.2. Beschaltung wechselstrombetriebener Magnetspulen.....	385
10.2. Funkentstörung von Universalmotoren	386
10.3. Elektrostatische Entladungen.....	389
10.4. Netzurückwirkungen.....	391
10.5. Blitzschutz – Blitzschutz-zonen-Konzept.....	393
10.6. Pulse Power Technik – Hochspannungslaboratorien.....	395
10.7. Messungen mit Differenzverstärkern.....	403
10.8. EMV gerechter Schaltschrankbau in der Automatisierungstechnik.....	405
10.9. EMV in der Medizintechnik.....	409

10.10. Wirkung elektromagnetischer Felder auf Organismen	412
10.11. Analyse von EMV-Problemen komplexer Systeme	418
11. EMV gerechter Entwurf elektronischer Baugruppen	421
11.1. Leiterplattenwahl	421
11.2. Intrasystem-Beeinflussungen	426
11.2.1. Störsignalverkopplungen über gemeinsame Impedanzen	426
11.2.1.1. Ausführung der Stromversorgungsleitungen	426
11.2.1.2. Stützung der Versorgungsspannung	427
11.2.1.3. Gestaltung der Schaltungsmasse	430
11.2.2. Übersprechen zwischen parallelen Leiterbahnen	433
11.2.2.1. Nebensprechen und Gegensprechen	433
11.2.2.2. Allgemeine Maßnahmen zur Reduzierung des Überspre-	
chens	436
11.2.3. Signalreflexionen auf langen Leitungen	438
11.2.3.1. Vermeidung von Reflexionen durch Leitungsführung	439
11.2.3.2. Anpassnetzwerke	442
11.3. Intersystem-Beeinflussungen durch Störabstrahlung	444
11.3.1. Abstrahlung von Signalstromschleifen	444
11.3.2. Abstrahlungsprobleme bei hochintegrierten Schaltungen	446
11.3.3. Maßnahmen an Störquellen	449
12. EMV-Normung	453
12.1. Einführung in das EMV- Vorschriftenwesen	453
12.2. EMV-Normungsgremien	454
12.3. Rechtliche Grundlagen der EMV-Normung	458
12.4. Nachweis der Konformität mit dem EMV-Gesetz	462
12.5. Benannte Stellen	468
12.6. EMV-Normen	470
12.6.1. EMV-Normen nach Problemkreisen geordnet	471
12.6.2. EMV-Normen nach Europeanormen geordnet	483
12.7. Wichtige Anschriften	492
Literatur	495
Index	521