

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 *nicht* periodischer Zeitbereichsfunktionen im Frequenzbereich – *Fourier-Integral* 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 Rechnersysteme – Schaltnetzteile..... | 73 |
| 2.2.4 | Netzzrückwirkungen..... | 74 |
| 2.2.5 | Beeinflussungen durch Starkstromleitungen..... | 75 |
| 2.3 | Intermittierende Breitbandstörungen..... | 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 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 | 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 Stömpfindlichkeit 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
(*Kopplungsimpedanz*) 363
 - 9.1.2 Schirmdämpfung für quasistatische elektrische Felder (*Transfer-
Admittanz*) 365
 - 9.1.3 Schirmdämpfung für elektromagnetische Wellen (*Schirmungsmaß*) 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 Netzrückwirkungen 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 Europannormen geordnet..... | 496 |
| 12.8 | Wichtige Anschriften | 504 |
| Literatur | | 507 |
| Index | | 535 |

Elektromagnetische Verträglichkeit

Schwab, A.J.; Kürner, W.

2011, XIII, 545 S. 300 Abb., Hardcover

ISBN: 978-3-642-16609-9