

Inhaltsverzeichnis

Teil I Grundlagen und Festlegungen

1	Grundlagen zur Messtechnik und Wellenausbreitung	3
1.1	Absolutpegel und Bezugsgrößen	3
1.2	RMS-Wert	5
1.3	Relativpegel	5
1.4	Signalüberlagerung und Einzelpegel	7
1.5	Pegel-Rechenbeispiele	8
1.5.1	Eingangsspannung für einen HF-Verstärker	9
1.5.2	Ausgangsleistung eines HF-Verstärkers	9
1.5.3	Pegelberechnung bei Signalüberlagerung	10
1.6	Feldstärke	10
1.7	Modulation	11
1.7.1	Amplituden-Modulation	11
1.7.2	Frequenz-Modulation	11
1.8	Pegelbewertung	14
1.8.1	Messempfänger – Aufbau und Wirkungsweise	14
1.8.2	Quasi-Spitzenwert	15
1.8.3	Mittelwert	16
1.8.4	CISPR-Mittelwert	16
1.8.5	Spitzenwert	17
1.8.6	Gegenüberstellung der Bewertungsfilter	17
1.8.7	Demodulation im Messempfänger	18
1.9	Wellenfortpflanzung	19
1.9.1	Nahfeld	20
1.9.2	Fernfeld	23
1.9.3	Wellenüberlagerung	24
1.9.4	Polarisation	24
1.9.5	Wellenausbreitung auf Leitungen	25
1.9.6	Wellenreflexion	28

1.9.7	Angepasste Leitung – Wellenwiderstand	30
1.9.8	Stehwellenverhältnis	33
1.9.9	Skin-Effekt	37
1.9.10	Verkürzungsfaktor	38
1.10	Kleine Praxistipps zum Umgang mit Messgeräten	38
1.10.1	Gebrauch eines Spektrum-Analyzers	39
1.10.2	Gebrauch eines Oszilloskops	41
1.10.3	Gebrauch eines Messempfängers	41
1.10.4	Gebrauch eines Stehwellen-Messgeräts	42
1.10.5	Überlastung von Messeingängen	42
	Literatur	43
2	Arten der Störfestigkeit	45
2.1	Schnelle Transienten (Burst)	45
2.1.1	Entstehung und Eigenschaften schneller Transienten	46
2.1.2	Einkopplung schneller Transienten	46
2.1.3	Auswirkungen schneller Transienten	48
2.2	Leitungsgeführte Störspannung	48
2.2.1	Entstehung und Eigenschaften von leitungsgeführter Störspannung	48
2.2.2	Einkopplung leitungsgeführter Störspannungen	49
2.2.3	Auswirkungen leitungsgeführter Störspannungen	50
2.3	HF-Störfeld	51
2.3.1	Entstehung und Eigenschaften des HF-Störfeldes	51
2.3.2	Einkopplung des HF-Störfeldes	52
2.3.3	Auswirkungen des HF-Störfeldes	53
2.4	Elektrostatische Entladung (ESD = Electrostatic Discharge)	53
2.4.1	Entstehung und Eigenschaften von ESD	54
2.4.2	Einkopplung des ESD	55
2.4.3	Auswirkungen von ESD	56
2.5	Stoßspannungen und Stoßströme	58
2.5.1	Entstehung und Eigenschaften des Surge	58
2.5.2	Einkopplung des Surge	59
2.5.3	Auswirkungen des Surge	60
2.6	Niederfrequente Magnetfelder	60
2.6.1	Entstehung und Eigenschaften von niederfrequenten Magnetfeldern	61
2.6.2	Einkopplung von Magnetfeldern	61
2.6.3	Auswirkungen von Magnetfeldern	63
2.7	Spannungseinbrüche	64
2.7.1	Entstehung und Eigenschaften von Spannungseinbrüchen	64
2.7.2	Auswirkungen von Spannungseinbrüchen	65

2.8	Allgemeines zur Störeinkopplung	65
2.8.1	Störeinkopplung über Versorgung	66
2.8.2	Störeinkopplung durch kapazitive Ableitung	66
2.8.3	Störeinkopplung über Leitungsfelder	67
	Literatur	67
3	Arten der Störaussendung	69
3.1	Leitungsgeführte Störspannung	69
3.1.1	Entstehung und Eigenschaften von Störspannungen	69
3.1.2	Auskopplung von Störspannungen	70
3.2	HF-Störfeld	70
3.2.1	Entstehung und Eigenschaften von HF-Feldern	70
3.2.2	Auskopplung von HF-Feldern	71
3.3	Eigenerzeugte Magnetfelder	71
3.4	Spannungsschwankungen – Rückwirkungen ins Netz	74
3.4.1	Einschaltströme bei Beleuchtungen	75
3.4.2	Einschaltströme bei induktiven Komponenten	76
3.4.3	Einschaltströme bei Motoren	77
3.4.4	Einschaltströme bei Schaltnetzteilen	78
3.4.5	Wechselbelastung durch Phasenanschnittschaltungen	79
3.4.6	Wechselbelastung durch Frequenzumrichter	81
	Literatur	81
4	Messungen zur Prüfung der Störfestigkeit	83
4.1	Ungünstigster Betriebsfall	83
4.2	Messungen zur Burst-Störfestigkeit	85
4.2.1	Burst-Equipment	85
4.2.2	Messaufbau zur Burst-Störfestigkeit	85
4.2.3	Durchführung der Messungen zur Burst-Störfestigkeit	88
4.3	Messungen zur Störspannungsfestigkeit	90
4.3.1	Equipment zur Messung der Störspannungsfestigkeit	91
4.3.2	Messaufbau zur Störspannungsfestigkeit	92
4.3.3	Weitere Anschlüsse und Zusatzgeräte des Prüflings	94
4.3.4	Durchführung der Messungen zur Störspannungsfestigkeit	95
4.4	Messungen zur Störstromfestigkeit	96
4.5	Messungen zur Störfeldfestigkeit	97
4.5.1	Equipment zur Messung der Störfeldfestigkeit	97
4.5.2	Messaufbau zur Störfeldfestigkeit	101
4.5.3	Durchführung der Messungen zur Störfeldfestigkeit	103
4.6	G-TEM-Zelle – Möglichkeiten und Grenzen	104
4.7	Messungen zu ESD	104
4.7.1	Equipment zur ESD-Messung	104
4.7.2	Messaufbau zur ESD-Messung	105
4.7.3	Durchführung der ESD-Messungen	106

4.8	Messungen zur Stoßspannung	107
4.8.1	Equipment zur Surge-Messung	108
4.8.2	Messaufbau zur Surge-Messung	108
4.8.3	Durchführung der Surge-Messungen	109
4.9	Messungen zu niederfrequenten Magnetfeldern	109
4.9.1	Equipment zur Messung mit niederfrequenten Magnetfeldern ...	109
4.9.2	Messaufbau zur Messung mit niederfrequenten Magnetfeldern ...	111
4.9.3	Durchführung der Messung mit niederfrequenten Magnetfeldern	111
5	Messungen zur Prüfung der Störaussendung	113
5.1	Messung leitungsgebundener Störaussendung	113
5.1.1	Equipment für die Messung leitungsgebundener Störaussendung	114
5.1.2	Messaufbau zur leitungsgebundenen Störaussendung	115
5.1.3	Durchführung der Messung zur leitungsgebundenen Störaussendung	116
5.2	Messung HF-Feld	117
5.2.1	Equipment zur Messung der Feldabstrahlung	117
5.2.2	Messaufbau zur Feldabstrahlung	117
5.2.3	Durchführung der Messung zur Feldabstrahlung	118
	Literatur	118
6	Messungen im Testhaus	119
6.1	Terminplanung und Dokumente für den Gang ins Testhaus	119
6.2	Wahl des Testhauses	120
6.3	Vorbereitungen	121
6.4	Eigenes Equipment für den Besuch im Testhaus	123
6.5	Reihenfolge der Tests – ein Zeitkriterium	123
6.6	Interpretation und Bewertung der Ergebnisse	124
6.7	Grenzwerte nicht eingehalten – was nun?	124
7	Dokumentation	127
7.1	Inhalt einer EMV-Dokumentation	127
7.2	Form der Dokumentation	128
7.3	Konformitätserklärung	129
7.4	Konformitätserklärung in englischer Sprache	129
7.5	EMV-Risikoanalyse und -bewertung	129
8	Normen und Rechtliches	133
8.1	Auswahl der Normen	133
8.2	Bewertungskriterien	134
8.2.1	Bewertungskriterium A	134
8.2.2	Bewertungskriterium B	135

8.2.3	Bewertungskriterium C	135
Teil II Praxis und Erfahrungsbasis		
9	Untersuchungen und Verbesserungen zur Störfestigkeit	139
9.1	Untersuchungen und Verbesserungen zur Burst-Störfestigkeit	139
9.1.1	Ausbreitung von Burst-Störungen	140
9.1.2	Gegenmaßnahmen bei Burst-Störungen	140
9.1.3	Schaltungskomponenten für die Burst-Störfestigkeit	142
9.2	Untersuchungen und Verbesserungen zur Störspannungsfestigkeit	142
9.2.1	Maßnahmen zur Verbesserung der Störspannungsfestigkeit	143
9.2.2	Identifizierung der Störwege	144
9.3	Untersuchungen und Verbesserungen zur Störfeldfestigkeit	145
9.3.1	Maßnahmen zur Verbesserung der Störfeldfestigkeit	145
9.4	Untersuchungen und Verbesserungen zur ESD-Störfestigkeit	147
9.4.1	Umleiten von ESD	147
9.4.2	Entschärfen durch Verzögerung von ESD	148
9.5	Untersuchungen und Verbesserungen zur Stoßspannungsfestigkeit	148
9.6	Untersuchungen zu niederfrequenten Magnetfeldern	149
9.7	Fallbeispiele	149
9.7.1	Burst und Funkenbildung	149
9.7.2	Burst und Kondensatorschluss	151
9.7.3	Störspannungsfestigkeit und Leitungsresonanz	151
9.7.4	Störspannungsfestigkeit und unerwünschte Demodulation	153
9.7.5	Störspannungsfestigkeit und schwebende Masse in Datenleitungen	155
9.7.6	Störfeldfestigkeit und nichtkonsistenter Leitungsschirm	157
9.7.7	Störungssymptomatik im unteren Frequenzbereich	159
9.8	Symptom-Chart (Differenzialdiagnostik nach Frequenzkriterien)	163
10	Untersuchungen und Verbesserungen zur Störaussendung	165
10.1	Untersuchungen und Verbesserungen zur leitungsgeführten Aussendung	165
10.2	Untersuchungen und Verbesserungen zur Feldaussendung	169
10.3	Fallbeispiele	169
10.3.1	Motorstörung	169
10.3.2	Störung bei der Gleichrichtung von Wechselspannungen	173
10.3.3	Leitungsgeführte Störaussendung bei Schaltnetzteilen	176
	Literatur	179
11	Eigene Tests ohne normgerechtes Equipment	181
11.1	Improvisierter Burst-Test	182
11.1.1	Mögliche Burst-Anordnung	182
11.1.2	Praxismessungen	183

11.2	Improvisierter Störspannungstest	185
11.2.1	Mögliche Anordnung zum Störspannungstest	186
11.2.2	Praxismessungen zum Störspannungstest	187
11.2.3	Störspannungstest mit Eigenbau-Generator	190
11.3	Improvisierter Störfeldtest	191
11.3.1	Mögliche Anordnung zum Störfeldtest	193
11.3.2	Praxismessungen zum Störfeldtest	193
11.4	Störspannungs-Emission mit einfachen Mitteln	194
11.5	Störfeld-Emission mit einfachen Mitteln	195
	Literatur	195
12	Entwicklungsbegleitendes Equipment	197
12.1	Immunität: Schnelle Transienten	197
12.2	Immunität: Leitungsgebundene Störspannung	198
12.3	Immunität: Elektrostatische Entladung (ESD)	199
12.4	Immunität: Einstrahlung	199
12.5	Immunität: Stoßspannung/Stoßstrom	202
12.6	Emission: Störspannung	202
12.7	Emission: Messempfänger oder Spektrumanalyzer	204
12.8	Zusätzliche Hilfsmittel	207
12.8.1	EMV-Tisch	207
12.8.2	Holzbrücke	208
12.8.3	Netzteil und Akkuversorgung	208
12.8.4	Trenntransformator	209
12.8.5	Multimeter	209
12.8.6	Datenlogger ADX-24	210
13	Designregeln	213
13.1	Allgemeines zur Anordnung von Schaltungsbereichen	213
13.1.1	Anordnung von Versorgungs-, Ein- und Ausgangsanschlüssen	213
13.1.2	Anordnung von Quarzen an Mikrocontrollern	214
13.2	Schutz- und Bypass-Elemente	216
13.2.1	Gegentakt-Schutz	216
13.2.2	Gleichtakt-Schutz	219
13.3	Masseführung	223
13.3.1	Sternförmige Masse	223
13.3.2	Masseflächen	226
13.3.3	Kapazität zwischen Leiterbahnen und Kupferflächen	229
13.3.4	Stützkondensatoren	230
13.4	Gehäuse-Anbindung und Erdung	232
13.4.1	Gehäuseanbindung für Kleinspannung	232
13.4.2	Gehäuseanbindung für größere Spannungen (Niederspannung)	233

13.5	Ein- und ausgehende Signalleitungen	234
13.5.1	Hochfrequente Datenleitungen	234
13.5.2	Empfindliche Datenleitungen	236
13.6	Schutz diskreter Halbleiter	237
13.6.1	Schutz von Sperrschicht-Transistoren	237
13.6.2	Schutz von MOS-Transistoren	238
13.6.3	Schutz von Leuchtdioden	238
13.7	Schirmung von Kabeln und Spalten	238
13.7.1	Betrachtungen zur Leitungsabschirmung	239
13.7.2	Materialien zum Abschirmen	240
	Literatur	240
14	Mikrocontroller-Steuerungen	241
14.1	Programmablauf und Verhinderung von Abstürzen	241
14.1.1	NOP im Programmcode	241
14.1.2	Watchdog setzen	243
14.1.3	Grundinitialisierung und Parametrierung	244
14.1.4	Routinen-Überwachung	244
14.1.5	Redundante A/D-Wandlung	245
14.2	Externe Schaltung	246
14.2.1	Port-Ausgänge	246
14.2.2	Port-Eingänge	247
14.2.3	Reset-Eingang und Interrupts	247
14.3	Programmierbare Flankensteilheit	248
15	Signalverarbeitung	251
15.1	Störungssichere Sensorspannungen	251
15.1.1	Filter-Verfahren	252
15.1.2	Modulations-Verfahren	254
15.1.3	Rauschimpuls-Verfahren	257
15.1.4	Lock-in-Verfahren	257
15.1.5	Sweep-Verfahren zur Immunitäts-Steigerung	258
15.1.6	Synchron-Gleichrichtung	259
15.1.7	Amplituden-Sampling-Verfahren	260
15.1.8	Koinzidenz-Vermeidung	261
15.2	Konzepte für Sensoren mit geringer Emission	262
15.2.1	Sweep-Methoden	262
15.2.2	Chopper-Methoden	264
15.2.3	Begrenzungsmethoden	264
15.3	Konzepte für Potenzialtrennung	266
15.3.1	Optische Trennung	267
15.3.2	Induktive Trennung	269
15.3.3	Akustische Trennung	270

15.3.4 Trennung durch HF-Übertragung	272
15.3.5 Trennung der Versorgung.....	273
Literatur.....	274
Anhang	275
Glossar	315
Stichwortverzeichnis	321