

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Zielstellung und Methodik der Arbeit	3
2	Bedrohung durch HPEM-Störsignale.....	5
2.1	Elektromagnetische Störpulse	5
2.2	Ermittlung von HPEM-Signalparametern	7
2.2.1	<i>Standardisierung</i>	7
2.2.2	<i>Zeitbereich</i>	8
2.2.3	<i>Frequenzbereich</i>	12
2.3	IEMI-Bedrohungspulsformen.....	15
2.3.1	<i>Definition von UWB-Pulsen</i>	15
2.3.2	<i>Definition von HPM-Pulsen</i>	17
2.3.3	<i>Definition von DS-Pulsen</i>	19
2.4	Bedrohungspotential durch IEMI.....	21
2.5	Stand der Forschung	22
3	Einkopplung von HPEM-Störsignalen in komplexe Systeme	25
3.1	Allgemeine Kopplungsmechanismen.....	25
3.2	Einkoppelvorgänge unter HPEM-Bedingungen in generische PCB-Strukturen	29
3.2.1	<i>Einkopplung von UWB-Pulsen</i>	29
3.2.2	<i>Einkopplung von HPM-Pulsen</i>	31
3.2.3	<i>Einkopplung von DS-Pulsen</i>	33
3.3	Störfestigkeitsuntersuchung eines IT-Testsystems.....	34
3.3.1	<i>Beschreibung des Testsystems</i>	34
3.3.2	<i>Charakterisierung der Störungen unter HPEM-Bedingungen</i>	35
3.3.3	<i>Messung von leitungsgebundenen Störsignalen</i>	39
3.4	Bestimmung von Transferfunktionen kritischer Koppelpfade	43
3.4.1	<i>Modellierung und Untersuchung der Kabelstrukturen</i>	43
3.4.2	<i>Modellierung und Untersuchung der Gehäusestruktur</i>	47
4	Generierung von HPEM-Signalen	53
4.1	Messaufbauten für UWB-Messungen	53

4.1.1	<i>UWB-Halbleiterpulsgeneratoren mit hoher Pulswiederholrate</i>	54
4.1.2	<i>UWB-Messaufbauten mit industriellen Quellen</i>	59
4.2	Messaufbau für HPM-Messungen.....	59
4.2.1	<i>Messaufbau in der HPM-Simulationsanlage</i>	60
4.2.2	<i>HPM-Signalerzeugung unter Laborbedingungen</i>	61
4.3	Messaufbau für DS-Messungen.....	64
4.3.1	<i>Messaufbau mit industrieller DS-Quelle</i>	64
4.3.2	<i>Verwendung von Parallelschwingkreisen</i>	65
4.3.3	<i>Verwendung definierter Einkoppelstrukturen</i>	66
4.4	Definition von Referenzpulsen.....	67
4.4.1	<i>Referenzpulse gleicher Pulsenergie</i>	68
4.4.2	<i>Referenzpulse mit maximaler Amplitude</i>	69
5	Schutzschaltungen gegen HPEM-Störsignale.....	71
5.1	Allgemeine Schutzelemente und Filterschaltungen.....	72
5.1.1	<i>Nichtlineare Schutzkomponenten</i>	72
5.1.2	<i>Lineare Filter</i>	75
5.1.3	<i>Aufbau und Einsatzbereich der untersuchten Schutzkomponenten</i>	77
5.2	Modellierung und Simulation von Schutzelementen.....	81
5.2.1	<i>Modellierung über Bauteilparameter-Messungen</i>	83
5.2.2	<i>Erweiterte Modellierung durch gewichtete S-Parameter</i>	86
5.2.3	<i>Verwendete SPICE-Modelle für die Simulation</i>	88
5.3	Transientes Ansprechverhalten nichtlinearer Elemente unter HPEM-Bedingungen.....	90
5.3.1	<i>Transientes Ansprechverhalten unter UWB-Bedingungen</i>	90
5.3.2	<i>Transientes Ansprechverhalten unter HPM-Bedingungen</i>	92
5.3.3	<i>Transientes Ansprechverhalten unter DS-Bedingungen</i>	96
5.3.4	<i>Einfluss extremer Pulsparameter</i>	97
5.3.5	<i>Bestimmung von Zerstörungsgrenzen</i>	100
5.4	HPEM-Störsignaldämpfung durch lineare Filter.....	101
5.4.1	<i>Bestimmung von Zerstörungsgrenzen</i>	102
5.5	Schutzwirkung von mehrstufigen Schutzschaltungen.....	103

5.6	Bewertung der Schutzschaltungen	106
6	Bewertung von HPEM-Schutzmaßnahmen auf Systemebene	109
6.1	Entwicklung eines HPEM-Systemschutzkonzeptes	109
6.1.1	<i>Einsatz von Ethernet-Schutzelementen</i>	110
6.1.2	<i>Entwicklung von erweiterten Netzfilterstrukturen</i>	114
6.1.3	<i>Maßnahmen für Gehäusestrukturen</i>	116
6.2	Wirkung der Schutzkomponenten auf Systemebene	118
6.2.1	<i>Schutz der Ethernet-Datenübertragung</i>	119
6.2.2	<i>Schutz der Spannungsversorgung</i>	124
6.2.3	<i>Schutz der Gehäusestruktur</i>	127
6.3	Fazit.....	130
7	Zusammenfassung.....	133
8	Literaturverzeichnis.....	137