

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung: Grundlagen der Schaltungstechnik für Kfz-Elektronik .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>Elektronische Systeme in Kraftfahrzeugen .....</b>	<b>19</b>
2.1	Elektronische Systeme im Motorraum .....	20
2.2	Elektronische Systeme innerhalb der Fahrgastzelle .....	20
2.3	Infotainment-Systeme .....	21
2.4	Fahrerassistenzsysteme .....	21
2.5	Weitere Systeme .....	22
2.6	Kommunikation mit externen Systemen außerhalb des Fahrzeuges (Telematik) .....	23
2.6.1	Telematik-Infotainment-/Büro-Bereich .....	24
2.6.2	Telematik-Navigationsbereich .....	25
2.6.3	Telematik-Fahrsituationsbereich .....	25
2.6.4	Telematik-Servicebereich .....	26
2.6.5	Telematik-Inkasso-Bereich .....	26
<b>3</b>	<b>Umgebungsanforderungen im Kraftfahrzeug und die Auswirkungen auf die Elektronik .....</b>	<b>28</b>
3.1	Allgemeine Bemerkungen .....	28
3.2	Definition von Umwelteinflüssen für Kraftfahrzeugelektronik .....	30
3.3	Elektrische Anforderungen, Lastsituationen .....	33
3.3.1	Allgemeines .....	34
3.3.2	Betrieb an einer Gleichspannung .....	35
3.3.3	Betrieb bei Überspannung .....	36
3.3.4	Start mit erhöhter Spannung (Jump Start, nur 12-V-Systeme) ..	37
3.3.5	Überlagerte Schwingung (Voltage Ripple Test, Bordnetzwelligkeits-Test) .....	37
3.3.6	Langsamer Spannungseinbruch bzw. Spannungsanstieg .....	38
3.3.7	Spannungseinbruch .....	39
3.3.8	Der RESET-Test .....	41
3.3.9	Verpolung .....	41
3.3.10	Offene Last .....	43
3.3.11	Kurzschluss .....	43

---

3.3.12	Lastprüfung .....	44
3.3.13	Schleichender Kurzschluss .....	45
<b>4</b>	<b>Elektromagnetische Verträglichkeit in der Kfz-Elektronik .....</b>	<b>46</b>
4.1	Allgemeines zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMC) .....	46
4.2	EMC-Anforderungen an die Kraftfahrzeugelektronik .....	49
4.2.1	Leitungsgebundene Störaussendung im Zeitbereich .....	50
4.2.1.1	Impuls 1: Abschalten einer Induktivität .....	51
4.2.1.2	Impuls 2: Abschalten eines Kollektormotors .....	52
4.2.1.3	Impuls 3: Allgemeine Schaltvorgänge .....	53
4.2.1.4	Impuls 4: Der Anlassvorgang .....	56
4.2.1.5	Impuls 5: Lastabwurf (Load-Dump) .....	57
4.2.2	Leitungsgebundene Störfestigkeit im Zeitbereich .....	59
4.2.3	Allgemeine Betrachtung für die Anforderungen im Frequenzbereich .....	60
4.2.4	Störaussendungen im Frequenzbereich .....	60
4.2.5	Störfestigkeit im Frequenzbereich .....	64
4.3	Elektrostatische Entladung (ESD) .....	65
4.4	EMC-Prüfeinrichtungen in der Kraftfahrzeugtechnik .....	68
4.4.1	Überprüfung leitungsgebundener Störimpulse im Zeitbereich .....	68
4.4.1.1	Leitungsgebundene Störaussendung .....	68
4.4.1.2	Störfestigkeit bei den Impulsen 1, 2, 4, 5 (Impulsgenerator) .....	69
4.4.1.3	Störfestigkeit bei den Impulsen 3a und 3b (Koppelzange) .....	69
4.4.2	ESD-Prüfeinrichtung .....	71
4.4.3	Überprüfung gestrahlter Störaussendungen/Störfestigkeit .....	71
4.4.3.1	TEM-Zelle (transversal-elektrromagnetische Welle) .....	72
4.4.3.2	Strip-Line .....	74
4.4.3.3	Absorberhalle/Absorberraum .....	75
4.4.4	Überprüfung leitungsgebundener Störabstrahlung/Störfestigkeit (Strom-Einkopplungszange) .....	78
4.5	Verhalten von Bauelementen unter EMC-Einfluss .....	79
4.5.1	Energiereiche Störimpulse auf Leitungen .....	79
4.5.2	Gestrahlte Störeinflüsse .....	81
4.6	Verbesserung des EMC-Verhaltens in einer Kfz-Elektronik .....	82
<b>4</b>	<b>Weitergehende Anforderungen an Kraftfahrzeugelektronik ...</b>	<b>85</b>
5.1	Mechanische Anforderungen .....	85
5.1.1	Mechanische Schwingung .....	86
5.1.2	Mechanischer Stoß .....	87
5.1.3	Freier Fall .....	87
5.2	Klimatische Anforderungen .....	88
5.2.1	Temperatur-Wechselprüfung .....	88
5.2.2	Temperatur-Schockprüfung .....	90

---

5.2.3	Klimaprüfung .....	91
5.2.4	Salznebel-Prüfung .....	92
5.2.5	Dichtigkeit gegen Wasser und Staub .....	93
5.3	Chemische Anforderungen .....	95

## 6 Grundlegende Methoden, Berechnungen und Sichtweisen für die Entwicklung von Kraftfahrzeugelektronik ..... 97

6.1	Entwicklungsphasen .....	97
6.2	Musterphasen .....	100
6.3	Schritte für die Entwicklung einer Kraftfahrzeugelektronik .....	101
6.3.1	Strukturierung nach der Top-Down-Methode .....	101
6.3.2	Schnittstellendefinition im Hardwarebereich .....	102
6.3.3	Entwicklung einer Schaltung .....	104
6.3.4	Anwendung von Simulationswerkzeugen .....	105
6.3.5	Worst-Case-Rechnung .....	106

## 7 Modularisierung und Realisation von Kraftfahrzeugelektronik 115

7.1	Grundsätzlicher Aufbau der Kraftfahrzeugelektronik .....	115
7.2	Stromversorgung .....	118
7.2.1	Standard-Spannungsregler .....	118
7.2.2	Ersatzschaltbild unter HF-Gesichtspunkten .....	119
7.2.3	Spannungsregler für den Kraftfahrzeugeinsatz .....	121
7.2.4	Beispiel einer kraftfahrzeugtauglichen Spannungsversorgung	122
7.3	Funktionserzeugung .....	125
7.3.1	Fest verdrahtete Logik (diskrete Hardware) .....	126
7.3.2	Verwendung eines applikationsspezifischen integrierten Schaltkreises (ASIC, integrierte Hardware) .....	127
7.3.3	Verwendung eines programmierbaren Steuerwerkes (Firmware) .....	128
7.3.4	Verwendung eines Mikrocontrollers (μC, Software) .....	130
7.4	Sensorik .....	130
7.4.1	Digitaler Eingang mit Verbindung zur Betriebsspannung .....	131
7.4.2	Digitaler Eingang ohne Verbindung zur Betriebsspannung .....	136
7.4.3	Analoger Eingang mit Verbindung zur Betriebsspannung .....	137
7.4.4	Analoger Eingang ohne Verbindung zur Betriebsspannung .....	139
7.5	Aktuatorik .....	142
7.5.1	Leistungsklassen .....	142
7.5.2	Realisation .....	142
7.5.3	Ansteuerung der Aktuatorik .....	143
7.5.4	Grundfunktionen .....	144
7.5.5	Analoge Leistungsregelung: Pulsweiten-Modulation (PWM) .....	145
7.5.6	Erzeugung der Diagnoseinformationen .....	150
7.5.7	Dynamische Abschaltvorgänge der Aktuatorik .....	154
7.5.8	Laststufen zur Ansteuerung der Aktuatorik: Low-Side-Schalter	158
7.5.8.1	Low-Side-Schalter mit Standard-MOS-Power-Transistor	158

7.5.8.2	Verbesserung des Kurzschluss- und Überlastverhaltens durch Verwendung eines selbstschützenden Transistors .....	159
7.5.8.3	Low-Side-Schalter mit einem Logic-Level-MOS-Power-Transistor .....	160
7.5.9	Laststufen zur Ansteuerung der Aktuatorik: High-Side-Schalter .....	162
7.5.9.1	Einführung .....	162
7.5.9.2	High-Side-Schalter unter Verwendung einer Ladungspumpe .....	164
7.5.9.3	High-Side-Schalter für den getakteten Betrieb (PWM) .....	167
7.5.9.4	Verwendung eines N-Kanal-CMOS-Power-Transistors mit integrierter Elektronik zur Ansteuerung .....	170
7.6	Kommunikation und Diagnose .....	172
7.7	Schnittstelle zur Anzeige .....	173
7.7.1	Ansteuerung einzelner Anzeigeelemente .....	173
7.7.2	Anschluss von Displays .....	175
<b>8</b>	<b>Mikrocontroller in der Kraftfahrzeugelektronik .....</b>	<b>177</b>
8.1	Mikrocontroller: Hardware .....	178
8.1.1	Grundstruktur eines Mikrocontrollers .....	178
8.1.2	Verwendung eines Mikrocontrollers (Prinzip) .....	180
8.1.3	Startphase eines Mikrocontrollers .....	182
8.2	Mikrocontroller: Grundlegende Überlegungen zur Software .....	184
8.2.1	Dynamische Softwaregrundstruktur .....	185
8.2.2	Erzeugung eines Watch-Dog-Signals .....	187
8.2.3	Verarbeitung digitaler Signale .....	190
8.2.4	Verarbeitung analoger Signale .....	193
8.2.5	Betriebssysteme für Mikrocontroller .....	195
8.2.6	Verarbeitung relativ langsamer Ereignisse .....	197
8.3	Entwicklungswerzeuge .....	198
8.3.1	Ausführungsformen eines Mikrocontrollers .....	198
8.3.2	Assembler/Compiler/IDE .....	200
8.3.3	Überprüfung eines Mikrocontroller-Programms durch Einsatz eines Softwaresimulators .....	203
8.3.4	In-Circuit-Emulator unter Verwendung des Original-Mikrocontrollers (In-Circuit-Debugger, (ICD)) .....	204
8.3.5	In-Circuit-Emulator (ICE) unter Verwendung eines Bond-Out-Chips .....	206
8.3.6	Kombinationsmethoden (Hardware in the Loop) .....	208
8.3.7	Prüfung von Softwarefunktionen .....	209
8.4	Einbindung eines Mikrocontrollers in eine EMC-kritische Umgebung ...	211
8.4.1	Hauptoszillatator .....	211
8.4.2	Versorgungsleitungen .....	213
8.4.3	Ein-/Ausgangsleitungen .....	214
8.4.4	Verwendung externer Speicher .....	214
8.4.5	Layout der Leiterkarte .....	215

---

<b>9</b>	<b>Diagnoseschnittstelle und Kommunikation in Fahrzeugen .....</b>	<b>218</b>
9.1	Diagnoseschnittstelle .....	220
9.1.1	K-(L)-Line .....	221
9.1.2	Diagnose-CAN .....	227
9.2	Kommunikation mit anderen Systemen innerhalb des Fahrzeuges .....	228
9.2.1	Controller Area Network (CAN) .....	229
9.2.2	Local Interconnect Network (LIN-Bus) .....	234
9.2.3	Zeitsynchrone Sicherheitskommunikation .....	235
9.2.3.1	FlexRay-Bus .....	236
9.2.3.2	Physikalische Bitübertragung beim FlexRay .....	239
9.3	Kommunikation im Entertainment-Bereich innerhalb des Fahrzeuges (MOST-Bus) .....	240
9.4	Zusammenfassung und Ausblick .....	242
9.4.1	Übersicht über die Bussysteme .....	243
9.4.2	Ausblick auf die Zukunft .....	243
<b>10</b>	<b>Spezialthemen der Kfz-Hardwareentwicklung .....</b>	<b>247</b>
10.1	Verpolschutz .....	247
10.1.1	Die Verpolschutzdiode .....	247
10.1.2	Verpolschutz durch Abschmelzen einer Sicherung .....	248
10.1.3	Inverser Betrieb eines N-Kanal-MOS-Power-Transistors .....	250
10.1.4	Verpolung bei einem N-Kanal-MOS-Power-Transistor .....	252
10.1.5	Verpolschutz durch einen invers betriebenen N-Kanal-MOS-Power-Transistor .....	255
10.1.6	Verpolschutzelais .....	258
10.2	Grundsätzlicher Einfluss der nicht elektrischen Umgebungsbedingungen auf die Elektronik .....	261
10.2.1	Temperatur .....	261
10.2.2	Feuchtigkeit und Staub .....	264
10.2.3	Mechanische Einflüsse .....	265
10.3	End-of-Line (EOL)-Programmierung .....	265
10.3.1	Verschiedene Abgleichverfahren .....	266
10.3.1.1	Abgleich durch Verwendung eines Potentiometers .....	266
10.3.1.2	Abgleich durch eine Auswahlkette .....	266
10.3.1.3	Abgleich auf voll elektronischem Wege unter Verwendung des Mikrocontrollers .....	267
10.3.2	Prinzip der End-of-Line-Programmierung .....	267
10.3.3	Beispiel für den Abgleich eines analogen Einganges eines Mikrocontrollers .....	267
10.3.4	Korrektur des Temperaturverhaltens einer Kraftfahrzeugelektronik .....	271
10.4	Informationsgehalte der Datenblätter elektronischer Bauelemente .....	272
10.4.1	Deckblatt .....	272
10.4.2	Typenaufschlüsselung .....	272
10.4.3	Elektrische Daten .....	272

10.4.4	Mechanische Daten .....	272
10.4.5	Statistische Angaben .....	273
10.4.6	Logistik .....	273
10.4.7	Absolute Maximal-Werte (Absolut Maximum Ratings) .....	273
10.4.8	Elektrische Eigenschaften (Electrical Characteristics) .....	273
10.5	Einige statistische Begriffe .....	275
10.5.1	Maßzahlen .....	275
10.5.2	Ausfallraten über die Lebensdauer eines elektronischen Systems .....	277
10.6	Serienbegleitende Prüfungen .....	278
10.6.1	Die Eingangsinspektion .....	278
10.6.2	In-Circuit-Test (ICT) .....	278
10.6.3	Endkontrolle bzw. Endprüfung .....	279
10.6.4	Stichprobe .....	279
10.6.5	Run-In .....	280
10.6.6	Burn-In .....	280
10.6.7	Serienbegleitende Requalifikation .....	281
<b>11</b>	<b>Tabellen und Übersichten .....</b>	<b>282</b>
11.1	Beispielhafter Entwicklungsablaufplan für eine Komponente (Kraftfahrzeugelektronik) .....	282
11.2	Musterphasen (Beispiel) .....	284
11.3	IP-Code-Bestandteile nach DIN 40050-9 .....	286
11.4	Widerstandsreihen .....	288
11.5	Wichtige Klemmenbezeichnungen .....	290
11.6	Elektronische Bauteileabkürzungen .....	293
11.7	ISO 7637, Schärfegrade, Übersicht .....	294
11.8	Tabelle der ASCII-Codierung .....	295
<b>■</b>	<b>Verwendete Fachbegriffe .....</b>	<b>296</b>
<b>■</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>300</b>
<b>■</b>	<b>Index .....</b>	<b>305</b>