

Inhalt

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung: Grundlagen der Schaltungstechnik für Kfz-Elektronik | 15 |
| 2 | Elektronische Systeme in Kraftfahrzeugen | 19 |
| 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 |
| 3 | Umgebungsanforderungen im Kraftfahrzeug und die Auswirkungen auf die Elektronik | 28 |
| 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 |

Elektromagnetische Verträglichkeit in der Kfz-Elektronik 46

| | | |
|---------|--|----|
| 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-elektromagnetische Welle) | 72 |
| 4.4.3.2 | Strip-Line | 74 |
| 4.4.3.3 | Absorberhalle/Absorberraum | 75 |
| 4.4.4 | Überprüfung leitungsgebundener Störabstrahlung/Störfestigkeit (Strom-Einkopplungszone) | 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 |

Weitergehende Anforderungen an Kraftfahrzeugelektronik ... 85

| | | |
|-------|---------------------------------|----|
| 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 (μ C, 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 |

8 Mikrocontroller in der Kraftfahrzeugelektronik 177

| | | |
|-------|---|-----|
| 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 | Entwicklungswerkzeuge | 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 | Hauptoszillator | 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 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 9 | Diagnoseschnittstelle und Kommunikation in Fahrzeugen | 218 |
| 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 |
| 10 | Spezialthemen der Kfz-Hardwareentwicklung | 247 |
| 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 | Verpolschutzrelais | 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 |

11 Tabellen und Übersichten 282

| | | |
|------|---|-----|
| 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 |

Verwendete Fachbegriffe 296

Literatur 300

Index 305