

HANSER



Leseprobe

zu

„Grundlagen der Kraftfahrzeugelektronik“

von Manfred Krüger

Print-ISBN 978-3-446-46320-2

E-Book-ISBN 978-3-446-46361-5

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-46320-2>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Vorwort

Die Kraftfahrzeugindustrie ist heute einer der zentralen Industriezweige in Europa und der Welt. Dabei handelt es sich nicht nur um die Fahrzeughersteller, sondern auch im verstärkten Maße um die Zulieferindustrie, da die Fertigungstiefe der Fahrzeughersteller ständig abnimmt und wichtige zentrale Entwicklungsaufgaben zunehmend in die Zuliefebene verlagert werden.

Ein weiterer Aspekt ist die Zunahme der Elektronikanteile in modernen Kraftfahrzeugen. Allgemein anerkannt ist folgende Aussage:

90% der Innovationen in Kraftfahrzeugen werden heute von oder mit der Elektronik realisiert.

Das heißt, fast alle verbauten Systeme sind elektronisch gesteuert. Nur so lassen sich heute und in Zukunft die Anforderungen an die Sicherheit, die Umweltbelastung, die Funktionalität und den Komfort neuer Fahrzeuggenerationen erfüllen.

Einem normalen Fahrzeugnutzer ist im Allgemeinen nicht bewusst, dass er beim Führen seines Fahrzeugs bereits heute von einer Vielzahl von Computern unterstützt wird, die zum größten Teil untereinander vernetzt sind und ihn in den verschiedensten Fahrsituationen mit Informationen versorgen, komplizierte Bedienungen erleichtern bzw. ganz abnehmen und in einer Krisensituation für die Sicherheit der Fahrzeuginsassen sorgen.

Diese Tendenz zu mehr Elektronik ist ungebrochen und wird in Zukunft einen weit höheren Wertanteil in einem Fahrzeug darstellen.

Daraus ergibt sich für die Fahrzeugindustrie ein immer größer werdendes Problem: für die Entwicklung höchst komplexer Fahrzeugsysteme entsprechend ausgebildete Ingenieure zu finden.

Die Zielgruppen, für die dieses Buch interessant ist, sind nicht nur die Studentinnen und Studenten der Fachgebiete Fahrzeug- und Verkehrstechnik mit Schwerpunkt Fahrzeugelektronik an den Hochschulen, sondern durchaus auch bereits ausgebildete Ingenieure.

Meine eigene Arbeit in der Fahrzeugindustrie hat gezeigt, dass es eine lange (und für die Firma teure) Zeit dauern kann, bis ein Ingenieur, der seine Ausbildung gerade beendet hat, bzw. ein Ingenieur aus anderen Berufsfeldern die speziellen hardware- und softwaretechnischen Besonderheiten in der Kraftfahrzeugelektronik sicher beherrscht, so dass er eigenverantwortlich in einem Entwicklungsprojekt wichtige Entscheidungen treffen und sie dann auch für eine Großserienfertigung zielgerichtet umsetzen kann.

Speziell die Probleme auf dem Hardwaregebiet werden von Neueinsteigern oft unterschätzt. Daher wird in diesem Buch der Schwerpunkt auf die Hardware gelegt und in einfacher und anschaulicher Form versucht, die Probleme bei der Integration einer Elektronik

in ein Kraftfahrzeug darzustellen und die dabei auftretenden Besonderheiten genauer zu erläutern und mit Beispielen anzureichern.

Allgemeine elektrotechnische Grundlagen und der Umgang mit Bauelementen werden dabei als bekannt vorausgesetzt.

Nach einer allgemeinen Einführung werden zuerst einige Fahrzeugsteuerungen beispielhaft erwähnt, um die heute bereits vorliegende Vielfalt der verschiedenen elektronisch gesteuerten Systeme in Kraftfahrzeugen zu verdeutlichen.

Danach folgt ein Kapitel, das sich mit den Umweltaforderungen für Fahrzeugelektronik näher befasst. Schwerpunkt dabei sind die elektrischen Anforderungen, ergänzt durch die mechanischen, thermischen und chemischen Anforderungen. Dazu gehört auch die elektromagnetische Verträglichkeit (EMC).

Es werden dann einige grundlegende Methoden zur Erstellung einer Elektronik für Kraftfahrzeuge mit einigen kleinen Beispielen beschrieben. Dabei wird auf die in den vorherigen Kapiteln eingeführten Fachbegriffe und Sachverhalte zurückgegriffen.

Einen Schwerpunkt bildet die Hardwareentwicklung von Kraftfahrzeugelektronik inkl. der Integration von Mikrocontrollern in Steuergeräte.

Zum Abschluss werden in einem Spezialkapitel einige besondere Aspekte beschrieben, die in der täglichen Entwicklungsarbeit immer wieder zu Problemen führen können.

Ein kleines Tabellenwerk mit den am häufigsten während einer Entwicklung benötigten Informationen schließt sich an.

Diese Informationen stellen den theoretischen Unterbau dar, mit dessen Wissen es möglich ist, die einzelnen Strukturelemente einer Kraftfahrzeugelektronik im Einzelnen zu verstehen bzw. deren Notwendigkeit nachzuvollziehen. Damit ist dem Entwicklungsingenieur eine Grundlage an die Hand gegeben, mit der er sowohl als Einsteiger als auch als fortgeschrittener Entwickler für Kraftfahrzeugelektronik die wichtigsten Daten und Fakten griffbereit vorliegen hat.

Dabei kann es sich natürlich nur um eine Momentaufnahme handeln, da gerade in der Kraftfahrzeugelektronik ständig neue Entwicklungen stattfinden und neue elektronische Bauteile ihren Einzug halten, die in der Praxis meist ihre jeweiligen Eigenheiten produzieren.

Bei Beachtung der grundsätzlichen Prinzipien, wie sie in diesem Buch beschrieben werden, kann jedoch eine erhebliche qualitative Verbesserung der Entwicklertätigkeit in der Praxis erreicht werden.

Danken möchte ich der Fa. Hella KGaA Hueck & Co., Lippstadt, für die Unterstützung bei der Bereitstellung der in diesem Buche vorhandenen Fotografien.

Vorwort zur vierten Auflage

Die weitere Entwicklung der Elektronik innerhalb der Kraftfahrzeuge schreitet schnell voran. Die inzwischen in den Vordergrund gerückten Themen sind unter anderem:

Elektromobilität, autonomes Fahren, Hybridisierung, Internetvernetzung und Sicherheit gegenüber kriminellen Angriffen von außen auf die Fahrzeuge.

Das wird in kurzer Zeit dazu führen, dass immer mehr Wertschöpfung bei den Fahrzeugen von der reinen Mechanik und klassischen Elektronik hin zur Entwicklung von Software verlagert wird. Tendenzen zeigen, dass in näherer Zukunft bis zu 80 % der Fahrzeugentwicklung aus Softwarearbeiten bestehen wird.

Das korrekte Funktionieren eines Fahrzeuges setzt in diesem Zusammenhang voraus, dass die verbaute Hardware, auf der die Software laufen muss, auch sicher und über lange Zeiträume fehlerfrei funktioniert. Außerdem darf sie nicht durch kriminelle Hardwareeingriffe manipulierbar sein.

Als Ergebnis aus den bisher gemachten Darstellungen ist festzustellen, dass es auch in Zukunft strenge Anforderungen an die elektronische Hardware (Steuergeräte und zentrale Domain-Controller) innerhalb eines Fahrzeuges geben wird, schon in Hinblick auf das autonome Fahren. Dort sind mit Sicherheit keinerlei Fehlfunktionen zu akzeptieren.

Die in diesem Buch aufgezeigten Maßnahmen zur Verbesserung der funktionalen Sicherheit einer Fahrzeugelektronik im Hardwarebereich gelten also auch weiterhin, wenn nicht sogar noch verschärft.

Die Einführung der 48-V-Spannungsebene im Hybridbereich der Fahrzeuge und die Einführung der Kommunikation mittels Ethernet im Fahrzeug sind neu aufgenommene Themen.

Dortmund, im Januar 2020

Prof. Dr.-Ing. Manfred Krüger

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	24
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	35
3.3.4	Start mit erhöhter Spannung (Jump Start, nur 12-V-Systeme) ...	36
3.3.5	Überlagerte Schwingung (Voltage Ripple Test, Bordnetzwelligkeits-Test)	36
3.3.6	Langsamer Spannungseinbruch bzw. Spannungsanstieg	38
3.3.7	Schneller Spannungseinbruch	38
3.3.8	Der RESET-Test	40
3.3.9	Verpolung	41
3.3.10	Offene Last	42
3.3.11	Kurzschluss	43

3.3.12	Lastprüfung	43
3.3.13	Schleichender Kurzschluss	45
3.4	Das 48-Volt-Bordnetz	45
4	Elektromagnetische Verträglichkeit in der Kfz-Elektronik	48
4.1	Allgemeines zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMC)	48
4.2	EMC-Anforderungen an die Kraftfahrzeugelektronik	51
4.2.1	Leitungsgebundene Störaussendung im Zeitbereich	52
4.2.1.1	Impuls 1: Abschalten einer Induktivität	53
4.2.1.2	Impuls 2: Abschalten eines Kollektormotors	54
4.2.1.3	Impuls 3: Allgemeine Schaltvorgänge	55
4.2.1.4	Impuls 4: Der Anlassvorgang	58
4.2.1.5	Impuls 5: Lastabwurf (Load-Dump)	59
4.2.2	Leitungsgebundene Störfestigkeit im Zeitbereich	61
4.2.3	Allgemeine Betrachtung für die Anforderungen im Frequenzbereich	62
4.2.4	Störaussendungen im Frequenzbereich	62
4.2.5	Störfestigkeit im Frequenzbereich	66
4.3	Elektrostatische Entladung (ESD)	67
4.4	EMC-Prüfeinrichtungen in der Kraftfahrzeugtechnik	70
4.4.1	Überprüfung leitungsgebundener Störimpulse im Zeitbereich ..	70
4.4.1.1	Leitungsgebundene Störaussendung	70
4.4.1.2	Störfestigkeit bei den Impulsen 1, 2, 4, 5 (Impulsgenerator)	71
4.4.1.3	Störfestigkeit bei den Impulsen 3a und 3b (Koppelzange)	71
4.4.2	ESD-Prüfeinrichtung	73
4.4.3	Überprüfung gestrahlter Störaussendungen/Störfestigkeit	73
4.4.3.1	TEM-Zelle (transversal-elektromagnetische Welle)	74
4.4.3.2	Strip-Line	76
4.4.3.3	Absorberhalle/Absorberraum	77
4.4.4	Überprüfung leitungsgebundener Störabstrahlung/ Störfestigkeit (Strom-Einkopplungszange)	79
4.5	Verhalten von Bauelementen unter EMC-Einfluss	81
4.5.1	Energiereiche Störimpulse auf Leitungen	81
4.5.2	Gestrahlte Störeinflüsse	83
4.6	Verbesserung des EMC-Verhaltens in einer Kfz-Elektronik	84
5	Weitergehende Anforderungen an Kraftfahrzeugelektronik ...	87
5.1	Mechanische Anforderungen	87
5.1.1	Mechanische Schwingung	88
5.1.2	Mechanischer Stoß	89
5.1.3	Freier Fall	89
5.2	Klimatische Anforderungen	90
5.2.1	Temperatur-Wechselprüfung	90

5.2.2	Temperatur-Schockprüfung	92
5.2.3	Klimaprüfung	93
5.2.4	Salznebel-Prüfung	94
5.2.5	Dichtigkeit gegen Wasser und Staub	95
5.3	Chemische Anforderungen	97

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 (14-Volt-Bordnetz)	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 Überlast- verhaltens durch Verwendung eines selbst- schützenden 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 Ethernet im Fahrzeug 242
 9.5 Zusammenfassung und Ausblick 246
 9.5.1 Übersicht über die Kommunikationsformen 246
 9.5.2 Ausblick auf die Zukunft 247

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

1

Einleitung: Grundlagen der Schaltungstechnik für Kfz-Elektronik

Vergleicht man die Anforderungen an moderne Kraftfahrzeuge mit denen vor 15 oder 20 Jahren, so ist festzustellen, dass sich neben der reinen technischen Verbesserung des Systems Kraftfahrzeug auch der Stellenwert des Fahrzeuges innerhalb der modernen Gesellschaft drastisch verändert hat. Die individuelle Mobilität der Menschen in den hoch industrialisierten Ländern, speziell außerhalb der Ballungsgebiete, wird heutzutage als ein Grundrecht betrachtet und auch so ausgeführt.

Dabei wird vorausgesetzt, dass das Transportmedium (z. B. das Auto) zu jeder Zeit und unter jeder Umgebungsbedingung perfekt funktioniert und eine lange Lebensdauer ohne Störungen aufweist. Hinzu kommt, dass durch die aktuellen Diskussionen innerhalb der Gesellschaft und auf der politischen Ebene ständig neue Anforderungen an moderne Kraftfahrzeugsysteme formuliert werden, die dann innerhalb weniger Jahre als Standard in die Fahrzeuge Einzug halten.

Es ist festzustellen, dass der größte Anteil dieser neuen Forderungen in Systemveränderungen resultiert, die ohne den Einsatz modernster Elektronik nicht mehr zu realisieren wären. Die wichtigsten Schwerpunkte dieser Veränderungen sind:

- ständig neue und verschärfte Abgasrichtlinien
- ständige Verringerung des Kraftstoffverbrauchs pro gefahrener Strecke
- Verschärfung der Sicherheitsanforderungen für die Fahrzeuginsassen im Falle eines Unfalls
- Sicherheit in der Bedienung des Fahrzeuges
- aktive Unterstützung des Fahrers im normalen Fahrbetrieb durch moderne Systeme, die in das Fahrverhalten des Fahrzeuges eingreifen, wie z. B. elektronische Stabilitätssysteme usw.
- erhöhte Anforderungen an den Fahrkomfort (wie z. B. Klima- oder Navigationssystem).

Durch die Verschärfung des Konkurrenzdrucks zwischen den Fahrzeugherstellern oder den Zulieferern im Zuge der Globalisierungsprozesse müssen die o. g. Eigenschaften bei immer geringeren Kosten bereitgestellt werden können.

Als Folge davon werden ständig neue Systeme entwickelt und bereits vorhandene Systeme überarbeitet. Diese Überarbeitungen haben folgende Ziele:

- Verbesserung der Zuverlässigkeit
- Verbesserung des Bedienkomforts
- Erhöhung der Sicherheit
- Verkleinerung der mechanischen Abmessungen
- Verringerung des Gewichtes
- kostengünstigere Produktion im Allgemeinen (Bauteile, Prozess usw.)
- Nachentwicklung von vorhandenen Systemen bei Bauteileabkündigungen.

Dieses gesamte Problemfeld kann jetzt und in Zukunft nur dadurch erfolgreich bearbeitet werden, dass die Entwicklungsaufwendungen innerhalb der Entwicklungsabteilungen der Fahrzeughersteller oder Fahrzeugzulieferindustrie ständig verstärkt werden.

Das ununterbrochene rasante Anwachsen des Fachwissens auf diesem Gebiet kann nur durch eine ständige Weiterbildung der Entwicklungsingenieure beherrscht werden.

Im folgenden Kapitel soll nach einer allgemeinen Betrachtung konkret darauf eingegangen werden, welche Besonderheiten elektronische bzw. elektromechanische Systeme in Kraftfahrzeugen aufweisen.

Die meisten elektronischen Systeme in Fahrzeugen sind verdeckt verbaut, das bedeutet, der Fahrzeugnutzer merkt das Vorhandensein eines speziellen Systems erst, wenn dieses ihm eine Nachricht schickt bzw. eine gewünschte Funktion durchführt.

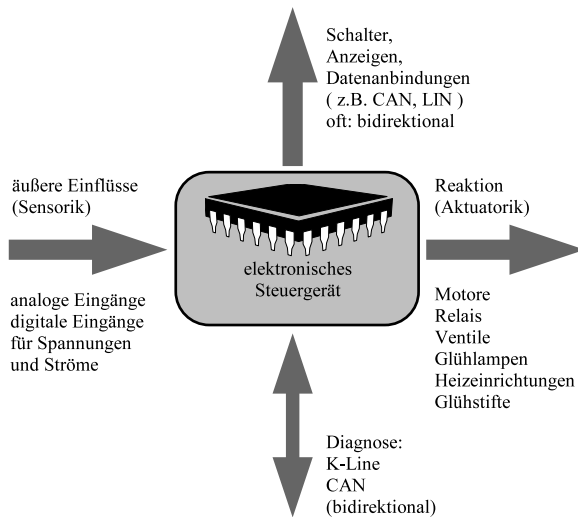


Bild 1.1 Interaktion eines elektronischen Steuergeräts in Kraftfahrzeugen

Natürlich gibt es auch Systeme, die direkt mit dem Fahrer interagieren (wie z. B. Schalter und Anzeigenmodule). Ganz allgemein betrachtet beinhalten fast alle elektronischen Systeme in Kraftfahrzeugen prinzipiell vier Schnittstellengruppen:

- äußere Einflüsse (Sensorik)
- Reaktionen auf diese Einflüsse (Aktuatorik)
- Kommunikation mit anderen Systemen oder mit dem Bediener
- Diagnoseinformationen.

Das komplette System besteht also auf der einen Seite aus mechanischen Elementen, wie z.B. speziell verbauten Sensoren oder auch Antriebsmotoren, auf der anderen Seite aus einem Steuergerät, das die Bereitstellung der geforderten Funktionalität durchführt.

Diese äußere Struktur kann nun heruntergebrochen werden auf die innere Struktur eines Steuergerätes, man erhält so eine ganz grobe Strukturierung der Hardware in einzelne Funktionsblöcke:

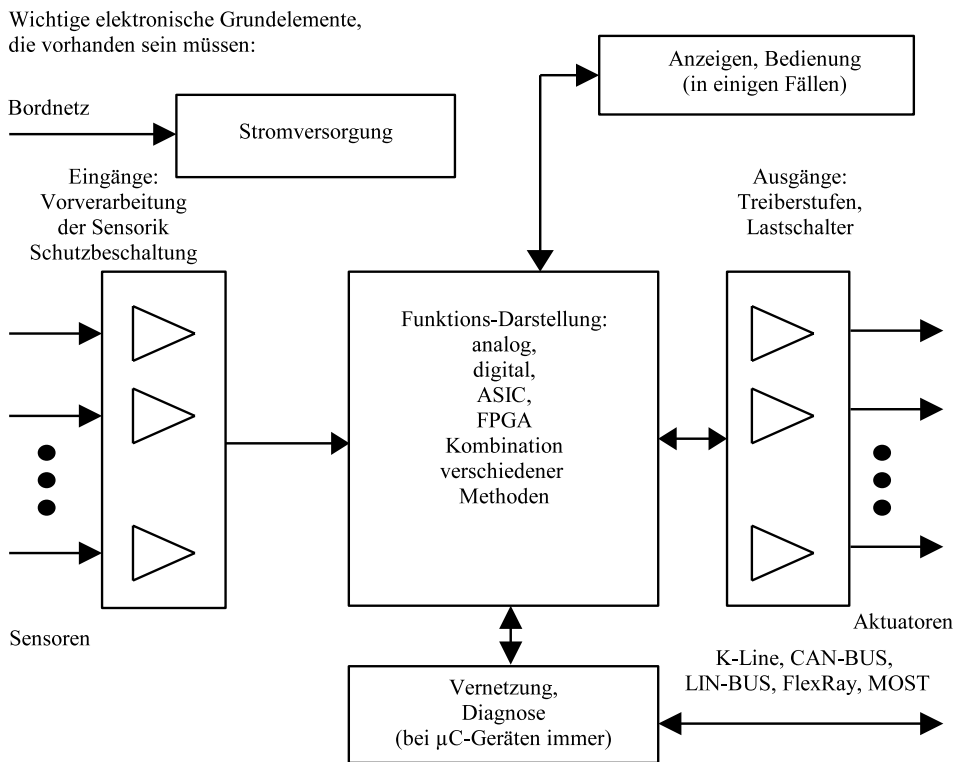


Bild 1.2 Grundelemente einer Kraftfahrzeugelektronik

- Stromversorgung
- Zentraleinheit (Darstellung der eigentlichen Funktionalität, analog oder digital)
- Eingänge (Verarbeitung der Sensorik, Schalter, Vorverstärkung von Signalen usw.)

- Ausgänge (Ansteuerung der Aktuatorik unterschiedlichster Art mit unterschiedlichen Strömen)
- Schnittstelleninterface (externe Diagnose oder Kommunikation mit anderen Systemen)
- Schnittstelle zur Anzeige und ggf. zum Fahrer.

Im folgenden Kapitel wird auch beispielhaft dargestellt, welche elektronischen Systemgruppen derzeit in modernen Kraftfahrzeugen verbaut werden und aus welchen Einzelsystemen sie bestehen.

Bevor in Kapitel 7 im Einzelnen auf die Besonderheiten bei der Realisation (Entwicklung) einer derartigen Elektronik eingegangen wird, werden zunächst die Umweltauforderungen an Fahrzeugelektronik beschrieben, die meist einen erheblichen Einfluss auf das zu wählende Realisationsprinzip haben und oft zunächst einfach aussehende Teilprobleme erheblich komplizieren können.

2

Elektronische Systeme in Kraftfahrzeugen

Der Einsatz von Elektronik in Kraftfahrzeugen hat in den letzten Jahren stark zugenommen und wird auch zukünftig noch weiter steigen. Eine der Hauptmotivationen besteht darin, dass es in der heutigen Zeit erforderlich ist, Elektronik einzusetzen, um technologische Verbesserungen durchzuführen bzw. neue innovative Systeme überhaupt erst möglich zu machen. Fast alle Funktionalitäten innerhalb eines modernen Kraftfahrzeuges werden daher von oder mit Elektronik realisiert.

Auf Grund der Tatsache, dass eine Vielzahl von elektronischen Systemen auch zu einer Vielzahl von elektrischen Anschlussleitungen führt, hat sich in den letzten Jahren die Notwendigkeit ergeben, derartige Systeme miteinander zu vernetzen. Nur so ist es prinzipiell möglich, eine umfangreiche Funktionalität darzustellen, ohne dass das als Verbindungselement dienende Bordnetz extrem große Ausmaße annimmt (Anzahl der Leitungen innerhalb der Kabelstränge).

Wie in Abschnitt 7.6.2 noch näher beschrieben wird, existieren derzeit für derartige Vernetzungen unterschiedliche Bussysteme. Als Beispiel seien hier genannt: der sog. CAN-Bus, der LIN-Bus oder auch der MOST-Bus.

Die Bus-Typen zur Vernetzung von elektronischen Systemen in Kraftfahrzeugen verwendet man als Strukturierungsmerkmal für die Kraftfahrzeugelektronik. Als Hauptgruppen ergeben sich daraus:

- elektronische Systeme im Motorraum
- elektronische Systeme innerhalb der Fahrgastzelle
- Infotainment-Systeme
- Systeme zur drahtlosen Kommunikation mit anderen Fahrzeugen oder Kommunikationsstellen außerhalb des Fahrzeuges (Telematik).

In den folgenden Abschnitten werden nun einige Beispiele aufgeführt, die entsprechenden Systemgruppen zuzuordnen sind. Dabei werden die Systeme nur genannt, ohne sie genau technisch zu beschreiben. Das würde den Umfang dieses Buches sprengen und ist auch nicht das Ziel.

■ 2.1 Elektronische Systeme im Motorraum

Die Vernetzung geschieht oft unter Verwendung eines CAN-Bus mit hoher Datengeschwindigkeit (des sog. High-Speed-CAN-Bus). Zukünftig werden auch schnelle Hochsicherheitsbusse (FlexRay, TTP) eingesetzt.

Beispiele:

- Motorelektronik
- Getriebesteuerung
- Leuchtweitenregulierung
- elektrisch unterstützte Lenkung
- Standheizung
- adaptive Fahrwerksregelung
- Anti-Blockier-System
- elektronisches Stabilitäts-Modul
- Antriebsschlupfregelung
- elektronisches Zündschloss
- Kombiinstrument
- Airbag-Steuerung
- elektronischer Bremsassistent.

■ 2.2 Elektronische Systeme innerhalb der Fahrgastzelle

Bei der Vernetzung dieser Systeme wird ebenfalls oft ein CAN-Bus verwendet, jedoch mit einer geringeren Datenübertragungsrate (der sog. Low-Speed-CAN-Bus).

Beispiele:

- zentrales Diagnose-Gateway
- Kombiinstrument
- Dachmodul
- Wischersteuerung vorn und hinten
- Einparkhilfe
- Zentralelektronik mit Steuerung der gesamten Front- und Heckbeleuchtung, Energiemanagement, Steuerung der Heizeinrichtungen für Heckscheibe, Spiegel und Waschdüsen, Erfassung sämtlicher Schalter

- programmierbare Sitzverstellung für Fahrer und Beifahrersitz
- Keyless-Go- bzw. Keyless-Entry-Systeme
- Sitzheizung für Fahrer- bzw. Beifahrersitz
- Sitzbelegungserkennung
- Steuerung der Innenbeleuchtung
- Steuerung der Armaturenbrettbeleuchtung
- Klimaregelung mit Klappenverstellung inkl. Umluftklappe, Gebläsesteuerung, diverse Temperatur-Sensoren
- Türsteuergeräte jeweils für vorn-links, vorn-rechts, hinten-links und hinten-rechts und Heckklappe mit Fensterheber, Türschlossbedienung, Spiegelverstellung, verschiedenen Bedienfelder, Funkfernbedienung für die Türen, Lampenausfallkontrolle.

■ 2.3 Infotainment-Systeme

Die Verbindung dieser Systeme untereinander geschieht heute noch unter Verwendung verschiedener Bussysteme wie z. B. eines CAN- oder auch eines MOST-Bus.

Beispiele:

- Radioanlage mit Verstärker und Lautsprecher
- Telefonanlage
- Navigationssystem
- CD-Wechsler
- Fernsehempfänger (TV-Tuner)
- Sprachbedienung
- Bildschirmsteuerung.

■ 2.4 Fahrerassistenzsysteme

Innerhalb der letzten Jahre sind eine Vielzahl von neuen Systemen in der Serie eingeführt worden oder befinden sich noch in der Entwicklungsphase, die das Umfeld des Fahrzeuges erfassen und überwachen können. Somit ist es möglich, den Fahrer zu unterstützen.

Die Anzahl dieser Systeme wird in Zukunft noch weiter zunehmen, hier nun einige Systeme (beispielhaft):

- automatisches Einparken, längs und quer
- kameragesteuerte Ausleuchtung des Fahrzeugvorfeldes
- Fahrsituationserkennung

- Erkennung von Verkehrsschildern mit Fahreingriff
- Radarerfassung des Fahrbereiches vor dem Fahrzeug
- automatischer Spurwechselassistent
- Erfassung des „toten Winkels“
- Radar-Rundumerkennung von Hindernissen oder anderen Verkehrsteilnehmern
- Erkennung der Ermüdung des Fahrers (ggf. mit Kamera)
- automatisches Abstandsradar mit Notbremsfunktion bis zum Stillstand
- autonomes Fahren
- autonomes Überholen
- Zugriff auf das Internet (Cloud-Zugriff).

■ 2.5 Weitere Systeme

Beispiele:

- Frontscheibenheizung
- Steuerung der Katalysatorvorwärmung
- elektrische Zusatzheizung
- Reifendruckerkennung
- adaptive Frontbeleuchtung
- Bremsbelag-Sensorik
- adaptive Geschwindigkeitsregelung (ACC)
- elektronisches Gaspedal (E-Gas)
- adaptives Bremslicht.

Wie bereits angedeutet, kann es sich bei dieser groben Übersicht nur um einige Beispiele handeln, die in verschiedenen Fahrzeugen je nach Ausstattung heutzutage verbaut werden.

Die genaue Strukturierung dieser Systeme untereinander ist naturgemäß von Fahrzeugtyp zu Fahrzeugtyp und auch zwischen den Fahrzeugen verschiedener Fahrzeughersteller höchst unterschiedlich.

Die hier beschriebene Struktur wird sich zukünftig stark weiterentwickeln. Das bedeutet, dass noch viele neue elektronische Systeme in die Kraftfahrzeuge hinein eingebaut werden, die auch zu völlig neuen Systemstrukturen führen.

Ein möglicher Trend wird sein, elektronische Steuergeräte bzw. heute noch zum Teil diskret realisierte Steuerungen zusammenzufassen, die sich örtlich innerhalb eines Fahr-

zeuges in der Nähe befinden, um so höher integrierte und von der Funktionalität her leistungsfähigere Zentralsysteme zu erhalten.

Es ist bei einigen Fahrzeugen bereits üblich, verschiedene sog. Zentralelektronik-Module zu verwenden, die eine Vielzahl von einzelnen Funktionen zusammenfassen. Man erhält so z. B.:

- eine Zentralelektronik für den Frontbereich,
- eine für den Heckbereich und
- eine für den Motorbereich.

Diese Überlegungen gehen teilweise sogar so weit, zukünftig innerhalb eines Fahrzeuges elektronisch gesehen nur noch relativ einfache Steuerungen für die Aktuatorik vorzusehen und die gesamte Funktionalität an einer Stelle in einem sehr leistungsfähigen Zentralrechner zusammenzufassen, um Kostenvorteile zu erhalten. Man würde so eine völlig zentrale Systemarchitektur erhalten.

Welche Entwicklung sich durchsetzen wird, ist derzeit noch nicht abzusehen. Dennoch ist bereits heute festzustellen: Während die elektronischen Systeme einer dezentralen Struktur im Fehlerfall noch einen sog. Notlauf ermöglichen, wäre bei einer vollkommen zentralen Architektur beim Ausfall des Zentralrechners sofort und unmittelbar das gesamte Fahrzeug betroffen und wahrscheinlich auch nicht mehr funktionsfähig. Diese beiden Betrachtungsweisen werden in absehbarer Zeit noch zu erheblichen Diskussionen innerhalb der Fachwelt führen.

■ 2.6 Kommunikation mit externen Systemen außerhalb des Fahrzeuges (Telematik)

Die Telematik ist ein vergleichsweise noch recht junges technisches Gebiet innerhalb der Kraftfahrzeugumgebung. Es geht dabei in erster Linie um eine Datenübertragung von und zu externen Fahrzeugsystemen. Dazu kann man auch die Systeme aus dem Infotainment-Bereich zählen, die ihre Information ebenfalls drahtlos erhalten, wie z. B. die Radioanlage.

Auch hier gibt es verschiedene Ansätze, die zum einen Teil heute schon realisiert sind, zum anderen Teil jedoch Perspektiven darstellen:

- Internet-Kommunikation aus dem Fahrzeug heraus, über D/E-Netz, Telefonverbindungen, UMTS oder LTE
- Fernsehempfang im Fahrzeug
- Übertragung von Telemetrie-Daten (Maut-Gebühren)
- Empfang von Navigationsdaten (GPS, Global-Positioning-System)
- Empfang von selektiv ausgewählten Verkehrsnachrichten in Verbindung mit der aktuellen Position und dem Fahrziel des Fahrzeuges
- Übertragung von Zustandsdaten verschiedener Fahrzeugsysteme, um Diagnose- oder Serviceaktivitäten vorzubereiten oder zu diagnostizieren.

Einige weitergehende Möglichkeiten werden sich erst mittelfristig durchsetzen, da sich mit deren Einführung Fragen auf dem rechtlichen Gebiet und unter Datenschutzaspekten auftun, die derzeit noch nicht geklärt sind.

Die Notwendigkeit für deren Einführung ergibt sich nach heutigem Wissensstand daraus, dass bei zunehmender Verkehrsdichte in Zukunft die Anzahl der schweren Unfälle mit Personenschäden nur noch durch vermehrten Einsatz von Systemen erreicht werden kann, die kritische Fahrsituationen vorausschauend erkennen und ggf. sogar Zwangseingriffe im eigenen Fahrzeug einleiten.

Eine Lösung wäre die Kommunikation mit anderen Fahrzeugen in mittelbarer bzw. unmittelbarer Nähe zum eigenen Fahrzeug (Austausch von Fahrdaten bzw. Fahrzeugzuständen).

Beispiel:

Plötzliches Bremsen eines Fahrzeuges in einer Kolonne mit unmittelbarer Übertragung dieser Funktion auf alle nachfolgenden Fahrzeuge, um dort ebenfalls eine Zwangsbremmung auszulösen.

Analoge Funktionen sind auch bei einer Beschleunigung denkbar. Die Konsequenz für den Fahrzeugführer wäre, dass er gegebenenfalls akzeptieren muss, dass sein Fahrzeug Aktionen einleitet, die er so nicht veranlasst hat und die ihn unter Umständen überraschend treffen.

Das Gebiet der Telematik stellt sich also als ein sehr umfangreiches und komplexes Themenfeld dar, das zur besseren Übersichtlichkeit hier in fünf Bereiche aufgeteilt werden soll.

2.6.1 Telematik-Infotainment-/Büro-Bereich

Obwohl einige dieser technischen Möglichkeiten bereits seit langer Zeit in Fahrzeugen zu finden sind (z. B. Radio), ist davon auszugehen, dass zukünftig dieser Bereich stark ausgeweitet wird. Die sich dabei auftuenden neuen Aspekte sind neben Grundfunktionalitäten die Bedienbarkeit komplexer Systeme im Fahrzeug, ggf. sogar vom Fahrer während der Fahrt:

- Rundfunkempfang
- Telefon (D-/E-Netz oder UMTS)
- Internetanbindung
- TV-Empfang (terrestrisch oder über Satellit).

Dazu sind neuartige Verfahren notwendig, wie z. B. Head-up-Display, Spracheingabe oder die berührungslose Bedienung durch einen Fingerzeig.

2.6.2 Telematik-Navigationsbereich

Um den zukünftigen Verkehr überhaupt noch tragen zu können, ist eine gleichmäßigere Auslastung der Straßen erforderlich, die nur durch weitergehende technische Einrichtungen ermöglicht werden kann. Dazu gehört eine Verknüpfung der aktuellen Position eines

Fahrzeuges mit seinem Fahrziel unter Einbindung der Verkehrssituation in unmittelbarer und mittelbarer Umgebung.

Nur so können Verkehrsströme bei hohem Verkehrsaufkommen intelligent um aktuelle Unfallsituationen oder andere Störungen (Baustellen usw.) herumgeleitet werden, ohne dass es zu den heute üblichen Staus kommt.

Neben der so möglichen Entlastung der Straßen und der Reduktion von Unfällen ist hier auch unbedingt der positive Umweltaspekt zu betrachten, da jeder verhinderte Stau den Treibstoffverbrauch der gesamten Fahrzeugflotte verringert.

Eine technologische Ausweitung in diese Richtung ist zwar heute schon in der Diskussion und auch an einigen Stellen in der Forschung und Vorerprobung, jedoch ist der Weg bis zu einem stabil und zielführend arbeitenden Gesamtsystem, das europaweit zuverlässig funktioniert, noch weit.

Beispiele:

- adaptive GPS-Navigation
- ständiges Update der Karten-Daten
- Verarbeitung von Situationsdaten
- neuartige Mensch-Fahrzeug-Interfaces (z. B. Head-up-Displays).

2.6.3 Telematik-Fahrsituationsbereich

Gemeint ist hier der Austausch von Daten zwischen den Fahrzeugen oder auch von und zu Feststationen, um rechtzeitig auf kritische Situationen reagieren zu können, wie bereits oben erwähnt.

Heute stellt eine fahruntypische Situation, wie z. B. die Vollbremsung eines Verkehrsteilnehmers, eine Gefahr für die sich in der Nähe befindlichen anderen Fahrzeuge dar. Es ist denkbar, dass sich die Situation durch Austausch verschiedener Fahrsituationsdaten entschärfen lässt.

Diese Kommunikation muss allerdings einhergehen mit der Möglichkeit, in den benachbarten Fahrzeugen Aktionen automatisch auszulösen (z. B. Bremsen), die den Fahrer überraschend treffen können. Derartige Dinge erfordern noch eine eingehende gesellschaftliche Diskussion:

- Vollbremsung eines vorausfahrenden Fahrzeuges
- Warnung vor einem Falschfahrer
- Situation des Gegenverkehrs für Überholvorgänge
- Warnung vor Pannenfahrzeugen
- auftretende Sichtbehinderungen
- Glatteis/Regen.

Index

Symbole

3B2T-Codierung 243
4B3B-Codierung 243
12-V-Bordnetz 35
24-V-Bordnetz 35
48-V-Bordnetz 45

A

Abgasentsorgung 78
Abgasrichtlinien 15
Abgleichverfahren 266
Abmessung 16
absolute Maximalwerte 273
Absorberhalle 66 f., 75 ff.
Absorberraum 67, 75 ff.
ACC 22
adaptive Fahrwerksregelung 20
Airbag-Steuerung 20
Akkumulator 28
Aktuator 44, 142, 254 f.
Aktuatorik 17
allgemeine Testbedingungen 34
A-Muster 100, 283 f.
analoge Ports 180
analoger Eingang 137
analoge Signale 193
Anforderungen 98
– an die Klimabeständigkeit 29
– chemische 29
– mechanische 29
Anforderungen, klimatische 90
Anforderungen, mechanische 87
Angaben, statistische 273
Angaben, typische 274
Anlassvorgang 58
Antenne 83
Anti-Blockier-System 20
Antriebsschlupfregelung 20
Arbitrierung 236
Armaturenbrettbeleuchtung 21
ASIC 118, 127, 132, 282
Assembler 177, 184, 200
Assembler-Befehle 188
asynchrone serielle Schnittstelle 221
Aufgabenklärung 282

Ausgang 18, 116
Ausgangsstrom 43
Auswahlkette 266

B

Backbone 248
Badewannenkurve 277
Bandbreite 63
Basis-Emitter-Strecke 82
Batterie 36, 48
Bauelemente-Charge 274
Bauteilefreigabe 86
Bauteilenummer 116
Bauteileplatzierung 216
Bauteilertoleranz 103
BCI 66 f., 79
Bedienkomforts 16
Bedienung 15
Begriffe, statistische 275
Beispiel Lastprüfung 44
Betaung 264
Betrieb DC 35
Betrieb, inverser 250, 252
Betriebssystem 195
Betriebszustände 34
Betrieb Überspannung 35
Bibliotheksfunktion 201
bidirektional 258
Bildschirmsteuerung 21
binäres Lademodul 201
Bipolar-Transistor 263
Blinkcode 221
Blockierung 44
Blocknummer 116
Blockschaltbild 104, 282
B-Muster 100, 283, 285
Bond-Out-Chip 206
Boost-Funktion 46
BOOT-Loader-Programm 199
Boot-Strap-Schaltung 167, 169
Bordnetz 19, 28, 51
Bordnetzstruktur 46
Break-Point 204 f., 207
breitbandig 62
Breitbandstörer 64

Bremsassistent, elektronischer 20
 Bremsbelag 22
 Bremslicht 22
 Burn-In 280, 284
 Bus-Anbindung 68
 Bus-Guardian 238
 Bussystem 19, 218

C

CAN-Bus 19, 227, 229, 235
 CAN-High 231
 CAN-Leitungstreiber 233
 CAN-Low 231
 C-Code 209
 C-Compiler 188, 201 f., 209
 CD-Wechsler 21
 chemische Anforderungen 29
 CLASS A 34
 CLASS B 34
 CLASS C 34
 CLASS D 34
 CLASS E 34
 CMOS 132
 CMOS-Lastschalter 148
 CMOS-Power-IC 170
 CMOS-Schutzbeschaltung 133
 C-Muster 100, 284 f.
 Code, mnemonischer 200
 Collector-Emitter-Strecke 82
 Colpitts-Oszillator 182
 Compiler 200
 CPU 179
 Current-Injection 135, 139

D

Dachmodul 20
 Dampfstrahl 96
 Datenblatt 106, 272
 Daten, elektrische 272
 Daten, mechanische 272
 Datenübertragung, digitale 49
 Datumsstempel 279
 Dauerkorrosion 265
 DC/DC-Wandler 46
 Debugging 203
 Deckblatt 272
 Designphase 99
 Diagnose 172
 Diagnose-CAN 227
 Diagnose-Gateway 226
 Diagnose-Gateway, zentrales 20
 Diagnoseinformation 17, 150
 Diagnoseprotokoll 225
 Diagnoseschnittstelle 218, 220

Diagnosestecker 224 f.
 Dichtigkeit 95, 265
 Dielektrikum 216
 digitale Datenübertragung 49
 digitale Ports 180
 digitaler Eingang 131, 136
 digitale Signale 190
 Diode 82, 117, 262
 diskretes Spektrum 62
 Display 173
 D-Muster 101, 285
 Dokumentation 99
 Domänenstruktur 248
 DPM 275
 Drain-Gate-Strecke 161
 Drain-Source-Strecke 82
 Drehteller 77
 dynamisch 186
 dynamischer RESET 121
 dynamischer Schaltvorgang 154

E

Echtzeit 204, 207 f.
 EEPROM 179, 199, 204, 267
 EEPROM-Mikrocontroller 199
 E-Gas 22
 Eigenleitfähigkeit 263
 Eigenresonanz 89
 Eigenschaften, elektrische 273
 Einflüsse, mechanische 265
 Eingang 17, 115
 Eingang, analoger 137
 Eingang, digitaler 131, 136
 Einparkhilfe 20
 Einzelimpulse 51
 Electromagnetic Compatibility 33
 elektrische

- Anforderungen 33
- Daten 272
- Eigenschaften 273
- Flankenwechsel 189
- Umwelteinflüsse 29

 elektrisch unterstützte Lenkung 20
 Elektrolyt-Kondensator 38, 82, 265
 elektromagnetisches Feld 50
 elektromagnetisches Umfeld 49
 elektromagnetische Verträglichkeit 33, 48
 elektromechanisch 260
 Elektronen-Leitung 163
 elektronischer Bremsassistent 20
 elektronisches

- Stabilitäts-Modul 20
- Steuergerät 50
- Zündschloss 20

 Elektrostatische Entladung 67

Elemente, parasitäres 216
EMC 33, 48, 52, 120, 123f., 130, 148, 178, 185,
211, 281f., 285
EMC-Einfluss 81
EMC-Prüfeinrichtungen 70
EMC-Themengebiete 50
EMC-Verhalten 86
Emulatorkopf 207
End-of-Line 32, 265, 267, 279
Endprüfung 267, 279
Entertainment-Bereich 240
Entflechtung 216
Entprellung 156
Entstörbauteil 216
Entwicklungs-Ablaufplan 99
Entwicklungsfehler 258, 273
Entwicklungsphase 97, 283
Entwicklungsrechner 202
Entwicklungssystem 199
Entwicklungswerkzeuge 198, 206
EOL-Programmierung 269
EPROM 199, 204, 267
EPROM-Mikrocontroller 199
Erprobungsphase 283
Ersatzschaltbild 119
Ersatzspannungsquelle 141
ESD 67, 85, 132
- Entladung 83
- Prüfeinrichtung 73
- Prüfung 68f.
- Schädigung 68
Ethernet 242
externer Hardware-Watch-Dog 184

F

Fahrkomfort 15
Fahrstreckenerfassung 26
Fahrtwind 77
Fahrwerksregelung, adaptive 20
Fahrzeugkabine 29
Fall, freier 88f.
Fehlermeldung 42
Fehlerspeicher 42
Feld, elektromagnetisches 50
Fensterheber 21
Fertigungs-Charge 279
Fertigungseinrichtung 284
Fertigungsmaterial 284
Fertigungstiefe 5
fest verdrahtete Logik 126
Feuchtigkeit 264
Filter 74
Firmware 128
FIT 275
Flankenwechsel, elektrische 189

FLASH 204, 267
FLASH-Mikrocontroller 199
FlexRay-Bus 236
Fließkomma-Arithmetik 269
F-Muster 101, 285
Freigabeuntersuchung 275
Freilaufdiode 254
Frequenz-Jitter 213
Frontbeleuchtung 22
Frontscheibenheizung 22
Frühausfälle 277
Funkfernbedienung 21
Funkgerät 50
Funktionsblock 17, 115
Funktionszeugung 125
Funktions-Lastenheft 98
Funktionsstörung 62
Funktionszustände 34

G

galvanisch 49, 258
Generator 28, 36, 48, 54, 73
Geschwindigkeitsregelung 22
gestrahlte
- Störaussendung 51
- Störeinflüsse 83
- Störfestigkeit 51
getaktete Regelung 49
Getriebesteuerung 20
Gewicht 16
gewichtet 193
gleichgewichtet 193
Gleichrichter 252
Gleichrichterdioden 41
Glühlampe 50
GPS-Navigation 25
GPS-System 26
Grenzwertkurve 65
Großverbraucher 36

H

Halbleiterbauteil 86
Hardware 102
Hardware in the Loop 208f.
Hardware-Schaltungs-Review 283
Hardwareschnittstelle 102
Hardware-Watch-Dog, externer 184
Hardware-Watch-Dog-Signalerzeugung 189
Hausnorm 31
Head-Up-Display 25
High-Level-Debugging 204, 207
High-Side-Schalter 144, 162, 252, 260
High-Speed-CAN 231
Hochlast-Zener-Diode 248

I

ICT 278, 284
 IDE 200, 202
 Impedanz 141
 Implementation 99
 Impuls 1 53
 Impuls 2 54
 Impuls 3 55
 Impuls 3a 57
 Impuls 3b 57
 Impuls 4 58
 Impuls 5 60
 Impulse 3a und 3b 72
 impulsfest 82
 Impulsgenerator 71
 Impulsgruppe 51
 Impulsgruppe, negative 57
 Impulsgruppe, positive 57
 In-Circuit-Emulator 204, 206 f.
 induktiv 49
 induktive Last 149
 Induktivität , 53
 Induktivitätsbelag 119
 Infotainment 21
 Infotainment-Systeme 19
 Injektionsstrom 135
 Innenbeleuchtung 21
 Innenraumlüfter 145
 Inselnetz 28, 48
 Integrationstest 99
 integrierter Schaltkreis 117
 Interaktion 16
 Internet 24
 Interrupt 180
 Intrinsic-Leitung 263
 invers 255
 inverser Betrieb 250, 252
 IP-Code 95, 286

J

Jump Start 36

K

Kabel 50
 Kabelbaum 48
 Kanalleitung 163
 Kapazitätsbelag 119
 kapazitiv 49
 kapazitive Last 148
 Kaskadenschaltung 165
 Katalysatorvorwärmung 22
 Kennlinie 250
 Keramikkondensator 84 f.

Keyless-Entry 21
 Keyless-Go 21
 Klauenpol-Maschine 36
 Klemmenbezeichnung 290
 Klima
 - -prüfung 93
 - -regelung 21
 - -schränk 93
 klimatische Anforderungen 90
 Klimatisierung 78
 K-Line 221, 267
 Koaxialkabel 74
 Kollektormotor 49, 54, 62
 Kombiinstrument 20
 Kommunikation 17, 172
 Kommunikation in Fahrzeugen 218
 Kommunikationsleitung 68
 Komparator 121
 Komponente 98
 Kondensator 117, 262
 Kontaktentladung 69, 73
 kontinuierliches Spektrum 62
 Konzeptphase 282
 Koppelzange 66, 71, 80
 Kosten 15
 Kraftfahrzeugelektronik 115
 Kraftstoffverbrauch 15
 Kurzschluss 43, 82, 103
 Kurzschluss, schleichend 44
 Kurzschlussstrom 249
 KWP 2000 225

L

Lack 264
 Lademodul, binäres 201
 Ladungspumpe 164 f., 170, 255
 LAMBDA 275
 Lampenausfallkontrolle 21
 langsamer Spannungseinbruch 38
 Last
 - induktive 149
 - kapazitive 148
 - ohmsche 148
 Lastabwurf 60 f.
 Lastenheft 282
 Lastprüfung 43
 Layout 215
 Layout-Review 283
 Lebensdauer 277
 Leistungsklasse 142
 Leiterkarte 84
 leitungsgebundene
 - Störabstrahlung 79
 - Störaussendung 51, 70, 213
 - Störfestigkeit 51, 61

Leitungsunterbrechung 43
 Lenkung, elektrisch unterstützte 20
 Leuchtweitenregulierung 20
 LIN-Bus 19, 229, 234
 Linearregelung 145
 Linearverstärker 67
 Linienspektrum 62
 Linken 201
 Load-Dump 60, 250
 Löcher-Leitung 163
 Logic-Level-MOS-Power-Transistor 160
 Logik, fest verdrahtete 126
 Logistik 273
 Lokalelement 144
 Lötstelle 92
 Low-Drop-Regler 121
 Low-Side-Schalter 143, 158, 260
 Low-Speed-CAN 231
 Luftentladung 69, 73
 Luftfeuchtigkeit 93

M

Magnetventil 49
 MAPLE 105
 Maskenbelichtungssatz 200
 Masken-Mikrocontroller 200
 Masse 118
 Massebaum 85, 120, 123f., 181, 213, 283
 Massesystem 85, 120
 Maßzahlen 275
 Master 235
 MATLAB 208
 Maut-Gebühr 26
 Maximalwert 106
 Maximalwerte, absolute 273
 mechanische

- Anforderungen 29, 87
- Daten 272
- Einflüsse 265
- Schwingung 87f.

 mechanischer Stoß 88f.
 Mikrocontroller 6, 39, 49, 62, 66, 85, 103, 111, 117f., 130, 177, 182, 211
 Mikroprozessor 130, 178
 Minimalwert 106
 Mittelwert 193
 mnemonischer Code 200
 Modultest 99
 Monitorprogramm 204
 MOS-Power-Transistor 142, 148, 155f., 158, 168, 170, 250, 258, 263
 MOST-Bus 19, 241
 Motor 117
 Motorelektronik 20
 Motorraum 29

MTBF 276, 283
 MTTF 276
 Multilayer 217
 Multi-Layer-Leiterkarte 84
 Musterphasen 100

N

Nachentwicklung 16
 Nachrichten-Identifizier 230
 Nachrüstung 41
 Nadelbettadapter 278
 Navigation 21
 negative Impulsgruppe 57
 negativer Spannungsimpuls 53
 Netzwerknachbildung 70
 nicht elektrische Umwelteinflüsse 29
 Norm 31
 Notlauf 23
 NTC 140
 Null-Serie 285
 Nutzungsphase 277

O

Operationsverstärker 84, 137, 140
 OSEK 195
 Oszillator 66, 179, 211
 OTP-Mikrocontroller 199

P

PAM-3 243
 Panne 26
 Parameter RESET-Test 40
 Parameter Spann.einbruch 38f.
 Parameter Verpolung 42
 parasitär 53
 parasitäre Elemente 216
 Patent 282
 Pflichtenheft 99
 Phase-Locked-Loop 212
 Pi-Filter 146, 168
 Piggy-Back-Mikrocontroller 199
 P-Kanal-MOS-Power-Transistor 162
 Platzierung der Bauteile 85
 PLD 129
 PLL-Schaltung 212
 Port-Bedienung, zyklische 186
 Ports, analoge 180
 Ports, digitale 180
 positive Impulsgruppe 57
 positiver Störimpuls 54
 Potentiometer 266
 PPM 275
 Preliminary 274

prellen 56, 191
 Produktion 16
 programmierbare Sitzverstellung 21
 Prüfanweisung 283
 Prüfgenerator 73
 Prüfmethode 52
 Prüfungen, serienbegleitende 278
 PTC 140
 Pulsweiten-Modulation 65, 86, 145, 167f.
 Punkt-zu-Punkt-Verbindung 243
 PWM 86, 144f., 159, 161, 163, 167

Q

Qualitätskontrolle 284
 Quarz 117
 Querschnittsprodukt 31

R

Radio 50
 Radioanlage 21
 RAM 179
 Reflexion 77
 Regelung, getaktete 49
 Reifendruck 22
 Rekuperation 46
 Relais 49, 117
 Reparaturfall 69
 Requalifikation 281, 284
 Requalifikation, serienbegleitende 281
 RESET 121, 182, 184, 187
 RESET, dynamischer 121
 RESET-Signal 118, 124
 RESET, statischer 121
 RESET-Test 39
 Resonator 182
 Rollenprüfstand 78
 ROM 179
 ROM-LESS-Microcontroller 198
 Routing 216
 Ruhestrom 153
 Rundfunkempfang 24
 Run-In 280, 284

S

Salznebel-Prüfung 94
 Schalter 49, 62, 191
 schaltfest 38, 147
 Schaltkreis, integrierter 117
 Schaltnetzteil 62
 Schaltvorgang 55
 Schaltvorgang, dynamischer 154
 Schärfegrad 35, 61, 65
 Schärfegrad DC 35

schmalbandig 62
 schmalbandige Störquellen 62
 Schmalbandstörer 64
 Schnittstelle 101, 116
 Schnittstelle, asynchrone serielle 221
 Schnittstellendefinition 131
 Schnittstelleninterface 18
 Schutzbaustein 132
 Schwingung, mechanische 87f.
 Schwingungstisch 88
 Second Source 284
 Segment 237
 selbstschützender Transistor 159
 Sendeanlage 49
 Sense-FET 170
 Sensor 50
 Sensor-Eingang 140
 Sensorik 17, 130
 Septum 74
 serienbegleitende Prüfungen 278
 serienbegleitende Requalifikation 281
 Serienfertigung 284
 Service-Betrieb 26
 Sicherheit 16
 Sicherheitsanforderung 15
 Sicherung 117, 248
 Signalanzeige 173
 Signale, analoge 193
 Signale, digitale 190
 Siliziumdiode 251
 Simulationswerkzeug 105, 208
 SIMULING 208
 Sitzbelegungserkennung 21
 Sitzheizung 21
 Sitzverstellung, programmierbare 21
 Slave 235
 Slot 237
 SMD-Widerstand 83
 Soft-Clipping 214
 Software 184
 - fehler 185
 - modul 177
 - simulator 203
 - Watch-Dog 188
 Spannungseinbruch 38, 59
 Spannungseinbruch, langsamer 38
 Spannungsimpuls, negativer 53
 Spannungsregler 118
 Spannungsversorgung 122
 Speichereinheit 28
 Spektrum 51
 - diskretes 62
 - kontinuierliches 62
 Spiegelverstellung 21
 Sprachbedienung 21
 Spread-Spektrum 213

SPS 128
 Stabilitäts-Modul, elektronisches 20
 Standheizung 20
 Start
 - -adresse 182
 - -hilfe 41
 - -impuls 121
 - -phase 182
 - -verriegelung 43
 statischer RESET 121
 statistisch 114
 statistische Angaben 273
 statistische Begriffe 275
 Staub 95, 264
 Steuergerät, elektronisches 50
 Stichprobe 279, 284
 Störabstrahlung, leitungsgebundene 79
 Störaussendung 62, 211
 - gestrahlte 51
 - im Frequenzbereich 51, 62
 - im Zeitbereich 51
 - leitungsgebundene 51, 70, 213
 Störbeeinflussung 48
 Störbelastung 48
 Störfestigkeit 62, 211
 Störimpuls 52, 191
 Störimpuls, positiver 54
 Störquelle 49, 213
 Störquellen, schmalbandige 62
 Störsenke 50, 212
 Störspannung 193
 Stoß, mechanischer 88f.
 Streifenleitung 76
 Strip-Line 67, 72, 76
 Strom-Einkopplungszange 79
 Stromerfassung 170
 Stromversorgung 17, 115, 118
 Struktogrammgenerator 203
 Syntax-Highlighting 203
 System 97
 Systemdaten 26
 Systemmatrix 237
 Systemtest 99

T

Tagfahrlicht 145
 Taktgenerator 62
 Taktverhältnis 146
 Telefon 21, 24, 50
 Telematik 19, 23
 - Fahrsituationsbereich 25
 - Infotainment 24
 - Inkasso 26
 - Navigationsbereich 24
 - Servicebereich 26

Temperatur 261
 - -erfassung 170
 - -kammer 88
 - -profil 91, 93
 - -Schockprüfung 92
 - -schrank 91
 - -schwankung 87
 - -sensor 140, 157, 271
 - -verhalten 271
 - -wechselprüfung 90
 - -wechselzyklus 264
 Temperaturbereich 103
 TEMP-FET 159
 TEM-Zelle 67, 74f.
 Testablauf offene Last 42
 Testablauf Sp. Einbruch 39
 Testablauf Verpolung 42
 Testbarkeit 283
 Testbedingungen, allgemeine 34
 Testergebnis
 - Jump Start 36
 - offene Last 42
 - RESET-Test 40
 - Ripple Test 38
 - schleichender Kurzschluss 45
 - Spannungseinbruch 38f.
 - Verpolung 42
 Testparameter DC 35
 Testparameter Jump Start 36
 Testparameter Ripple Test 37
 Testparameter schl. Kurzschl. 45
 Testparameter Übersp. 35
 Timer 179, 186, 196
 Toleranz 107
 Top-Down-Methode 101
 Transistor 117
 Transistor, selbstschützender 159
 Transversal-Elektromagnetische Welle 74
 Triplets 243
 Tuner-Box 215, 217
 Türschloss 21
 Türsteuergerät 21
 TV-Empfang 24
 TV-Tuner 21
 Typenaufschlüsselung 272
 typische Angaben 274

U

Überhitzung 257
 Überlastung 62
 Überspannungsschutz 170
 Umfeld, elektromagnetisches 49
 Umgebungsanforderungen 28
 Umgebungsbedingung 104
 Umrüstkosten 32

Umwelteinflüsse 30
- elektrische 29
- nicht elektrische 29
Untersystem 97

V

Verbraucher 28, 48
Verlustleistung 251, 257
Vernetzung 19
Verpolschutz 170, 247
Verpolschutzdiode 82, 247
Verpolschutz-Relais 258
Verpolung 41, 252
Verschleißphase 277
Verträglichkeit, elektromagnetische 33, 48
V-Modell 97
Voltage Ripple 36
Vorserie 284

W

Wasser 95
Watch-Dog 124, 179, 181, 187
Watch-Dog-Signal 118
Watch-Dog-Signalerzeugung 187
WD 124

Wellen-Impedanz 74
Werkstatt-Tester 221
Wertepaar 106
Widerstand 82, 117, 262
Widerstandsbelag 119
Widerstandsreihe 288
Wirk-Lastenheft 98
Wischermotor 145
Wischersteuerung 20
Worst-Case 156, 263, 266, 274, 283
Worst-Case-Rechnung 105

Z

Zeitbereich 61
Zener-Diode 82, 262
Zentraleinheit 17, 115
Zentralelektronik 20, 23, 126
zentrales Diagnose-Gateway 20
Zentralsystem 23
Zündanlage 49, 62
Zündschloss, elektronisches 20
Zusatzheizung 22
Zustandsautomat 129
Zuverlässigkeit 16
zyklische Port-Bedienung 186
Zyklus 237