

Inhalt

Vorwort	V
1 Einleitung	1
1.1 Zum Inhalt dieses Buches	1
1.2 Vorhandene Literatur	2
1.2.1 Monografien	2
1.2.2 Weitere Literatur	3
1.3 Aufbau und Nomenklatur	3
1.4 LDF-Editor als Zusatzmaterial	4
I Grundlegende Funktionsweisen	5
2 Grundlagen (1)	7
2.1 Einführung in die Kommunikation	7
2.2 Begriffe	8
2.2.1 Elemente eines Kommunikationssystems	8
2.2.2 Begriffe zur Adressierung	9
2.2.2.1 Unicast	9
2.2.2.2 Multicast	9
2.2.2.3 Broadcast	10
2.2.2.4 Simplex	10
2.2.2.5 Voll duplex	11
2.2.2.6 Halbduplex	11
2.2.3 Bussysteme	11
2.2.4 Notwendigkeit einer Vernetzung	12
2.2.5 Weitere Begriffe	13
2.3 Aufbau	13
2.3.1 Aufbau eines Knotens	13
2.3.2 Aufbau eines Clusters	15
2.3.3 Komponenten	15
2.3.4 OSI-Modell	16

2.4	Topologien	17
2.4.1	Bustopologie	17
2.4.2	Sterntopologie	19
2.4.3	Ringtopologie	19
2.4.4	Hybride Topologien	20
2.5	Zugriffsverfahren	22
2.5.1	Einführungsbeispiel	22
2.5.2	Master-Slave-Prinzip	23
2.5.3	Zeitgesteuertes Zugriffsverfahren	24
2.5.4	Token Passing	24
2.5.5	Ereignisgesteuertes Zugriffsverfahren	24
2.5.6	Zusammenfassung Zugriffsverfahren	25
2.6	Codierung	26
2.6.1	Begriffe	27
2.6.2	Reihenfolge der Bits	28
2.6.3	Anzahl der Leitungen	29
2.6.3.1	Ein-Draht-Leitung	30
2.6.3.2	Zwei-Draht-Leitung	30
2.6.4	Signalübertragung	31
2.6.4.1	Asymmetrische Signalübertragung	31
2.6.4.2	Symmetrische Signalübertragung	32
2.6.5	Bitsynchronisation	32
2.6.5.1	Rahmenbildung für Resynchronisation	33
2.6.5.2	Bit Stuffing für Resynchronisation	34
2.6.6	Leitungscodes	35
2.6.6.1	NRZ-Codierung	35
2.6.6.2	RZ-Codierung	36
2.6.6.3	Manchester-Code	37
2.6.6.4	4B5B-Code	38
2.6.6.5	MLT-3-Code	39
2.6.6.6	4B3T-Code	39
2.7	Kenngrößen	40
2.7.1	Datenmenge	40
2.7.2	Datenübertragungsrate	41
2.7.3	Baudrate	42
2.7.4	Verzögerung	42
2.7.5	Jitter	43
2.8	Übersicht über Kommunikationsprotokolle im Automobil	44

3	LIN (1)	47
3.1	Einleitung	47
3.1.1	Anforderungen und Eigenschaften	47
3.1.2	Historie	48
3.1.3	Anwendung von LIN	49
3.2	Grundlagen	49
3.2.1	Begriffe	49
3.2.2	Aufbau eines LIN-Knotens	49
3.2.3	Aufbau eines LIN-Clusters	50
3.2.4	Einordnung ins OSI-Modell	51
3.2.5	LIN-Standards	51
3.3	LIN-Frames und LIN-Schedule	53
3.3.1	Aufbau eines LIN-Frames	53
3.3.2	Frame Header	53
3.3.2.1	Break-Feld	54
3.3.2.2	Sync-Feld	54
3.3.2.3	Identifizier-Feld	55
3.3.3	Frame Response	55
3.3.3.1	Data-Feld	55
3.3.3.2	Checksum-Feld	56
3.3.4	LIN-Zyklus	57
3.3.5	Frame-Typen	58
3.3.5.1	Unconditional Frames	58
3.3.5.2	Event Triggered Frames	59
3.3.5.3	Sporadic Frames	61
3.3.5.4	Diagnostic Frames	61
3.3.5.5	Reserved Frames	62
3.4	Wecken eines LIN-Clusters	62
3.4.1	Zustände eines Slave-Knotens	62
3.4.2	Wakeup-Signal	63
3.4.3	Wiederholtes Wecken	63
3.5	Physical Layer	64
3.5.1	LIN-Transceiver	64
3.5.2	Buspegel	65
3.5.3	Bitraten-Toleranzen	67
3.5.4	Bit-Synchronisation	67
3.5.5	Bit Sampling	68
3.6	Frame-Timing	69
3.6.1	Berechnung der Frame-Länge und der Slotlänge	69
3.6.2	Slotlängen für verschiedene Konfigurationen	70

4	CAN (1)	73
4.1	Einleitung	73
4.1.1	CAN-Eigenschaften	73
4.1.2	Historie	74
4.1.3	Einsatzgebiete	75
4.2	Aufbau	76
4.2.1	Begriffe.....	76
4.2.2	Aufbau eines CAN-Knotens	76
4.2.3	Aufbau eines CAN-Clusters	77
4.2.4	OSI-Modell	77
4.2.5	CAN-Standards	79
4.2.6	Steckverbinder.....	79
4.3	Physical Layer	80
4.3.1	Einteilung	80
4.3.2	Buspegel.....	81
4.3.3	Transceiver	83
4.3.4	Terminierung	85
4.3.5	Topologie	86
4.3.6	Buslogik.....	87
4.4	Data Link Layer	88
4.4.1	CAN-Kommunikationsprinzip	88
4.4.2	Frame-Format	91
4.4.2.1	Data Frame Format	91
4.4.2.2	Remote Frame Format	93
4.4.2.3	Steuerfeld	93
4.4.3	Arbitrierung	94
4.4.4	CAN-Priorisierung	99
4.4.5	Bit Stuffing	100
4.4.6	Frame-Decodierung	100
4.5	Fehlerbehandlung.....	102
4.5.1	Fehlerarten	102
4.5.2	Fehlererkennung	103
4.5.3	Error Frame	104
4.5.4	Overload Frame	106
4.5.5	Fehlerzustände (Error Modes).....	107
4.5.6	Fehlerzähler (Auszug).....	109
4.5.7	Acknowledgement	109
4.5.8	Zusammenfassung Fehlererkennung	111

4.6	Berechnungen zur Busauslastung.....	112
4.6.1	Berechnung der Frame-Länge.....	112
4.6.2	Berechnung der maximalen Anzahl an Stuff Bits.....	112
4.6.3	Berechnung der Frame-Übertragungszeit und der Busauslastung.....	113
4.6.4	Maximale Anzahl an Frames in einem Cluster.....	116
4.6.5	Maximale Nutzdatenrate in einem Cluster.....	116
5	FlexRay (1).....	119
5.1	Einleitung.....	119
5.1.1	Was ist FlexRay?.....	119
5.1.2	FlexRay-Eigenschaften.....	119
5.1.3	Historie.....	120
5.2	Begriffe und Aufbau.....	121
5.2.1	Begriffe.....	121
5.2.2	Aufbau.....	121
5.2.3	OSI-Modell.....	123
5.2.4	FlexRay-Standards.....	123
5.3	Physical Layer.....	125
5.3.1	Medien.....	125
5.3.2	Buspegel.....	126
5.3.3	Topologien.....	126
5.3.3.1	Bustopologie.....	127
5.3.3.2	Sterntopologie.....	127
5.3.3.3	Gemischte Topologien.....	128
5.3.4	Sternkoppler.....	129
5.3.5	Terminierung.....	130
5.4	Data Link Layer.....	132
5.4.1	Aufbau eines Kommunikationszyklus.....	132
5.4.1.1	Statisches Segment.....	133
5.4.1.2	Dynamisches Segment.....	135
5.4.2	Zeithierarchie.....	137
5.4.3	Frame-Format.....	138
5.4.3.1	Header.....	138
5.4.3.2	Payload.....	139
5.4.3.3	Trailer.....	139
5.4.4	Codierung.....	140

5.5	Uhrensynchronisation	141
5.5.1	Uhrenabweichungen	142
5.5.2	Uhrenkorrektur	143
5.5.2.1	Offset-Korrektur	143
5.5.2.2	Raten-Korrektur	143
5.5.2.3	Uhrenkorrektur bei FlexRay	144
5.6	Konfiguration	145
5.6.1	Schreibweisen	146
5.6.2	Berechnung der Zykluszeit	146
5.6.3	Berechnung der statischen Slotlänge	148
5.7	Übungen	151
II Erweiterte Prinzipien und spezielle Mechanismen		155
6	Grundlagen (2)	157
6.1	Methoden zur Berechnung eines Prüfwerts	157
6.1.1	Paritätsprüfung	157
6.1.2	Berechnung der Prüfbits bei LIN	158
6.1.2.1	Bestimmung der Paritätsbits im Identifier-Feld	158
6.1.2.2	Bestimmung der Prüfbits für das Checksum-Feld	159
6.1.3	Kreuzparitätsprüfung	160
6.1.4	Zyklische Redundanzprüfung	162
6.2	Kommunikationsarten	166
6.2.1	Signalorientierte Kommunikation	166
6.2.2	Serviceorientierte Kommunikation	168
6.2.3	Vergleich der beiden Kommunikationsarten	170
6.3	Leitungsreflexionen	171
6.3.1	Entstehung von Reflexionen	171
6.3.2	Leitungsparameter	172
6.3.3	Messung von Reflexionen	173
6.3.4	Ringung	176
7	LIN (2)	179
7.1	Entwicklungsprozess	179
7.1.1	Überblick	179
7.1.2	LIN Description File (LDF)	180
7.1.3	Node Capability File (NCF)	183

7.2	Anwendungsbeispiel	186
7.2.1	Beschreibung der Knoten	186
7.2.2	Signalcodierung	189
7.2.3	Signaldefinition.....	190
7.2.4	Frames	193
7.2.5	Schedules.....	196
8	CAN (2)	199
8.1	Bit-Timing und Bitsynchronisation	199
8.1.1	Diskretisierung des empfangenen Spannungsverlaufs	199
8.1.2	Bit-Timing	201
8.1.3	Bitsynchronisation	203
8.2	Weiterentwicklungen von CAN	204
8.2.1	Grenzen und Erweiterungen von CAN	204
8.2.2	Erweiterter Identifier	206
8.2.3	Erweiterungen im Physical Layer	207
8.2.3.1	Problembeschreibung.....	207
8.2.3.2	Lösungsansatz.....	208
8.2.3.3	Wecken mittels Wakeup-Pattern (WUP).....	209
8.2.3.4	Wecken mittels Wakeup-Frame (WUF)	212
8.3	CAN FD	214
8.3.1	Frame-Format und Funktionsweise	214
8.3.2	CAN FD CRC	216
8.3.3	Bit Stuffing	218
8.3.4	Übersicht über CAN-Frame-Typen	219
8.3.5	Hinweise zu Implementationen.....	219
8.3.6	CAN-FD-Bitraten	220
8.3.7	Effekt der längeren Payload und der höheren Datenbitrate.....	220
8.3.8	CAN-FD-SIC-Ansatz	221
8.3.9	CAN-FD-Physical-Layer-Spezifikationen	226
8.4	CAN XL.....	226
8.4.1	Eigenschaften und Anwendung von CAN XL.....	226
8.4.2	Frame-Aufbau und prinzipielle Funktionsweise.....	227
8.4.3	Arbitrierungsfeld	227
8.4.4	Steuerfeld.....	228
8.4.4.1	ADS-Feld	229
8.4.4.2	Service Data Unit Type	229

8.4.4.3	Data Length Code	229
8.4.4.4	Stuff-Bit-Zähler	229
8.4.4.5	Preface Cyclic Redundancy Check	230
8.4.4.6	Virtual CAN ID	230
8.4.4.7	Acceptance-Feld	230
8.4.5	Datenfeld	231
8.4.6	CRC-Feld	231
8.4.7	Acknowledge-Feld und EOF	232
8.4.8	Bit Stuffing	232
8.4.9	Bitraten-Umschaltung	233
8.4.10	Vergleich der Header von Classical CAN, CAN FD und CAN XL	237
8.5	Realisierung	238
8.5.1	CAN-Controller	238
8.5.2	CAN-Transceiver	239
8.5.3	CAN-Oszilloskope	241
8.5.4	Typische Schaltung eines CAN-Knotens	241
8.6	Berechnung der Busauslastung beim Classical CAN	242
8.7	Übungen	244
9	FlexRay (2)	247
9.1	Protokollzustände	247
9.2	Wakeup	249
9.2.1	Cluster-Wakeup	249
9.2.2	Wakeup-Pattern	250
9.2.3	Wakeup-Szenario mit sich überlappenden Low-Phasen	252
9.2.4	Wakeup-Szenario mit sich teilweise überlappenden Low-Phasen	253
9.2.5	Wakeup-Szenario mit sich nicht überlappenden Low-Phasen	254
9.3	Startup	255
9.3.1	Startup von zwei Coldstart-Knoten	255
9.3.2	Startup eines Non-Coldstart-Knotens	257
9.3.3	Startup mit nur einem Coldstart-Knoten	258
9.4	Bus Guardian	259
9.4.1	Eigenschaften	259
9.4.2	Funktionsweise	259
9.4.3	Realisierung	261
9.5	Mechanismen und Effekte	261
9.5.1	Null-Frames	261
9.5.2	Verkürzung der Transmission Start Sequence	263

9.5.3	Uhrensynchronisation	265
9.5.3.1	Ablauf der Uhrensynchronisation	265
9.5.3.2	Erfassen der Messwerte	265
9.5.3.3	Berechnung der Offset-Korrekturwerte	266
9.5.3.4	Berechnung der Raten-Korrekturwerte	267
9.5.3.5	Anwendung der Korrekturwerte	268
9.5.4	Bit-Decodierung	268
9.5.5	Asymmetrien	269
9.5.5.1	Was ist eine Bitasymmetrie?	269
9.5.5.2	Auswirkungen von Bitasymmetrien	270
9.5.5.3	Treiberstufe im Protokollcontroller und im Transceiver	270
9.5.5.4	Bitasymmetrie durch Schwellwertverschiebung	271
9.5.5.5	Bitasymmetrie durch Änderung der Flankensteilheit	272
9.5.5.6	Bitasymmetrie durch Unterschiede in der Verzögerungszeit	272
9.6	Applizierung	273
9.6.1	FlexRay im BMW X5	273
9.6.2	FlexRay im 7er BMW	275
9.7	Berechnung der Minislottlänge	276
9.8	Übungen	278
10	Automotive Ethernet	281
10.1	Einleitung	281
10.1.1	Versionen von Automotive Ethernet	281
10.1.2	Entwicklungsgeschichte von (Automotive) Ethernet	282
10.2	Aufbau	282
10.2.1	Aufbau eines Ethernet-Knotens	282
10.2.2	Topologien	283
10.2.3	Interfaces	284
10.2.4	Media Dependent Interface	284
10.2.4.1	ESD-Schutz	285
10.2.4.2	Common Mode Termination	286
10.2.4.3	AC-Kopplung	286
10.2.4.4	Gleichtaktdrossel	287
10.2.4.5	Low-Pass-Filter	287
10.2.5	Media Independent Interface	287
10.2.5.1	MII	287
10.2.5.2	RMII	287
10.2.5.3	RGMII und SGMII	287

10.3 Ethernet-Versionen	289
10.3.1 Ethernet IEEE 100BASE-TX	289
10.3.2 Ethernet IEEE 1000BASE-T	289
10.3.3 Ethernet IEEE 100BASE-T1	290
10.3.4 Versionen von Automotive Ethernet	291
10.4 Physical Layer	291
10.4.1 Aufbau des Transceivers	291
10.4.1.1 Bitmanipulationen im Sendepfad des Physical Coding Sublayers	292
10.4.1.2 Bitmanipulationen im Empfangspfad des Physical Coding Sublayers	294
10.4.2 Leitungscodes	295
10.4.2.1 Spannungswerte	295
10.4.2.2 Zuordnungs- und Leitungscodes	295
10.4.2.3 Signalhandling	296
10.4.2.4 Oszilloskopmessungen	298
10.4.3 Startup	299
10.4.3.1 Transceiver-Modi und Startup-Sequenz	299
10.4.3.2 Leitungscodes 3B2T in der Trainingsphase	301
10.4.3.3 Leitungscodes 3B2T in der Sendephase	301
10.4.3.4 Diagnosemöglichkeiten	302
10.5 Data Link Layer	303
10.5.1 Ethernet-Controller	303
10.5.2 Ethernet Frame Format	303
10.5.3 Adressierung	306
10.5.3.1 Unicast	306
10.5.3.2 Broadcast	306
10.5.3.3 Multicast	307
10.6 Weitere Aspekte zu Ethernet	308
10.6.1 Höhere Protokolle	308
10.6.2 Kopplungselement für Messungen	309
10.6.3 Implementierungen nach 100BASE-T1	311
10.6.4 OPEN Alliance	311
Literatur	313
Index	315