

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Abbildungsverzeichnis	XV
Tabellenverzeichnis	XXIII
Abkürzungsverzeichnis	XXV
1 Einleitung	1
1.1 Ziel des Buches	1
1.2 Begriffe und Notationen	2
2 Wissenswertes über FlexRay	5
2.1 Entwicklungsziele	5
2.1.1 Ökonomische Ziele	5
2.1.2 Technische Ziele	6
2.2 Eigenschaften von FlexRay	8
2.3 Einsatzgebiete	9
2.4 Einordnung des Protokolls	10
2.5 Netzwerkprotokolle im Automobil	11
2.5.1 CAN	12
2.5.2 LIN	12
2.5.3 Multimediaprotokolle	13
2.5.4 Kommunikationsnetzwerk im Automobil	13
2.6 Das FlexRay-Konsortium und die FlexRay-Historie	15
3 Prinzipielle Funktionsweise des Protokolls	21
3.1 Aufbau eines Kommunikationsknotens	21
3.2 Topologien	23
3.3 Das Zugriffsverfahren	27
3.3.1 Zugriffsverfahren im Überblick	27
3.3.2 Der Kommunikationszyklus in FlexRay	30
3.3.3 Das TDMA-Verfahren	30
3.3.4 Das Minislot-Verfahren	32
3.4 Die Zeitbasis	34
3.5 Die Protokollzustandsmaschine	36

3.6	Das Starten des Protokolls	38
3.7	Das Frame-Format	40
3.8	Das Coding	41
3.9	Der Physical Layer	42
4	Funktionsweise des Protokolls im Detail	43
4.1	Das Zugriffsverfahren	43
4.1.1	Der Kommunikationszyklus	43
4.1.2	Aufbau eines statischen Slots	45
4.1.3	Dynamische Slots	48
4.1.4	Das Symbol Window	52
4.1.5	Die Network Idle Time (NIT)	53
4.2	Uhrensynchronisation	53
4.2.1	Uhrenabweichungen und Korrekturmethode	53
4.2.2	Die Messung der Zeitabweichung	56
4.2.3	Die Berechnung der Korrekturwerte	58
4.2.4	Die Verteilung der Korrekturwerte	61
4.2.5	Die Anwendung der Korrekturwerte	63
4.2.6	Externe Uhrensynchronisation	65
4.2.7	Präzision und Genauigkeit	67
4.3	Die Protokollmaschine	68
4.3.1	Besondere Zustandsübergänge in der Protokollmaschine	68
4.3.2	Single Slot Mode	71
4.4	Wecken eines Clusters	72
4.4.1	Betriebszustände eines Knotens	72
4.4.2	Das Wakeup Pattern	73
4.4.3	Überlagerung von zwei Wakeup Pattern	75
4.4.4	Gleichzeitiges Wecken mehrerer Knoten	76
4.4.5	Ablauf des Weckens in einem Cluster	77
4.5	Starten des Clusters	79
4.5.1	Clusterstart durch einen Knoten	79
4.5.2	Die Startup-Timer	85
4.5.3	Gleichzeitiger Clusterstart durch zwei Knoten	86
4.5.4	Start des Clusters bei einem fehlerhaften Knoten	88
4.6	Frame-Format	93
4.6.1	Der Header	93
4.6.2	Die Nutzdaten	96
4.6.3	Der Trailer	97
4.6.4	Nullframes	97

4.6.5	Der Netzwerk-Management-Vektor	99
4.6.6	Message Identifier	100
4.7	Symbole	101
4.8	Die Frame-Übertragung	103
4.8.1	Die Frame-Codierung	103
4.8.2	Die Frame-Decodierung	105
4.8.3	Das Senden von Frames	107
4.8.4	Der Frame-Empfang	109
4.9	Cliquen und Cliquenbildung	113
5	Physical Layer	117
5.1	Signale	117
5.1.1	Signaldefinition	117
5.1.2	Kollisionen	119
5.2	Physikalische Effekte	120
5.2.1	Signallaufzeit	120
5.2.2	Asymmetrische Verzögerung	121
5.2.3	Signalverkürzung	121
5.2.4	Elektromagnetische Verträglichkeit	123
5.3	Netzwerkkomponenten	124
5.3.1	Kabel und Stecker	124
5.3.2	Terminierung	124
5.4	Topologien	127
5.4.1	Physikalische Topologie	127
5.4.2	Längen bei Bus- und Sterntopologien	129
5.4.3	Ungültige Topologien	132
5.5	Elektrischer Bustreiber	135
5.5.1	Aufbau und Funktion	135
5.5.2	Zustände und Übergänge	136
5.5.3	Schnittstellen und Ausgangsverhalten	139
5.5.4	Wakeup	141
5.6	Aufbau und Verhalten eines aktiven Sternkopplers	142
5.6.1	Funktion	142
5.6.2	Aufbau	144
5.6.3	Zustände und Übergänge	146
5.6.4	Zeitverhalten	149
5.6.5	Verhalten bei gleichzeitigem Signalempfang auf mehreren Zweigen	152
5.7	Fehlerausbreitung	153
5.8	Asymmetrien	155

5.8.1	Wesen und Auswirkungen von Asymmetrien	155
5.8.2	Ursachen und Effekte von Asymmetrien	158
5.8.3	Auswirkungen von Asymmetrien auf den Cluster	162
5.9	Praktische Hinweise für eine robuste FlexRay-Topologie	166
6	Die Konfigurierung eines Clusters	169
6.1	Berechnungsregeln	169
6.1.1	Zeitdiskretisierung	169
6.1.2	Bestimmen der Minimalzeit eines Signals	170
6.1.3	Bestimmen der Maximalzeit eines Signals	172
6.1.4	Notation der Formeln	173
6.2	Microtick und Macrotick	173
6.2.1	Der Microtick	173
6.2.2	Der Macrotick	175
6.3	Die Präzision	178
6.4	Startup-Parameter	180
6.4.1	Toleranzbereich beim Startup	180
6.4.2	Parameter zur Initialisierung der Uhr	181
6.4.3	Maximale Drift	183
6.4.4	pdListenTimeout	184
6.5	Der statische Slot	185
6.5.1	Der Actionpoint-Offset	185
6.5.2	Die statische Slotgröße	187
6.6	Das dynamische Segment	189
6.6.1	Der Minislot-Actionpoint-Offset	189
6.6.2	Der Minislot	190
6.6.3	Dynamic-Slot-Idle-Phase	192
6.6.4	Anzahl an Minislots	193
6.6.5	Spätester Frame-Beginn im dynamischen Segment	196
6.7	Symbol-Window und NIT	197
6.7.1	Das Symbol-Window	197
6.7.2	Network Idle Time	198
6.8	Uhrensynchronisation	203
6.8.1	Steigungskorrekturwert	203
6.8.2	Offset-Korrekturwerte	204
6.8.3	Dämpfungsparameter für die Uhrenkorrektur	205
6.8.4	Externe Uhrensynchronisation	206
6.9	Physical Layer abhängige Parameter	207
6.9.1	Maximale Signallaufzeit	207

6.9.2	Korrektur der Zeitmesswerte.....	208
6.9.3	Kompensation der Laufzeit.....	209
6.9.4	Transmission Start Sequence	210
6.10	Parametrierung der Symbole.....	211
6.10.1	Das Collision Avoidance Symbol.....	212
6.10.2	Konfigurierung des Wakeup-Symbols beim Sender.....	214
6.10.3	Konfigurierung des Wakeup-Symbols beim Empfänger	215
6.11	Clusterkonfigurierung	217
6.12	Zuordnung der Gleichungen zu den Konfigurationsregeln der Protokollspezifikation.....	221
7	Der Busguardian	223
7.1	Prinzip des Busguardians.....	223
7.2	Lokaler Busguardian	225
7.3	Zentraler Busguardian.....	228
7.4	Weitere Aspekte des Busguardians.....	230
7.4.1	Test des Busguardians.....	230
7.4.2	Weitere Funktionen	231
7.4.3	Vergleich der Konzepte	231
7.4.4	Auswirkung des Busguardians auf die Clusterkonfiguration	232
8	Die Implementierung des FlexRay-Protokolls.....	235
8.1	Nachrichtenpufferkonzept	235
8.1.1	Aufteilung in Register und Speicher	235
8.1.2	Message Buffer-Typen	238
8.2	Message Buffer Konfigurierung	239
8.2.1	Message Buffer Control Register	239
8.2.2	Frame-Header-Konfigurierung	242
8.2.3	Beispiel für die Konfigurierung eines Sendepuffers.....	244
8.2.4	Beispiel für die Konfigurierung eines Empfangspuffers.....	245
8.2.5	Beispiel für die Konfigurierung eines Receive Shadow Buffers	246
8.3	Protokollkonfigurationsregister.....	246
8.4	Filterkonfigurierung.....	249
8.5	Interrupts.....	252
8.5.1	Individuelle Interruptquellen	252
8.5.2	Kombinierte Interruptquellen.....	253
8.5.3	Protokoll-Interruptbits	254
8.5.4	CHI-Fehler-Interruptbits	257
8.6	FIFO-Puffer	259

9	Aspekte der Anwendung von FlexRay	263
9.1	Die Wahl der Frame-Größe	263
9.2	Die Gestaltung der Payload innerhalb von Frames	265
9.3	Das Prinzip der Sendezeitfenster	267
9.4	Ein Beispiel	269
9.4.1	Topologie	269
9.4.2	Sende-Schedule	270
9.4.3	Kommunikationsmatrix	271
9.4.4	Bestimmung der FlexRay-Protokollparameter	272
9.5	Realisierungsvarianten für das Multiplexen im dynamischen Segment	277
9.5.1	Aufgabenstellung	277
9.5.2	Steuerung des Sendezeitpunktes durch den Host	279
9.5.3	Verwendung von Zykluszählerfiltern	280
9.5.4	Pufferumkonfigurierung	282
9.5.5	Vergleich der Realisierungsvarianten	285
10	Ausblick	287
10.1	Protokollentwicklung	287
10.2	AUTOSAR	287
10.2.1	Motivation und Ziele von AUTOSAR	288
10.2.2	Technisches Konzept	289
10.2.3	FlexRay und AUTOSAR	291
10.3	Einsatz von FlexRay	292
Anhang A: Einführung in SDL		295
A.1	Philosophie von SDL	295
A.2	Die grafischen Elemente	296
A.3	Grundelemente	299
A.4	Austauschen von Signalen	299
A.5	Die Zeit in SDL	300
A.6	Einschränkungen von SDL	300
A.7	Beispiel	300
Anhang B: FlexRay Konstanten und Parameter		304
Anhang C: Beispielprogramm		311
C.1	Das Header-File	311
C.2	Das FlexRay-Konfigurationsfile	314
Anhang D: Übersicht FlexRay-Schaltkreise		338

Literaturverzeichnis 339

Stichwortverzeichnis 341