

Inhaltsverzeichnis

1	Aufbau, Arbeitsweise und Programmierung eines Mikrocontrollers	1
1.1	Einführung	3
1.1.1	Unterschiede bei Mikrocontrollern	4
1.1.2	Architektur Erweiterung	6
1.1.3	Bussysteme	9
1.1.4	Programmierung in Assemblersprache	26
1.1.5	Speicheradressierung	30
1.1.6	Unterprogramme und die Verwendung des Stacks für die Adressierung	32
1.1.7	Register des Mikrocontrollers	33
1.2	Oszillator- und Taktgeberschaltung	37
1.2.1	Eingangspuffer und Ausgangstreiber	41
1.2.2	E/A-Struktur	41
1.2.3	Schreiben in einen Port	46
1.2.4	Read-Modify-Write-Merkmale	47
1.2.5	Programmierung einer Eingabeoperation	49
1.2.6	Zugriff auf externe Speicher	59
1.2.7	Signal /PSEN	63
1.2.8	Signal/ALE	65
1.2.9	Überlappende externe Programm- und Datenspeicherbereiche	65
1.3	Speicherorganisation und Adressierungsarten	65
2	Befehlsvorrat des Mikrocontrollers	73
2.1	Adressierungsarten	73
2.1.1	Datentransport	74
2.1.2	Arithmetische Operationen	75
2.1.3	Logische Operationen	77
2.1.4	Programmverzweigung zu einem nicht unmittelbar folgenden Speicherplatz	77

2.2	Definition und Beschreibung der 51 grundlegenden Befehle	79
2.3	Definitionen der Befehle	79
2.3.1	Unbedingter Aufruf einer Subroutine innerhalb 2-Kbytes im Programmspeicher (ACALL addr11)	79
2.3.2	Addieren (ADD A, <Quellenbyte>).	86
2.3.3	Addiere mit Übertrag (ADDC A, <Quellenbyte>)	88
2.3.4	Unbedingter Sprung innerhalb 2 Kbytes im Programmspeicher (AJMP Addr11)	89
2.3.5	Verknüpfe Byte-Variable durch logisches UND (ANL <Zielbyte>, <Quellenbyte>)	90
2.3.6	Verknüpfe Bit durch logisches UND zum Übertragsbit (ANL C, <Quellenbit>).	93
2.3.7	Vergleiche und springe, wenn ungleich (CJNE <Zielbyte>,<Quellenbyte>,rel)	93
2.3.8	Lösche Akkumulator (CLR A).	96
2.3.9	Lösche Bit (CLR bit)	96
2.3.10	Komplementiere Akkumulator (CPL A)	97
2.3.11	Komplementiere direktes Bit (CPL Bit)	98
2.3.12	Dezimalkorrektur des Akkumulators bei Addition (DA A)	98
2.3.13	Dekrementieren (DEC byte)	99
2.3.14	Dividiere Akkumulator durch Register B (DIV AB)	101
2.3.15	Dekrementiere und springe, falls ungleich null (DJNZ <Byte>,<relative Adresse>)	101
2.3.16	Inkrementieren (INC <Byte>)	103
2.3.17	Inkrementiere Datenzeiger (INC DPTR).	104
2.3.18	Springe, wenn direktes Bit gesetzt ist (JB bit,rel)	104
2.3.19	Springe, wenn direktes Bit gesetzt ist und lösche das Bit (JBC bit,rel)	105
2.3.20	Springe, wenn Übertragsbit gesetzt ist (JC rel)	106
2.3.21	Springe indirekt relativ zu DPTR (JMP @A+DPTR).	106
2.3.22	Springe, wenn direktes Bit nicht gesetzt ist (JNB bit,rel)	107
2.3.23	Springe, wenn Übertragsbit nicht gesetzt ist (JNB bit,rel)	107
2.3.24	Springe, wenn Akkumulator nicht Null ist (JNZ rel).	108
2.3.25	Springe, wenn Akkumulator Null ist (JN rel)	108
2.3.26	Unbedingter Aufruf einer Subroutine innerhalb des 64-Kbyte- Programmspeichers (LCALL addr16)	109
2.3.27	Unbedingter Sprung innerhalb des 64-Kbyte- Programmspeichers (LJMP addr16).	109
2.3.28	Transportiere Byte-Variable (MOV <Zielbyte>,<Quellenbyte>)... ..	110

2.3.29	Transportiere direktes Bit zum Übertragsbit oder umgekehrt (MOV <Zielbit>,<Quellenbit>)	114
2.3.30	Lade Datenzeiger mit einer 16-Bit-Konstante (MOV DPTR,#data16)	115
2.3.31	Transportiere Programmbyte (A,@A + <Basisregister>)	116
2.3.32	Transportiere vom oder zum externen RAM (MOVB <Zielbyte>,<Quellenbyte>)	116
2.3.33	Multipliziere Akkumulator mit Register B (MUL AB)	118
2.3.34	Keine Operation (NOP)	119
2.3.35	Verknüpfe Byte-Variable durch logisches ODER (ORL <Zielbyte>,<Quellenbyte>)	119
2.3.36	Verknüpfe Bit durch logisches ODER zum Übertragsbit (ORL C,<Quellenbit>)	121
2.3.37	Bringe direktes Byte aus dem Stack (Pop direct)	122
2.3.38	Bringe direktes Byte in den Stack (PUSH direct)	122
2.3.39	Rücksprung von Subroutine (RET)	123
2.3.40	Rücksprung vom Interrupt (RETI)	123
2.3.41	Schiebe Akkumulator nach links rund (RL A)	124
2.3.42	Schiebe Akkumulator nach links durch Übertragsbit rund (RLC A)	124
2.3.43	Schiebe Akkumulator nach rechts rund (RR A)	125
2.3.44	Schiebe Akkumulator nach rechts durch Übertragsbit rund (RRC A)	125
2.3.45	Setze Bit (SETB <bit>)	126
2.3.46	Unbedingter Sprung innerhalb -128... + 127 im Programmspeicher (SJMP rel)	127
2.3.47	Subtrahieren mit Übertrag (SUBB A,<Quellenbyte>)	127
2.3.48	Vertausche Halbbytes im Akkumulator (SWAP A)	129
2.3.49	Vertausche variables Byte mit Akkumulatorinhalt (XCH A,<Byte>)	129
2.3.50	Vertausche unteres Halbbyte indirekt aus RAM mit unterem Halbbyte des Akkumulators (XCHD A,@Ri)	130
2.3.51	Verknüpfe Byte-Variable durch logisches Exklusiv-ODER (XRL <Zielbyte>,<Quellenbyte>)	130

3 Einführung in den Assembler 133

3.1	Programmierung des Mikrocontrollers	134
3.1.1	Assemblerprogrammierung	134
3.1.2	Editoren	141
3.1.3	Cross-Assembler	146

3.1.4	Emulatoren und Stand-alone Debug-Stationen	149
3.2	Entwicklungshilfen für die Simulation in Multisim	156
4	Einfache Beispiele in Assembler	161
4.1	Beispiele für einfache Systemerweiterungen	163
4.1.1	Ein- und Ausgabe von Informationen	163
4.1.2	Ansteuerung einer Glühlampe	164
4.1.3	Ansteuerung von zwei Leuchtdioden durch zwei Taster	166
4.1.4	Eingabe durch DIL-Schalter und Ausgabe mittels Baranzeige ...	166
4.1.5	UND-Verknüpfung	167
4.1.6	ODER-Verknüpfung	169
4.1.7	Exklusiv-ODER-Verknüpfung	170
4.1.8	Komplementiere Akkumulator	172
4.1.9	NAND-Verknüpfung	173
4.1.10	NOR-Verknüpfung	174
4.1.11	Inklusiv-ODER-Verknüpfung	176
4.1.12	Inhibition-Verknüpfung	177
4.1.13	Implikations-Verknüpfung mit zwei DIL-Schaltern	178
4.1.14	Logikkonverter für Verknüpfungen der Booleschen Algebra ...	179
4.1.15	Bitmustergenerator	183
4.1.16	Logikanalysator	186
4.2	Arithmetische Befehle	189
4.2.1	INR-Befehl	189
4.2.2	DEC-Befehl	190
4.2.3	ADD-Befehl (Tetradenaddition)	191
4.2.4	SUBB-Befehl (Tetraden-Subtraktion)	193
4.2.5	Dezimalkorrektur des Akkumulators bei Addition	197
4.2.6	Multiplikations- und Divisions-Algorithmen	199
4.2.7	4-Bit-Multiplizierer	207
4.2.8	4-Bit-Dividierer	208
4.2.9	8-Bit-Addierer	209
4.2.10	8-Bit-Subtrahierer	210
4.3	Zyklisches Verschieben von Registern	211
4.3.1	Rotieren des Akkumulators nach links	211
4.3.2	Rotieren des Akkumulators nach rechts	213
4.3.3	Rotieren des Akkumulators durch das Carrybit nach links	213
4.3.4	Rotieren des Akkumulators durch das Carrybit nach rechts	214
4.3.5	Vertausche Register mit Akkumulator	215
4.4	Befehle zur internen Datenübertragung	216
4.4.1	Datenübertragung vom Register in Akkumulator	217
4.4.2	Laden und Lesen eines Registers in oder aus dem Speicher	220
4.4.3	Laden und Lesen eines Registers aus der Peripherie	221

4.4.4	Unmittelbares Laden und Speichern eines Registers.	222
4.4.5	Ab Speichern eines Registers im Speicher und in der Peripherie . . .	223
5	Eingabe- und Ausgabeeinheiten beim Mikrocontroller.	227
5.1	Mikrocontrollerschaltungen.	227
5.1.1	State-Logikanalysator	229
5.1.2	Transitional-Timing-Verfahren	233
5.1.3	Analog-Digital-Wandler am Logikanalysator	242
5.1.4	Digital-Analog-Wandler am Logikanalysator	253
5.1.5	Mikrocontroller mit AD-Wandler	262
5.1.6	Mikrocontroller mit AD- und DA-Wandler	263
5.1.7	Programmierung des Einganges.	264
5.1.8	Programmierung der Eingänge	264
5.1.9	Schnittstelle für externen Zähler (0 bis 99)	267
5.1.10	Schnittstelle für zwei 8-Bit-AD-Wandler.	268
5.1.11	Mikrocontroller mit 16-Bit-AD-Wandler.	274
5.1.12	Einfache Schnittstelle für 8-Bit-Ausgabe	275
5.1.13	Zwei 8-Bit-DA-Wandler am Mikrocontroller	277
5.1.14	16-Bit-DA-Wandler am Mikrocontroller	278
5.1.15	Einfacher Ein-/Ausgangsbetrieb	282
5.1.16	UND-Verknüpfungen mit Ein-/Ausgangsbetrieb.	284
5.1.17	AD- und DA-Wandlersystem.	285
5.2	Analogschalter	289
5.2.1	Schalterfunktionen der Analogschalter	292
5.2.2	Operationsverstärker mit digitaler Ansteuerung	295
5.2.3	Digital ansteuerbarer Tief- und Hochpass	298
5.2.4	Sample & Hold-Schaltungen	302
5.2.5	Invertierende S&H-Einheit	308
5.2.6	Gegengekoppelte S&H-Einheit	309
5.2.7	Abtastung und Speicherung von Extremwerten.	310
5.2.8	Multiplexer mit Analogschalter	311
5.3	Einheiten der elektronischen Messwerterfassung	314
5.3.1	Aufbau eines Datenerfassungssystems	315
5.3.2	Messdatenerfassung ohne Abtast- und Halteeinheit	318
5.3.3	Zeitmultiplexe Messdatenerfassung mit Abtast- und Halteeinheit	319
5.3.4	Antialiasing-Filter	323
5.4	Externe Speichereinheiten	324
5.4.1	Adressierung eines externen Datenspeichers mit 2 Kbyte.	330
5.4.2	Schreib- und Lesebetrieb mit einem RAM 6116.	337
5.4.3	Adressierung eines externen Datenspeichers mit 4 Kbyte.	339
5.4.4	Adressierung eines externen 8-Kbyte-Datenspeichers	343

5.4.5	Adressierung eines externen 8-Kbyte-Befehlsspeichers	343
5.4.6	Adressierung eines externen 8-Kbyte-Daten- und 8-Kbyte-Befehlsspeichers	352
5.4.7	Stackpointer	353
6	Programmschleifen, Sprungbefehle, Arithmetik und erweiterte Programme	361
6.1	Grundfunktionen und Programmierrichtlinien	368
6.1.1	Einerkomplement	369
6.1.2	8-Bit-Addition	370
6.1.3	8-Bit-Subtraktion	374
6.1.4	8-Bit-Multiplikation	375
6.1.5	8-Bit-Division	379
6.1.6	Verschieben um eine Bitstelle nach rechts oder links	382
6.1.7	Maskieren der höchstwertigen Bitstelle	383
6.1.8	Vertauschen der nieder- und höherwertigen Halbbytes	384
6.1.9	Löschen eines Speicherplatzes	384
6.1.10	Zerlegung eines Bytes	385
6.1.11	Finden der Größeren von zwei Zahlen	388
6.1.12	16-Bit-Addition	389
6.1.13	16-Bit-Einerkomplement	391
6.1.14	Subtraktion durch Komplementaddition	392
6.1.15	Berechnung von Quadraten	396
6.1.16	Verschiebung um zwei Bitstellen	398
6.2	Multiplikations- und Divisionsprogramme	403
6.2.1	Multiplikationsprogramm $8 \cdot 8$ ohne Vorzeichen	404
6.2.2	Divisionsprogramm $8 : 8$ ohne Vorzeichen	405
6.2.3	Multiplikationsprogramm $16 \cdot 8$ ohne Vorzeichen	406
6.2.4	Multiplikationsprogramm $8 \cdot 8$ mit Vorzeichen	408
6.3	Programmschleifen	417
6.3.1	Summe von Daten	419
6.3.2	16-Bit-Summe von Daten	419
6.3.3	Anzahl der negativen Elemente	422
6.3.4	Finden des Maximums	424
6.3.5	Justieren einer gebrochenen Binärzahl (Gleitkommazahl)	426
7	Zeitgeber, Zähler, DMA, Interrupt und serielle Schnittstelle	431
7.1	Grundlagen von Zeitgeber, Zähler, DMA und serielle Schnittstelle	435
7.1.1	Programmierbarer Zähler-/Zeitgeber-Baustein 8253	435
7.1.2	Betriebsarten des 8253	440
7.1.3	Schreib-/Leseverfahren	444
7.2	Programmierbarer Steuerbaustein 8257 für direkten Speicherzugriff (DMA)	447

7.2.1	Betriebsarten des programmierbaren DMA-Steuerungsbausteins 8257	449
7.2.2	Aufruf und Quittierung des DMA-Controllers	452
7.2.3	Programmierung und Lesen der Register des 8257	456
7.3	Programmierbarer Interrupt-Controller 8259A	459
7.3.1	Interrupt-Controller 8259A	460
7.3.2	Ausgabedaten während des Unterbrechungsablaufs	464
7.3.3	Programmierung des 8259A	465
7.3.4	Prioritätslogik und Unterbrechungsanforderung	471
7.4	Programmierbarer Serienschnittstellen-Baustein 8251A	475
7.4.1	Asynchronbetrieb und Synchronbetrieb des 8251A	476
7.4.2	Synchron/Asynchroner Sender/Empfänger	479
7.4.3	Serielle Empfangsdaten	483
7.4.4	Empfangssteuerung des 8251A	484
7.4.5	Synchron- und Asynchronbetrieb	487
7.4.6	Betriebsarten des 8251A	489
8	Embedded System, IP-Core und IoP	495
8.1	Hard- und Soft-IP	496
8.2	Eingebettete Systeme	500
8.2.1	Hardware von Embedded Systems	501
8.2.2	IoT und IIoT	504
8.2.3	Transport Control Protocol	510
8.2.4	Gateways und Router	518
8.2.5	Schutz durch Firewalls	525
8.2.6	Übertragungsprotokolle	531
8.2.7	DNS-Adressbuch	538
8.2.8	Anwendungsprotokolle	546
8.2.9	Netzwerke für verschiedene Endgeräte unterschiedlicher Hersteller	555
8.2.10	Web-Protokolle	562
8.2.11	E-Mail	569
8.3	Entwürfe elektronischer Systeme	577
8.3.1	Schaltungssynthese	582
8.3.2	Grundlagen der FPGA-Technik	589
8.4	OrCAD-Capture	600
8.4.1	OrCAD Design Flow	601
8.4.2	PSpice mit analogem und digitalem Simulator	606
8.4.3	Eröffnen eines neuen Projektes	609
8.4.4	Transienten-Simulation	620
8.4.5	Analysieverfahren	629

8.5	FPGA und VHDL	649
8.5.1	FPGA und Logikblöcke	652
8.5.2	Auswahl eines geeigneten FPGA.	654
8.5.3	VHDL-Simulation in ORCAD.	655
8.5.4	Anlegen eines neuen Projektes	658
9	Definitionen technischer Begriffe	669
	Literatur.	743