

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

#### Εισαγωγή στα ενσωματωμένα συστήματα

1.1 Βασική δομή ενός υπολογιστικού συστήματος	9
1.2 Κατηγοριοποίηση υπολογιστικών συστημάτων	10
1.3 Ενσωματωμένα συστήματα	11
1.4 Ενσωματωμένες εφαρμογές	13
1.4.1 Ψηφιακό καταγραφικό θερμοκρασίας και υγρασίας	13
1.4.2 Αντιπλοκαριστικό σύστημα πέδησης	13
1.4.3 Ενσωματωμένο σύστημα αερόσακου	15
1.4.4 Ψηφιακή φωτογραφική μηχανή	17
1.4.5 Έξυπνα τηλέφωνα	18
1.5 Βασικές έννοιες γλωσσών προγραμματισμού	20
1.5.1 Γλώσσες προγραμματισμού υψηλού επιπέδου	22
1.5.2 Γλώσσα Περιγραφής υλικού (VHDL)	24
1.6 Σχεδίαση και ανάπτυξη ενσωματωμένων συστημάτων	24
1.7 Κύριες μονάδες ενσωματωμένων συστημάτων	30
1.7.1 Μικροελεγκτές	30
1.7.2 Επεξεργαστές ψηφιακών σημάτων	31
1.7.3 Ολοκληρωμένη διάταξη ειδικής εφαρμογής (ASIC)	32
1.7.4 Σύστημα σε ολοκληρωμένο (SoC)	33
1.7.5 Προγραμματιζόμενο σύστημα σε ολοκληρωμένο (SoC)	33
1.7.6 Προγραμματιζόμενη λογική	33
1.7.6.1 Προγραμματιστικά κύτταρα SRAM	35
1.7.7 Προγραμματιζόμενη λογική διάταξη (PLD)	36
1.7.8 Προγραμματιζόμενος λογικός πίνακας (PLA)	37
1.7.9 Προγραμματιζόμενος πίνακας λογικής (PLA)	37
1.7.10 Γονικός πίνακας λογικής	38
1.7.11 Σύνθετη προγραμματιζόμενη διάταξη (CPLD)	38
1.7.12 Διατάξεις αναδιατασσόμενου προγραμματιζόμενου πεδίου πυλών	38

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

#### Ενσωματωμένα συστήματα και UML

2.1 Εισαγωγή στη γλώσσα UML	43
2.2 Διαγράμματα κατά UML	46
2.2.1 Διαγράμματα συνθηκών χρήσης	46
2.2.2 Διαγράμματα κλάσεων	49
2.2.3 Διαγράμματα καταστάσεων	61
2.2.4 Διάγραμμα δραστηριοτήτων	63
2.2.5 Διαγράμματα ακολουθίας	65
2.2.5.1 Λειτουργία εναλλαγής	69
2.2.5.2 Λειτουργία Επιλογής	71
2.2.5.3 Λειτουργία βρόχου	72
2.2.5.4 Λειτουργία αναφοράς	73
2.2.5.5 Λειτουργία δημιουργίας νέου αντικειμένου	74
2.2.5.6 Λειτουργία εξαίρεσης	75
2.2.5.7 Παράλληλη λειτουργία	76

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

2.2.6 Διαγράμματα συνεργασίας	77
2.2.7 Διαγράμματα συστατικών	77
2.2.8 Διάγραμμα υλοποίησης	78

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Επεξεργαστές

3.1 Επεξεργαστής	81
3.2 Η αρχιτεκτονική συνόλου εντολών	82
3.2.1 Μοντέλα αρχιτεκτονικής συνόλου εντολών	85
3.3 Εσωτερική δομή και λειτουργία επεξεργαστών	86
3.3.1 Λειτουργία Κ.Μ.Ε.	87
3.3.2 Διοχέτευση (pipeline)	88
3.3.2.1 Κίνδυνοι σε διοχέτευση	93
3.3.3 Ρολόι Συστήματος	100
3.3.4 Μονάδα Ελέγχου	100
3.3.5 Αριθμητική Λογική Μονάδα	101
3.3.6 Καταχωρητές (Registers)	102
3.3.7 Μονάδες Διαχείρισης Μνήμης (MMU)	104
3.3.8 Μονάδα εισόδου/εξόδου	105
3.3.8.1 Παράλληλη είσοδος/έξοδος	105
3.3.8.2 Σειριακή είσοδος/έξοδος	108
3.3.9 Διακοπές	108
3.4 Μεθοδολογία κατασκευής επεξεργαστών	111
3.4.1 Κατασκευή wafer	111
3.5 Μέθοδοι μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας (πράσινοι επεξεργαστές)	113
3.6 Απόδοση επεξεργαστών και επίδραση στον προγραμματισμό ενσωματωμένων συστημάτων	116
3.7 Ενσωματωμένοι επεξεργαστές (Μικροελεγκτές)	120

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Ο επεξεργαστής MIPS

4.1 Εισαγωγή	123
4.2 Οργάνωση του επεξεργαστή MIPS	124
4.2.1 Οργάνωση μνήμης του επεξεργαστή MIPS	124
4.2.2 Οργάνωση μνήμης σε λειτουργία χρήστη	126
4.3 Καταχωρητές Γενικού Σκοπού	129
4.4 Δομή και οργάνωση των εντολών του επεξεργαστή MIPS	130
4.5 Μέθοδοι διευθυνσιοδότησης του MIPS	136
4.5.1 Διευθυνσιοδότηση καταχωρητή	136
4.5.2 Διευθυνσιοδότηση βάσης	136
4.5.3 Άμεση διευθυνσιοδότηση	137
4.5.4 Διευθυνσιοδότηση συσχετιζόμενη με τον μετρητή προγράμματος (PC – Relative Addressing)	138
4.6 Κλήση διαδικασιών & στοίβα	138
4.7 Εξοπλισμός για μελέτη επεξεργαστών	146

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

4.8 Προγραμματισμός του MIPS και το εργαλείο PCSPIM	147
4.9 Ο τομέας της μνήμης δεδομένων του MIPS	153
4.10 Πίνακες δεδομένων	161
4.11 Δομή προγράμματος και υπηρεσίες λειτουργικού συστήματος του PCSPIM	167
4.12 Έλεγχος ροής του προγράμματος	175
4.13 Συναρτήσεις, διαδικασίες και στοίβα	182
4.14 Προγραμματισμός του MIPS με γλώσσες υψηλού επιπέδου	188
4.14.1. Δομή ενός προγράμματος C και σύγκριση με ένα πρόγραμμα assembly	188
4.14.2. Μεταγλώττιση ενός προγράμματος C	190
4.15. Μία πραγματική υλοποίηση με τον επεξεργαστή MIPS	193
4.16 Ο μικροελεγκτής PIC32MX360F512L	195
4.16.1 Οργάνωση μνήμης των μικροελεγκτών PIC32MX	199
4.16.2 Υποστήριξη εκσφαλμάτωσης και παρακολούθησης κώδικα	201
4.16.3 Το εκπαιδευτικό kit PIC32 Starter Kit	202
4.16.4 Το περιβάλλον δημιουργίας εφαρμογών MPLAB	206
4.16.5 Προετοιμασία για τη μελέτη του επεξεργαστή MIPS σε ενσωματωμένα συστήματα	212
4.16.6 Δημιουργία μίας πραγματικής εφαρμογής ενσωματωμένου συστήματος που χρησιμοποιεί τον επεξεργαστή MIPS	213
4.16.7 Χρήση των διαδικασιών εκσφαλμάτωσης για εισαγωγή και εξαγωγή δεδομένων από τον επεξεργαστή	227

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Μονάδες μνήμης

5.1 Εισαγωγή	255
5.2 Κατηγοριοποίηση μονάδων μνήμης	256
5.2.1 Η μνήμη RAM	256
5.2.2 Η μνήμη ROM	258
5.2.3 Η λανθάνουσα μνήμη	258
5.2.3.1 Λανθάνουσα μνήμη ευρείας απεικόνισης	259
5.2.3.2 Πλήρως συσχετιστική λανθάνουσα μνήμη	263
5.2.3.3 Συνολοσυσχετιστική λανθάνουσα μνήμη	264
5.2.3.4 Μέσος χρόνος προσπέλασης μνήμης	264
5.3 Αναπαράσταση δεδομένων κατά big-endian και little-endian	266
5.4 Χαρτογράφηση της μνήμης και διαχείριση	266
5.5 Επικοινωνία με ολοκληρωμένα κυκλώματα μνήμης	273
5.6 Άμεση προσπέλαση μνήμης	274
5.7 Χαρακτηριστικά μονάδων μνήμης και πεδία εφαρμογών	276
5.7.1 Χρόνος κύκλου ανάγνωσης SRAM	276
5.7.2 Χρόνος κύκλου εγγραφής SRAM	277
5.7.3 Καθυστερήσεις στους χρόνους εγγραφής και ανάγνωσης μίας μνήμης SRAM	278
5.7.4 Λογισμική διαχείριση μνήμης	280
5.7.4.1 Δείκτες	280
5.7.4.2 Δέσμευση χώρου στη μνήμη	281
5.7.4.3 Αποδέσμευση χώρου της μνήμης	283

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**  
**Συστήματα πραγματικού χρόνου**

6.1 Βασικές έννοιες	285
6.2 Χρονοδρομολόγηση /Χρονοπρογραμματισμός	293
6.2.1 Αλγόριθμος μονότονου ρυθμού	296
6.2.2 Σχεδίαση χρονοδιαγράμματος κατά RM	299
6.2.2.1 Χρονοδρομολόγηση με το λογισμικό Cheddar	300
6.2.3 Γράφημα χρονοδρομολόγησης	303
6.2.4 Χρονοδρομολόγηση EDF	308
6.2.5 Σύγκριση RM και EDF	314
6.2.6 Αλγόριθμος αντίστροφης χρονικής προθεσμίας.	315
6.2.7 Αλγόριθμος μικρότερης περιόδου χαλαρότητας.	316
6.3 Αλγόριθμος χρονοδρομολόγησης εξαρτημένων εργασιών	317
6.4 Γράφημα σειράς	319

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7**  
**Περιφερειακές μονάδες ενσωματωμένων συστημάτων**

7.1 Εισαγωγή	325
7.2 Κατηγοριοποίηση περιφερειακών μονάδων	328
7.3 Αναλογικές περιφερειακές μονάδες	328
7.3.1 Ενισχυτής	329
7.3.2 Φίλτρο	331
7.3.3 Ακόλουθος τάσης	334
7.3.4 Αναλογικός συγκριτής	335
7.3.5 Μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό	337
7.3.5.1 Ανάλυση μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό	338
7.3.5.2 Χρήση μετατροπέων A/D σε ενσωματωμένα συστήματα	344
7.3.6 Μετατροπέας ψηφιακού σήματος σε αναλογικό	353
7.3.7 Ένεργοποιητής ισχύος	356
7.3.8 Αισθητήρες	360
7.3.9 Διακόπτες και πλήκτρα	363
7.3.9.1 Αποφυγή φαινομένου αναπήδησης μέσω υλικού	365
7.3.9.2 Αποφυγή φαινομένου αναπήδησης μέσω λογισμικού	366
7.4 Ψηφιακές περιφερειακές μονάδες	369
7.4.1 Απαριθμητές	369
7.4.2 Χρονιστές	376
7.4.3 Ο χρονιστής εποπτείας του συστήματος	382
7.4.4 Περιφερειακές μονάδες σειριακής επικοινωνίας	383
7.4.4.1 Η μονάδα USART	385
7.4.4.2 Ο διάυλος I2C	386
7.4.4.3 Ο διάυλος SPI	389
7.4.4.4 Ο διάυλος USB	391
7.4.5 Περιφερειακές μονάδες παραγωγής τετραγωνικών παλμών διαμορφωμένων κατά εύρος	391
7.4.6 Μονάδες σύλληψης ενδεχομένων	394
7.4.7 Μονάδα ανίχνευσης υψηλής/χαμηλής τάσης HLVD	396

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

7.4.8 Περιφερειακές μονάδες ένδειξης	396
7.4.8.1 Ενδείκτες με χρήση διόδων φωτοεκπομπής LED	396
7.4.8.2 Η οθόνη LCD	399
7.4.9 Περιφερειακές μονάδες διαχείρισης ώρας και ημερομηνίας RTCC	401
7.5 Διασύνδεση περιφερειακών μονάδων για σύνθεση ενσωματωμένου συστήματος	403

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### Διατάξεις αναδιατασσόμενου προγραμματιζόμενου πεδίου πυλών

8.1 Η δομή ενός FPGA	407
8.2 Διαμορφώσιμο λογικό μπλοκ	409
8.3 Προγραμματιζόμενος πίνακας διακοπών	411
8.4 Μπλοκ εισόδου/εξόδου	414
8.5 Μονάδα διαχείρισης ρολογιού	414
8.6 Μπλοκ μνήμης RAM	415
8.7 Μπλοκ πολλαπλασιαστών	415
8.8 Προγραμματισμός FPGA	415
8.9 Πρότυπο JTAG	416
8.10 Υλικό και λογισμικό ανάπτυξης εφαρμογών FPGA	417
8.11 Εισαγωγή στη γλώσσα VHDL	419
8.11.1 Τύποι δεδομένων και αντικείμενων	420
8.11.2 Σήματα	420
8.11.3 Σταθερά	423
8.11.4 Μεταβλητή	423
8.11.5 Τύποι δεδομένων	423
8.11.6 Εισαγωγή σχολίων στον κώδικα	424
8.11.7 Τελεστές πράξεων	425
8.11.8 Βιβλιοθήκες	425
8.12 Οντότητα και αρχιτεκτονική	426
8.13 Αρχιτεκτονικές προγραμματισμού	428
8.14 Παράλληλη και ακολουθιακή εκτέλεση εντολών	433
8.15 Η περιγραφή ροής δεδομένων (Dataflow description)	433
8.16 Περιγραφή συμπεριφοράς	435
8.17 Περιγραφή δομής	454
8.17.1 Εξαρτήματα (component)	454
8.17.2 Πακέτα (package)	455
8.18 Εντολή GENERIC	459
8.19 Testbench	460
8.20 Τρισταθής απομονωτής	460
8.21 Αναπήδηση σε διακόπτες (Switch Debouncer)	461
8.22 Μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων	462
8.23 Στοιχεία κατάστασης	471
8.23.1 Ακολουθιακά κυκλώματα (Sequential Circuit)	471
8.23.2 RS flip flop	471
8.23.3 D flip flop	472
8.23.4 JK flip flop	474
8.23.5 T flip flop	475
8.24 Καταχωρητές	476
8.24.1 Καταχωρητές ολίσθησης	477

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

8.25 Μετρητές	479
Ασκήσεις	481
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9</b>	
<b>Εργαλεία προγραμματισμού και ανάπτυξης εφαρμογών</b>	
9.1 Ανάπτυξη με το Quartus II της ALTERA	483
9.2 Ανάπτυξη με το ISE Design Suite της Xilinx	537
9.3 Το λογισμικό ModelSim	552
9.4 MATLAB και προγραμματισμός FPGA	571
9.5 LabVIEW και προγραμματισμός FPGA	583
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10</b>	
<b>Ο μικροελεγκτής AVR ATmega 328</b>	
10.1 Η αρχιτεκτονική του ATmega328	587
10.2 Δομή εντολών της αρχιτεκτονικής AVR 8-bit	591
10.3 Προγραμματισμός σε υψηλότερα επίπεδα	593
10.4 Εφαρμογές με τον μικροελεγκτή ATmega328	595
10.5 Διαχείριση εισόδου και διακοπών μικροελεγκτή	603
10.6 Μονάδες χρονιστών/απαριθμητών και παραγωγής παλμών	612
10.7 Παραγωγή παλμών διαμορφωμένου εύρους PWM	620
10.8 Η πλατφόρμα Arduino	629
10.9 Διάσυνδεση μονάδων Arduino με ηλεκτρονικό υπολογιστή	633
10.10 Το περιβάλλον Arduino IDE	633
10.11 LabVIEW και Arduino	636
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11</b>	
<b>Το διαδίκτυο των αντικειμένων IoT (Internet of Things)</b>	
11.1 Διαδικτυακά κανάλια επικοινωνίας και πλατφόρμες IoT	639
11.2 Όγκος πληροφοριών και ασφάλεια	640
11.3 Πλατφόρμες IoT	641
11.4 Προγραμματισμός εφαρμογών IoT με το NODE-RED	642
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12</b>	
<b>Μεθοδολογία κατασκευής τυπωμένου κυκλώματος</b>	
12.1 Εισαγωγή	647
12.2 Κατασκευή τυπωμένου κυκλώματος	648
12.2.1 Μέθοδος μεταφοράς PCB με υπεριώδη ακτινοβολία	649
12.2.2 Μέθοδος μεταφοράς PCB με θέρμανση τόνερ	649
<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ</b>	<b>651</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>655</b>