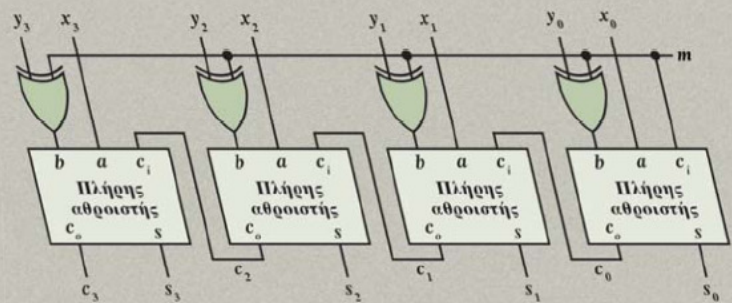


Βασικές εξειδικεύσεις σε αρχιτεκτονική και δίκτυα υπολογιστών



Τόμος Α΄

Λάμπρος
Μπισδούνης
Καθηγητής ΤΕΙ
Δυτικής Ελλάδας



Ψηφιακά Συστήματα



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του υποέργου 2 με τίτλο «Ανάπτυξη έντυπου εκπαιδευτικού υλικού για τα νέα Προγράμματα Σπουδών» της Πράξης «Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο» η οποία έχει ενταχθεί στο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Εκπαίδευση και Διά Βίου Μάθηση» (ΕΠΕΔΒΜ) του ΕΣΠΑ (2007-2013), Άξονας Προτεραιότητας 7: «Ενίσχυση της Διά Βίου Εκπαίδευσης Ενηλίκων στις 8 Περιφέρειες Σύγκλισης» με κωδικό MIS 296121 και η οποία συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο – ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους, μέσω του Προγράμματος Δημοσίων Επενδύσεων (ΠΔΕ) του ΥΠΑΙΘ.

Ψηφιακά Συστήματα

Σημείωση

Το ΕΑΠ είναι υπεύθυνο για την επιμέλεια έκδοσης και την ανάπτυξη των κειμένων σύμφωνα με τη Μεθοδολογία της εξ Αποστάσεως Εκπαίδευσης. Για την επιστημονική αριότητα και πληρότητα των συγγραμμάτων την αποκλειστική ευθύνη φέρουν οι συγγραφείς, κριτικοί αναγνώστες και ακαδημαϊκοί υπεύθυνοι που ανέλαβαν το έργο αυτό.

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας

Πρόγραμμα Σπουδών
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗ ΣΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Θεματική Ενότητα
ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΕΙΣ ΣΕ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Τόμος Α'
Ψηφιακά Συστήματα

Συγγραφή
ΛΑΜΠΡΟΣ ΜΠΙΣΔΟΥΝΗΣ
Καθηγητής ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

Κριτική Ανάγνωση
ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣ ΚΙΤΣΟΣ
Επίκουρος Καθηγητής ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

Ακαδημαϊκός Υπεύθυνος για την ανάπτυξη του έντυπου διδακτικού υλικού του ΠΣ
ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΒΕΡΥΚΙΟΣ
Αναπληρωτής Καθηγητής Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου

Συντονιστής για την ανάπτυξη του έντυπου διδακτικού υλικού της ΘΕ
ΟΔΥΣΣΕΑΣ ΚΟΥΦΟΠΑΥΛΟΥ
Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών

Ειδικός στη Μεθοδολογία της Ανοικτής και εξ Αποστάσεως Εκπαίδευσης
ΑΔΑΜΑΝΤΙΑ ΣΠΑΝΑΚΑ

Γλωσσική Επιμέλεια
ΦΩΤΕΙΝΗ ΣΟΥΛΙΩΤΗ

Τεχνική Επιμέλεια – Καλλιτεχνική Επιμέλεια – Σελιδοποίηση
ΒΙΒΛΙΟΤΕΧΝΙΑ
ΠΑΠΠΑΣ ΦΩΤΙΟΣ - ΔΟΥΒΟΥ ΣΕΒΑΣΤΗ Ο.Ε.

ISBN: 978-960-538-961-1

Κωδικός Έκδοσης: ΠΛΣ 51/Α

Copyright © 2015 για την Ελλάδα και όλο τον κόσμο
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Πάροδος Αριστοτέλους 18, 26335 Περιβόλα Πατρών – Τηλ.: 2610 367300, Φαξ: 2610 367650

Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις του Ελληνικού Νόμου (Ν. 2121/1993 όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής αδειάς του εκδότη, κατά οποιονδήποτε τρόπο ή μέσο, αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρονική, μηχανική κ.λπ.) και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου.



Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας

Πρόγραμμα Σπουδών

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗ ΣΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Θεματική Ενότητα

**ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΕΙΣ ΣΕ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

Τόμος Α΄

Ψηφιακά Συστήματα

ΛΑΜΠΡΟΣ ΜΠΙΣΔΟΥΝΗΣ

Καθηγητής ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

ΠΑΤΡΑ 2015

Βιογραφικό

Ο Λάμπρος Μπασδούνης είναι Καθηγητής στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας. Είναι κάτοχος διπλώματος Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και διδακτορικού διπλώματος από το τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών. Έχει συνεργαστεί με τη Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας του Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου και με το τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας ως μέλος ΣΕΠ και συμβασιούχος διδάσκων στη βαθμίδα του Λέκτορα, αντίστοιχα. Έχει, επίσης, εργαστεί για οκτώ έτη ως μηχανικός ανάπτυξης και συντονιστής ερευνητικών έργων στην εταιρεία τηλεπικοινωνιακών συστημάτων INTRACOM TELECOM. Τα ερευνητικά του ενδιαφέροντα περιλαμβάνουν τη μοντελοποίηση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και στοιχείων, το σχεδιασμό ηλεκτρονικών κυκλωμάτων χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και την ανάπτυξη ενσωματωμένων συστημάτων. Έχει δημοσιεύσει 30 άρθρα σε διεθνή περιοδικά και συνέδρια, έχει συμμετάσχει στη συγγραφή βιβλίων και έχει συγγράψει σημειώσεις διδασκαλίας και τεχνικές εκθέσεις στις προαναφερθείσες επιστημονικές περιοχές.

*Αφιερώνεται
στη Δημητρούλα*

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Παράσταση ψηφιακών δεδομένων και αριθμητικά συστήματα

<i>Σκοπός, Προσδοκώμενα Αποτελέσματα, Έννοιες-Κλειδιά, Εισαγωγικές Παρατηρήσεις</i>	13
1.1 Αναλογική και ψηφιακή παράσταση μεγεθών	16
1.2 Ψηφιακά συστήματα	21
1.3 Αριθμητικά συστήματα	26
1.3.1 Δυαδικό, οκταδικό και δεκαεξαδικό αριθμητικό σύστημα	26
1.3.2 Μετατροπή αριθμών μεταξύ συστημάτων διαφορετικής βάσης	30
1.4 Προσημασμένοι δυαδικοί αριθμοί και συμπληρώματα αριθμών	37
1.5 Αριθμητικές πράξεις δυαδικών αριθμών	43
1.5.1 Πρόσθεση και αφαίρεση δυαδικών αριθμών	43
1.5.2 Πολλαπλασιασμός δυαδικών αριθμών	49
1.5.3 Διαίρεση δυαδικών αριθμών	54
1.6 Παράσταση αριθμών κινητής υποδιαστολής	56
1.7 Δυαδικοί κώδικες	61
1.7.1 Δυαδικοί κώδικες παράστασης δεκαδικών αριθμών	61
1.7.2 Κώδικας Gray	64
1.7.3 Δυαδικοί κώδικες αλφαριθμητικών χαρακτήρων	65
1.7.4 Δυαδικοί κώδικες ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων	66

Σύνοψη	71
Λίστα Ελέγχου Γνώσεων	72
Ευρετήριο Όρων	73
Γλωσσάρι	76
Βιβλιογραφία	80
Οδηγός για Περαιτέρω Μελέτη	81
Απαντήσεις σε Ασκήσεις Αυτοαξιολόγησης	83
Απαντήσεις Δραστηριοτήτων	101
Κατάλογος σχημάτων	111
Κατάλογος πινάκων	112

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Άλγεβρα Boole και λογικές πύλες

Σκοπός, Προσδοκώμενα Αποτελέσματα, Έννοιες-Κλειδιά, Εισαγωγικές Παρατηρήσεις	113
2.1 Δίτιμη άλγεβρα Boole	116
2.2 Λογικές συναρτήσεις	123
2.2.1 Περιγραφή λογικών συναρτήσεων	123
2.2.2 Συμπληρωματικές λογικές συναρτήσεις	125
2.2.3 Θεωρήματα λογικών συναρτήσεων	126
2.2.4 Κανονικές και πρότυπες μορφές λογικών συναρτήσεων	128
2.3 Λογικές πύλες	134
2.4 Υλοποίηση λογικών πυλών με την τεχνολογία CMOS	141
2.5 Λογικά κυκλώματα	150
2.5.1 Λογικά κυκλώματα με πύλες NOT, AND και OR	150
2.5.2 Λογικά κυκλώματα με πύλες NAND και NOR	152
2.5.3 Λογικά κυκλώματα πολλών επιπέδων	154

<i>Σύνοψη</i>	159
<i>Λίστα Ελέγχου Γνώσεων</i>	160
<i>Ευρετήριο Όρων</i>	161
<i>Γλωσσάρι</i>	165
<i>Βιβλιογραφία</i>	168
<i>Οδηγός για Περαιτέρω Μελέτη</i>	169
<i>Απαντήσεις σε Ασκήσεις Αυτοαξιολόγησης</i>	171
<i>Απαντήσεις Δραστηριοτήτων</i>	185
<i>Κατάλογος σχημάτων</i>	189
<i>Κατάλογος πινάκων</i>	191

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ελαχιστοποίηση λογικών συναρτήσεων

<i>Σκοπός, Προσδοκώμενα Αποτελέσματα, Έννοιες-Κλειδιά, Εισαγωγικές Παρατηρήσεις</i>	193
3.1 Περιγραφή λογικών συναρτήσεων με χάρτες Karnaugh	197
3.2 Ελαχιστοποίηση λογικών συναρτήσεων με χάρτες Karnaugh	202
3.3 Υλοποίηση ελαχιστοποιημένων συναρτήσεων	214
3.4 Μερικώς καθορισμένες συναρτήσεις	219
3.5 Πρώτοι και βασικοί πρώτοι συνεπαγωγοί λογικής συνάρτησης	222
3.6 Ελαχιστοποίηση λογικών συναρτήσεων με τη μέθοδο των Quine και McCluskey	227
<i>Σύνοψη</i>	236
<i>Λίστα Ελέγχου Γνώσεων</i>	237
<i>Ευρετήριο Όρων</i>	238
<i>Γλωσσάρι</i>	239

<i>Βιβλιογραφία</i>	240
<i>Οδηγός για Περαιτέρω Μελέτη</i>	241
<i>Απαντήσεις σε Ασκήσεις Αυτοαξιολόγησης</i>	243
<i>Απαντήσεις Δραστηριοτήτων</i>	258
<i>Κατάλογος σχημάτων</i>	265
<i>Κατάλογος πινάκων</i>	268

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Συνδυαστικά κυκλώματα

<i>Σκοπός, Προσδοκώμενα Αποτελέσματα, Έννοιες-Κλειδιά, Εισαγωγικές Παρατηρήσεις</i>	269
4.1 Σύνθεση συνδυαστικών κυκλωμάτων	273
4.2 Ανάλυση συνδυαστικών κυκλωμάτων	282
4.3 Κωδικοποιητές και αποκωδικοποιητές	289
4.4 Πολυπλέκτες και αποπολυπλέκτες	299
4.5 Αριθμητικά συνδυαστικά κυκλώματα	310
<i>Σύνοψη</i>	318
<i>Λίστα Ελέγχου Γνώσεων</i>	319
<i>Ευρετήριο Όρων</i>	320
<i>Γλωσσάρι</i>	323
<i>Βιβλιογραφία</i>	325
<i>Οδηγός για Περαιτέρω Μελέτη</i>	326
<i>Απαντήσεις σε Ασκήσεις Αυτοαξιολόγησης</i>	328
<i>Απαντήσεις Δραστηριοτήτων</i>	344
<i>Κατάλογος σχημάτων</i>	355
<i>Κατάλογος πινάκων</i>	358

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Σύγχρονα ακολουθιακά κυκλώματα

<i>Σκοπός, Προσδοκώμενα Αποτελέσματα, Έννοιες-Κλειδιά, Εισαγωγικές Παρατηρήσεις</i>	359
5.1 Βασικά κυκλώματα μνήμης ακολουθιακών κυκλωμάτων – Μανταλωτές και φλιπ-φλοπ	363
5.1.1 Μανταλωτές	363
5.1.2 Φλιπ-φλοπ D	366
5.1.3 Ασύγχρονες εισοδοί και χρονικοί περιορισμοί των φλιπ-φλοπ.....	371
5.1.4 Φλιπ-φλοπ JK και T	374
5.2 Μοντέλα περιγραφής και μελέτης σύγχρονων ακολουθιακών κυκλωμάτων	379
5.3 Σύνθεση σύγχρονων ακολουθιακών κυκλωμάτων	388
5.4 Ελαχιστοποίηση πλήθους καταστάσεων σύγχρονων ακολουθιακών κυκλωμάτων	401
5.5 Κωδικοποίηση ή ανάθεση καταστάσεων σύγχρονων ακολουθιακών κυκλωμάτων	406
5.6 Ανάλυση σύγχρονων ακολουθιακών κυκλωμάτων	413
<i>Σύνοψη</i>	418
<i>Λίστα Ελέγχου Γνώσεων</i>	419
<i>Ευρετήριο Όρων</i>	420
<i>Γλωσσάρι</i>	424
<i>Βιβλιογραφία</i>	429
<i>Οδηγός για Περαιτέρω Μελέτη</i>	430
<i>Απαντήσεις σε Ασκήσεις Αυτοαξιολόγησης</i>	432
<i>Απαντήσεις Δραστηριοτήτων</i>	447

<i>Κατάλογος σχημάτων</i>	455
<i>Κατάλογος πινάκων</i>	459

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Βασικά ακολουθιακά κυκλώματα: Καταχωρητές και μετρητές

<i>Σκοπός, Προσδοκώμενα Αποτελέσματα, Έννοιες-Κλειδιά, Εισαγωγικές Παρατηρήσεις</i>	461
6.1 Παράλληλοι καταχωρητές.....	464
6.2 Καταχωρητές ολίσθησης.....	467
6.3 Σύγχρονοι δυαδικοί μετρητές	474
6.4 Σύγχρονοι μετρητές επαναλαμβανόμενης ακολουθίας αριθμών	483
6.5 Σύγχρονοι μετρητές με δυνατότητα παράλληλης φόρτωσης.....	489
6.6 Ασύγχρονοι μετρητές	491
<i>Σύνοψη</i>	496
<i>Λίστα Ελέγχου Γνώσεων</i>	497
<i>Ευρετήριο Όρων</i>	498
<i>Γλωσσάρι</i>	501
<i>Βιβλιογραφία</i>	503
<i>Οδηγός για Περαιτέρω Μελέτη</i>	504
<i>Απαντήσεις σε Ασκήσεις Αυτοαξιολόγησης</i>	505
<i>Απαντήσεις Δραστηριοτήτων</i>	519
<i>Κατάλογος σχημάτων</i>	525
<i>Κατάλογος πινάκων</i>	528

Συνοπτική παρουσίαση

Στο βιβλίο αυτό παρουσιάζονται τα βασικά εργαλεία για το σχεδιασμό ψηφιακών κυκλωμάτων, καθώς και οι βασικές έννοιες που αφορούν την ανάπτυξη των ψηφιακών συστημάτων.

Σκοπός του πρώτου κεφαλαίου του βιβλίου είναι η παρουσίαση της διάκρισης μεταξύ *αναλογικής* και *ψηφιακής παράστασης* ποσοτικών μεγεθών, των βασικών σταδίων μετατροπής ενός μεγέθους που παριστάνεται με αναλογικό τρόπο σε ψηφιακή μορφή, των βασικών αρχών λειτουργίας και των βασικών χαρακτηριστικών των ψηφιακών συστημάτων. Παράλληλα, αναλύονται βασικά *αριθμητικά συστήματα*, δίνοντας έμφαση στο *δυαδικό σύστημα* (λόγω του ότι τα ψηφιακά συστήματα χρησιμοποιούν δυαδικά σήματα ηλεκτρικής τάσης) και την εκτέλεση αριθμητικών πράξεων με αυτό. Παρουσιάζονται, επίσης, μέθοδοι *δυαδικής κωδικοποίησης* για διάφορες εφαρμογές.

Η αύξηση και η εξέλιξη των ανθρώπινων αναγκών σε διάφορους τομείς δραστηριοτήτων, (επικοινωνία, ιατρική, διασκέδαση, επεξεργασία και αποθήκευση δεδομένων για εμπορικές, βιομηχανικές και επιστημονικές δραστηριότητες), έχει προσδώσει στα *ψηφιακά συστήματα* κυρίαρχο ρόλο. Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας υλικών, των μεθοδολογιών και των εργαλείων σχεδιασμού ψηφιακών συστημάτων, έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη αξιόπιστων συστημάτων με υψηλές επιδόσεις και χαμηλό κόστος. Το μειονέκτημα της ψηφιακής επεξεργασίας είναι η ασυμβατότητα της με τα μεγέθη του πραγματικού κόσμου, τα οποία είναι κατά βάση αναλογικής μορφής, με αποτέλεσμα η χρήση των ψηφιακών συστημάτων να προϋποθέτει τη μετατροπή των φυσικών μεγεθών σε ψηφιακή μορφή.

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελείται από επτά ενότητες. Οι δύο πρώτες ενότητες αποτελούν στην ουσία μια εισαγωγή στα ψηφιακά συστήματα, αναλύοντας τους τρόπους παράστασης των ποσοτικών μεγεθών με έμφαση στην *ψηφιακή παράσταση* και παρουσιάζοντας τις βασικές αρχές λειτουργίας και τα πλεονεκτήματα των ψηφιακών συστημάτων. Στην τρίτη ενότητα παρουσιάζονται αριθμητικά συστήματα, με έμφαση στο δυαδικό σύστημα που είναι κατάλληλο για την παράσταση ψηφιακών δεδομένων, καθώς και η μεθοδολογία μετατροπής αριθμών μεταξύ διαφορετικών συστημάτων. Η τέταρτη ενότητα αφορά *δυαδικούς αριθμούς* με πρόσημο και εισάγει την έννοια του συμπληρώματος ενός αριθμού, ενώ η πέμπτη ενότητα πραγματεύεται την εκτέλεση βασικών πράξεων με δυαδικούς αριθμούς. Στην έκτη ενότητα περιγράφεται η παράσταση *αριθμών κινητής υποδιαστολής*. Η έβδομη ενότητα αναφέρεται στη δυαδική κωδικοποίηση δεκαδικών αριθμών και μη αριθμητικών χαρακτήρων, καθώς και

σε κώδικες για την ανίχνευση και τη διόρθωση σφαλμάτων κατά την επεξεργασία και τη μετάδοση δεδομένων.

Σκοπός του δευτέρου κεφαλαίου είναι η παρουσίαση της *δίτιμης άλγεβρας Boole* που αποτελεί το μαθηματικό εργαλείο για την περιγραφή των *λογικών συναρτήσεων* και κατ' επέκταση για την περιγραφή της λειτουργίας των ψηφιακών κυκλωμάτων. Το κεφάλαιο παρέχει, επίσης, το απαραίτητο υπόβαθρο για την ανάλυση και το χειρισμό λογικών συναρτήσεων, καθώς και για την υλοποίηση αυτών με λογικές πύλες.

Τα ψηφιακά συστήματα χειρίζονται δυαδικά σήματα ηλεκτρικής τάσης με δύο διακριτές στάθμες, οι οποίες εκφράζονται με δύο λογικές τιμές, 0 και 1. Τα σημερινά ψηφιακά κυκλώματα υλοποιούνται με τρανζίστορ, τα οποία παρουσιάζουν δύο επιτρεπτές καταστάσεις λειτουργίας, αντίστοιχες με τις λογικές τιμές 0 και 1. Έτσι, για τη σχεδίαση και την ανάλυση των ψηφιακών συστημάτων, είναι απαραίτητη η χρήση ενός αλγεβρικού συστήματος, οι μεταβλητές του οποίου λαμβάνουν μόνο αυτές τις δύο τιμές. Οι βάσεις για το σύστημα αυτό τέθηκαν το 1854 από τον *George Boole*, ο οποίος ανέπτυξε ένα αλγεβρικό σύστημα (που αναφέρεται ως *άλγεβρα Boole*) για τη συστηματική αντιμετώπιση της λογικής. Τα αξιώματα της άλγεβρας αυτής, διατυπώθηκαν το 1904 από τον *Edward Huntington*. Το 1938, ο *Claude Elwood Shannon* εισήγαγε τη *δίτιμη άλγεβρα Boole* για να εκφράσει τις ιδιότητες ηλεκτρικών κυκλωμάτων διακοπών με δύο καταστάσεις, η οποία μας επιτρέπει να εκφράσουμε και τη σχέση μεταξύ των εισόδων και των εξόδων ενός ψηφιακού κυκλώματος. Η *δίτιμη άλγεβρα Boole* πραγματεύεται δυαδικές μεταβλητές και λογικές πράξεις, οι οποίες υλοποιούνται με ηλεκτρονικά κυκλώματα που ονομάζονται *λογικές πύλες*, τα κύρια στοιχεία των οποίων είναι τα τρανζίστορ.

Το δεύτερο κεφάλαιο αποτελείται από πέντε ενότητες. Στην πρώτη από αυτές παρουσιάζονται βασικοί ορισμοί, αξιώματα, θεωρήματα και ιδιότητες της *δίτιμης άλγεβρας Boole*. Η δεύτερη ενότητα αφορά τις *λογικές συναρτήσεις*, δηλαδή, τις αλγεβρικές εκφράσεις που περιλαμβάνουν λογικές πράξεις μεταξύ δυαδικών μεταβλητών. Παρουσιάζονται οι βασικοί τρόποι περιγραφής μιας λογικής συνάρτησης, οι αλγεβρικοί μετασχηματισμοί που μπορούν να γίνουν σε αυτή, ώστε να αποκτήσει απλούστερη μορφή, καθώς και οι διαφορετικές μορφές που αυτή μπορεί να λάβει. Η τρίτη ενότητα είναι αφιερωμένη στην παρουσίαση της λειτουργικότητας των λογικών πυλών, ενώ η τέταρτη ενότητα αναφέρεται στην υλοποίηση ψηφιακών λογικών πυλών με τη σύγχρονη *τεχνολογία CMOS*. Τέλος, στην πέμπτη ενότητα παρουσιάζεται η υλοποίηση λογικών συναρτήσεων με λογικά κυκλώματα, χρησιμοποιώντας λογικές πύλες διαφόρων τύπων.

Σκοπός του τρίτου κεφαλαίου αυτού είναι η παρουσίαση συστηματικών μεθόδων για την ελαχιστοποίηση των λογικών συναρτήσεων, έτσι ώστε να είναι εφικτή η υλοποίησή τους σε λογικά κυκλώματα με τη μικρότερη δυνατή πολυπλοκότητα.

Οι αλγεβρικοί μετασχηματισμοί που βασίζονται στα αξιώματα και τα θεωρήματα της άλγεβρας Boole, μπορούν να οδηγήσουν σε απλοποιημένες μορφές αλγεβρικών εκφράσεων ή λογικών συναρτήσεων, έτσι ώστε να μπορεί να επιτευχθεί η υλοποίησή τους με μικρότερο αριθμό λογικών πυλών. Ωστόσο, η χρήση αλγεβρικών μετασχηματισμών, δεν είναι εύκολο να οδηγήσει πάντα στην απλούστερη δυνατή μορφή μιας λογικής συνάρτησης και δε συνιστά συστηματική μεθοδολογία απλοποίησης.

Στα ολοκληρωμένα κυκλώματα πολύ μεγάλης κλίμακας ολοκλήρωσης (*very large scale integrated circuits, VLSI ICs*) και στα σύγχρονα ολοκληρωμένα κυκλώματα ειδικού σκοπού (*application specific integrated circuits, ASICs*), απαιτούνται χαρακτηριστικά, όπως υψηλή ταχύτητα, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, μικρή επιφάνεια για την ανάπτυξή τους και χαμηλό κόστος. Για να επιτευχθούν τα χαρακτηριστικά αυτά, επιβάλλεται η συστηματική προσπάθεια για μείωση του πλήθους των λογικών πυλών που υλοποιούν τα υποκυκλώματα, τα οποία συνθέτουν τα ολοκληρωμένα κυκλώματα. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί συστηματικοί τρόποι ελαχιστοποίησης των λογικών συναρτήσεων. Αρκετοί από αυτούς, μπορούν να υλοποιηθούν σε εργαλεία σχεδιασμού με τη βοήθεια υπολογιστή (*computer-aided design tools, CAD*), ώστε να επιτευχθεί η αυτοματοποίησή τους. Ο γραφικός τρόπος ελαχιστοποίησης, που επινοήθηκε το 1952 από τον *Edward Veitch*, βελτιώθηκε το 1953 από τον *Maurice Karnaugh* και αναφέρεται ως μέθοδος του χάρτη *Karnaugh (Karnaugh map)*, αν και δεν είναι κατάλληλος για υλοποίηση σε εργαλεία *CAD*, βοηθάει στην κατανόηση της βασικής πρακτικής ελαχιστοποίησης λογικών συναρτήσεων και για το λόγο αυτό εξετάζεται εκτενώς στη συνέχεια του κεφαλαίου. Παρουσιάζονται, επίσης, αλγοριθμικές μέθοδοι κατάλληλες για υλοποίηση σε αυτοματοποιημένα εργαλεία σχεδιασμού, όπως η μέθοδος που αναπτύχθηκε το 1952 αρχικά από τον *Willard Van Orman Quine*, τελειοποιήθηκε το 1956 από τον *Edward McCluskey* και είναι γνωστή ως μέθοδος των *Quine και McCluskey*.

Το τρίτο κεφάλαιο αποτελείται από έξι ενότητες. Στην πρώτη από αυτές, παρουσιάζεται ο σχηματισμός του χάρτη *Karnaugh*, ο οποίος αποτελεί εναλλακτικό τρόπο περιγραφής των λογικών συναρτήσεων. Στη δεύτερη ενότητα, δίνεται έμφαση στη μέθοδο ελαχιστοποίησης λογικών συναρτήσεων με χρήση χαρτών *Karnaugh*, ενώ στην τρίτη ενότητα διενεργείται σύνδεση της μεθόδου αυτής με την υλοποίηση των ελαχιστοποιημένων συναρτήσεων σε λογικά κυκλώματα με το μικρότερο δυνατό αριθμό πυλών, χρησιμοποιώντας βασικές πύλες

διαφόρων τύπων. Η τέταρτη ενότητα είναι αφιερωμένη στο σχηματισμό του χάρτη Karnaugh μερικώς καθορισμένων λογικών συναρτήσεων (δηλαδή, συναρτήσεων που περιλαμβάνουν αδιάφορους όρους) και στην ελαχιστοποίησή αυτών. Η πέμπτη ενότητα, αναφέρεται στον προσδιορισμό των πρώτων συνεπαγωγών (*prime implicants*) και των βασικών πρώτων συνεπαγωγών (*essential prime implicants*) μιας λογικής συνάρτησης, ο οποίος αποτελεί τη βάση για την επιλογή των λογικών γινομένων, το άθροισμα των οποίων συνιστά μια ελαχιστοποιημένη μορφή της λογικής συνάρτησης (δηλαδή, μια μορφή που δεν είναι δυνατό να απλοποιηθεί περαιτέρω). Τέλος, στην έκτη ενότητα, παρουσιάζεται η μέθοδος των *Quine και Mc Cluskey* για την ελαχιστοποίηση λογικών συναρτήσεων, η οποία βασίζεται σε μια συστηματική διερεύνηση των ελαχιστόρων της συνάρτησης, με στόχο τον προσδιορισμό των πρώτων και των βασικών πρώτων συνεπαγωγών που συνθέτουν την ελαχιστοποιημένη μορφή της.

Σκοπός του τέταρτου κεφαλαίου είναι η παρουσίαση συστηματικών διαδικασιών για τη σύνθεση και την ανάλυση συνδυαστικών κυκλωμάτων, καθώς και η μελέτη βασικών συνδυαστικών κυκλωμάτων, τα οποία είναι απαραίτητα για την κατανόηση και το σχεδιασμό πολύπλοκων ψηφιακών κυκλωμάτων και συστημάτων.

Ένα λογικό κύκλωμα αποτελείται από γραμμές διασύνδεσης λογικών πυλών, που αντιστοιχούν στις διαδρομές των δυαδικών σημάτων και από λογικές πύλες που επιτελούν την επεξεργασία μεταξύ των σημάτων, η οποία δηλώνεται στη λογική πράξη που επιτελείται από κάθε πύλη. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται εκτενής ενασχόληση με την υλοποίηση λογικών συναρτήσεων σε λογικά κυκλώματα με χρήση διαφόρων τύπων πυλών, σε δύο ή περισσότερα επίπεδα. Επίσης, στο τρίτο κεφάλαιο, δίνεται έμφαση στην ελαχιστοποίηση λογικών συναρτήσεων και στην υλοποίηση της ελαχιστοποιημένης μορφής τους με δύο επίπεδα λογικών πυλών.

Τα λογικά κυκλώματα που μελετώνται στο δεύτερο και στο τρίτο κεφάλαιο, καθώς και αυτά τα οποία πραγματεύεται το τέταρτο κεφάλαιο, αναφέρονται ως *συνδυαστικά κυκλώματα (combinational circuits)*. Ο χαρακτηρισμός αυτός, αφορά λογικά κυκλώματα των οποίων η λογική τιμή της εξόδου ή των εξόδων τους, κάθε χρονική στιγμή, εξαρτάται μόνο από τη λογική τιμή των εισόδων που εφαρμόζεται σε αυτά την ίδια χρονική στιγμή. Οι λογικές πύλες που συνθέτουν ένα συνδυαστικό κύκλωμα, διασυνδέονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να μη δημιουργείται ανατροφοδότηση. *Ανατροφοδότηση (feedback)* συμβαίνει όταν η έξοδος μίας πύλης οδηγείται στην είσοδο μιας δεύτερης πύλης, η έξοδος της οποίας τροφοδοτεί, απευθείας ή μέσω άλλων πυλών, μία από τις εισόδους της πρώτης πύλης (Σχήμα 1(α)). Με την ανατροφοδότηση, δημιουργείται εξάρτηση της εξόδου από λογικές τιμές που λαμβάνει η

ανατροφοδοτούμενη είσοδος σε προηγούμενες χρονικές στιγμές, δηλαδή, προσδίδεται μνήμη στο κύκλωμα, κάτι, το οποίο είναι χαρακτηριστικό των *ακολουθιακών κυκλωμάτων* (*sequential circuits*) που θα μελετηθούν στο επόμενο κεφάλαιο του τόμου.

Το συνοπτικό διάγραμμα ενός συνδυαστικού κυκλώματος με n εισόδους και m εξόδους, παρουσιάζεται στο Σχήμα 1(β). Για καθέναν από τους 2^n δυνατούς συνδυασμούς λογικών τιμών των μεταβλητών εισόδου (x_1 έως x_n), προκύπτει ένας συνδυασμός λογικών τιμών των μεταβλητών εξόδου (y_1 έως y_m).



Σχήμα 1: (α) Κύκλωμα με ανατροφοδότηση και (β) συνοπτικό διάγραμμα συνδυαστικού κυκλώματος

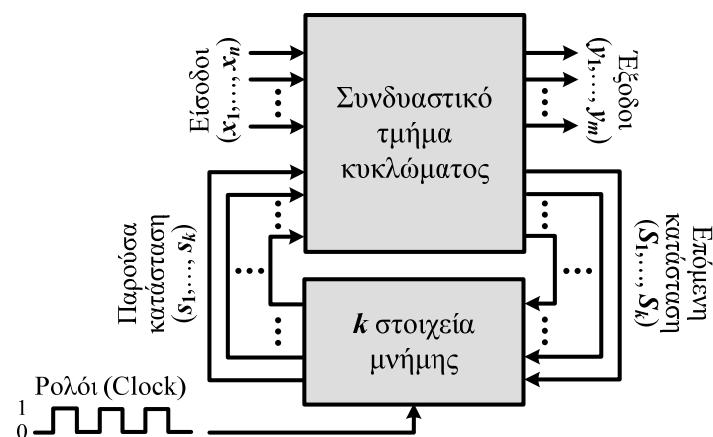
Η λειτουργία ενός τέτοιου συνδυαστικού κυκλώματος, μπορεί να περιγραφεί με μοναδικό τρόπο, από έναν πίνακα αλήθειας με 2^n γραμμές (που αντιστοιχούν στους δυνατούς συνδυασμούς λογικών τιμών των μεταβλητών εισόδου) και $n + m$ στήλες (που αντιστοιχούν στο πλήθος των μεταβλητών εισόδου και εξόδου). Επίσης, η λειτουργία του μπορεί να περιγραφεί από m λογικές συναρτήσεις, μία για κάθε μεταβλητή εξόδου.

Στις δύο πρώτες ενότητες του τέταρτου κεφαλαίου, μέσω της παρουσίασης συστηματικών διαδικασιών *σύνθεσης* και *ανάλυσης συνδυαστικών κυκλωμάτων*, γίνεται προσπάθεια εμπέδωσης και εμπλουτισμού των γνώσεων που ήδη έχετε αποκτήσει και αφορούν την περιγραφή και την ελαχιστοποίηση λογικών συναρτήσεων, καθώς και την υλοποίησή τους με λογικά κυκλώματα. Οι επόμενες ενότητες του τέταρτου κεφαλαίου, είναι αφιερωμένες στη σύνθεση συνδυαστικών κυκλωμάτων, τα οποία επιτελούν λειτουργίες που συναντώνται συχνά στα ψηφιακά συστήματα. Έτσι, στην τρίτη ενότητα, παρουσιάζονται κυκλώματα κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης δυαδικών δεδομένων, ενώ η τέταρτη ενότητα αφορά συνδυαστικά κυκλώματα πολυπλεξίας και αποπολυπλεξίας δυαδικών δεδομένων. Η πέμπτη ενότητα ασχολείται με συνδυαστικά κυκλώματα που επιτελούν αριθμητικές πράξεις δυαδικών αριθμών, όπως η πρόσθεση, η αφαίρεση, ο πολλαπλασιασμός και η σύγκριση. Για την κατανόηση των προαναφερόμενων κυκλωμάτων, εκτός από τις γνώσεις σχετικά με τις λογικές συναρτήσεις και την υλοποίησή τους, είναι απαραίτητες και οι γνώσεις που αφορούν την παράσταση δυαδικών δεδομένων και την εκτέλεση αριθμητικών πράξεων μεταξύ δυαδικών αριθμών.

Σκοπός του πέμπτου κεφαλαίου είναι η μελέτη των *βασικών στοιχείων μνήμης* που χρησιμο-

ποιούνται στα σύγχρονα ακολουθιακά κυκλώματα, καθώς και η παρουσίαση συστηματικών διαδικασιών για τη σύνθεση και την ανάλυση σύγχρονων ακολουθιακών κυκλωμάτων.

Τα λογικά κυκλώματα που μελετώνται στα προηγούμενα τρία κεφάλαια, είναι συνδυαστικά κυκλώματα, στα οποία η λογική τιμή της εξόδου ή των εξόδων τους, κάθε χρονική στιγμή, εξαρτάται μόνο από τη λογική τιμή των εισόδων που εφαρμόζεται σε αυτά την ίδια χρονική στιγμή. Το πέμπτο κεφάλαιο πραγματεύεται ακολουθιακά κυκλώματα, τα οποία, εκτός από ένα συνδυαστικό τμήμα, περιλαμβάνουν στοιχεία (ή κυκλώματα) μνήμης, που αναφέρονται ως *μανταλωτές (latches)* και *φλιπ-φλοπ (flip-flops)*. Τα στοιχεία μνήμης υλοποιούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργείται ανατροφοδότηση, δηλαδή, η κατάσταση όπου η έξοδος μίας πύλης τους οδηγείται στην είσοδο μιας δεύτερης πύλης, η έξοδος της οποίας τροφοδοτεί, απευθείας ή μέσω άλλων πυλών, μία από τις εισόδους της πρώτης πύλης. Κάθε στοιχείο μνήμης έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει πληροφορία ενός δυαδικού ψηφίου. Έτσι, σε ένα ακολουθιακό κύκλωμα συμμετέχουν τόσα στοιχεία μνήμης, όσα και τα δυαδικά ψηφία των οποίων απαιτείται η αποθήκευση. Η πληροφορία που είναι αποθηκευμένη στα στοιχεία μνήμης ενός ακολουθιακού κυκλώματος, αποτελεί την *κατάσταση (state)* του κυκλώματος. Η παρούσα κατάσταση του κυκλώματος ανατροφοδοτείται στην είσοδο του συνδυαστικού τμήματός του, όπως παρουσιάζεται στο συνοπτικό διάγραμμα του Σχήματος 2. Οι τιμές των εισόδων και η παρούσα κατάσταση του κυκλώματος, καθορίζουν τις τιμές των εξόδων του και την επόμενη κατάστασή του. Ένα ακολουθιακό κύκλωμα του οποίου η κατάσταση (δηλαδή, η πληροφορία που αποθηκεύεται στα στοιχεία μνήμης του), μπορεί να αλλάξει μόνο σε διακριτές χρονικές στιγμές, αναφέρεται ως *σύγχρονο ακολουθιακό κύκλωμα (synchronous sequential circuit)*.



Σχήμα 2: Συνοπτικό διάγραμμα σύγχρονου ακολουθιακού κυκλώματος με n εισόδους, m εξόδους και k στοιχεία μνήμης

Αυτές οι διακριτές χρονικές στιγμές καθορίζονται από μια περιοδική σειρά παλμών, η οποία

συνιστά ένα σήμα που αναφέρεται ως *ρολόι (clock)* (Σχήμα 2) και παράγεται από κατάλληλη διάταξη χρονισμού (*γεννήτρια ρολογιού, clock generator*). Η αλλαγή κατάστασης ενός σύγχρονου ακολουθιακού κυκλώματος είναι δυνατή μόνο κατά την αλλαγή της λογικής τιμής του σήματος ρολογιού. Επειδή, τα σύγχρονα ακολουθιακά κυκλώματα διατρέχουν μια ακολουθία καταστάσεων, αναφέρονται και ως *μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων (finite-state machines)*.

Στην πρώτη ενότητα του πέμπτου κεφαλαίου, παρουσιάζονται και αναλύονται τα βασικά κυκλώματα μνήμης (μανταλωτές και φλιπ-φλοπ) που αποτελούν θεμελιώδη δομικά στοιχεία των σύγχρονων ακολουθιακών κυκλωμάτων. Η δεύτερη ενότητα ασχολείται με τα μοντέλα περιγραφής και μελέτης των σύγχρονων ακολουθιακών κυκλωμάτων. Μολονότι, όπως προαναφέρθηκε και παρουσιάζεται στο συνοπτικό διάγραμμα του Σχήματος 2, οι έξοδοι ενός ακολουθιακού κυκλώματος είναι συνάρτηση της παρούσας κατάστασης και των εισόδων του, ενδέχεται οι έξοδοι να εξαρτώνται μόνο από την παρούσα κατάσταση του κυκλώματος, χωρίς να είναι απαραίτητο να εξαρτώνται άμεσα από τις εισόδους του. Έτσι, στη δεύτερη ενότητα, διακρίνονται οι δύο αυτές περιπτώσεις, μέσω της ενασχόλησης με δύο μοντέλα περιγραφής και μελέτης σύγχρονων ακολουθιακών κυκλωμάτων. Το πρώτο από αυτά, το οποίο προτάθηκε το 1955 από τον *George Mealy*, και αναφέρεται ως *μοντέλο Mealy*, αφορά κυκλώματα των οποίων οι έξοδοι εξαρτώνται από την παρούσα κατάσταση και τις τιμές των εισόδων, ενώ το δεύτερο, που προτάθηκε το 1956 από τον *Edward Moore* και αναφέρεται ως *μοντέλο Moore*, αφορά κυκλώματα των οποίων οι έξοδοι εξαρτώνται αποκλειστικά από την παρούσα κατάσταση. Η τρίτη ενότητα, είναι αφιερωμένη στην παρουσίαση μιας συστηματικής διαδικασίας για τη *σύνθεση σύγχρονων ακολουθιακών κυκλωμάτων*, ενώ στις δύο επόμενες ενότητες δίνεται έμφαση σε δύο βήματα της διαδικασίας αυτής, την *ελαχιστοποίηση* και την *κωδικοποίηση ή ανάθεση καταστάσεων* ενός σύγχρονου ακολουθιακού κυκλώματος. Στην τελευταία ενότητα του κεφαλαίου, παρουσιάζεται μια συστηματική διαδικασία *ανάλυσης σύγχρονων ακολουθιακών κυκλωμάτων*.

Σκοπός του έκτου κεφαλαίου είναι η μελέτη, η κατανόηση της λειτουργίας και η σύνθεση *καταχωρητών και μετρητών*, οι οποίοι υλοποιούν συνηθισμένες ψηφιακές λειτουργίες και αποτελούν βασικά ακολουθιακά δομικά στοιχεία των ψηφιακών συστημάτων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο μελετώνται τα βασικά στοιχεία μνήμης ακολουθιακών κυκλωμάτων, δηλαδή, τους μανταλωτές και τα φλιπ-φλοπ και ασχοληθήκαμε με τη σύνθεση και την ανάλυση σύγχρονων ακολουθιακών κυκλωμάτων. Στο έκτο κεφάλαιο, μελετώνται βασικά ακολουθιακά κυκλώματα καταχωρητών και μετρητών, τα οποία επιτελούν τις βασικές ψηφιακές

λειτουργίες της αποθήκευσης δεδομένων και της μέτρησης, αντίστοιχα.

Στη γενική περίπτωση, τα κυκλώματα αυτά, περιλαμβάνουν ένα συνδυαστικό τμήμα και ένα σύνολο από φλιπ-φλοπ. Οι *καταχωρητές (registers)* είναι σύγχρονα ακολουθιακά κυκλώματα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την προσωρινή αποθήκευση δυαδικών δεδομένων, έτσι ώστε να διευκολυνθεί η επεξεργασία τους. Με δεδομένο ότι ένα φλιπ-φλοπ μπορεί να αποθηκεύσει πληροφορία ενός δυαδικού ψηφίου, προκύπτει εύκολα ότι ένας καταχωρητής θα πρέπει να περιλαμβάνει τόσα φλιπ-φλοπ, όσα είναι τα δυαδικά ψηφία που πρόκειται να αποθηκευτούν σε αυτόν. Η *φόρτωση (loading)* ή *εγγραφή (writing)* των δυαδικών δεδομένων σ' έναν καταχωρητή, μπορεί να γίνει παράλληλα (δηλαδή, ταυτόχρονη φόρτωση του συνόλου των δυαδικών ψηφίων σε ένα παλμό του σήματος ρολογιού) ή σειριακά (δηλαδή, φόρτωση ενός δυαδικού ψηφίου σε κάθε παλμό του σήματος ρολογιού). Η *εξαγωγή (extraction)* ή *ανάγνωση (reading)* των δυαδικών δεδομένων από έναν καταχωρητή, μπορεί να γίνει με τους ίδιους τρόπους. Οι καταχωρητές, στους οποίους διενεργείται παράλληλη φόρτωση και εξαγωγή των δυαδικών δεδομένων αναφέρονται ως *παράλληλοι καταχωρητές (parallel registers)*, ενώ εκείνοι στους οποίους η φόρτωση ή/και η εξαγωγή των δεδομένων γίνεται με σειριακό τρόπο, αναφέρονται ως *καταχωρητές ολίσθησης (shift registers)*, αφού, όπως θα δούμε στη συνέχεια του κεφαλαίου, η δυαδική πληροφορία ολισθαίνει κατά μήκος της αλυσίδας των φλιπ-φλοπ που συνιστούν τους καταχωρητές αυτούς.

Οι *μετρητές (counters)* είναι ακολουθιακές διατάξεις, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να διατρέχουν μια καθορισμένη ακολουθία καταστάσεων, καθεμία από τις οποίες αντιστοιχεί σε ένα φυσικό αριθμό. Στη γενική περίπτωση, ένας μετρητής που περιλαμβάνει n φλιπ-φλοπ, μπορεί να διατρέξει μέχρι 2^n διαφορετικές καταστάσεις, δηλαδή, ανάλογα με τον τρόπο σχεδιασμού του, έχει τη δυνατότητα να μετράει μια καθορισμένη ακολουθία που μπορεί να περιλαμβάνει μέχρι 2^n αριθμούς. Οι μετρητές διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τους *σύγχρονους μετρητές (synchronous counters)*, όπου όλα τα φλιπ-φλοπ και συνεπώς η αλλαγή κατάστασης ελέγχεται από ένα κοινό σήμα ρολογιού και τους *ασύγχρονους μετρητές (asynchronous counters)* ή *μετρητές διάδοσης (ripple counters)*, όπου δεν υφίσταται έλεγχος από κοινό σήμα ρολογιού και η έξοδος κάθε φλιπ-φλοπ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πυροδότηση άλλων φλιπ-φλοπ.

Στην πρώτη ενότητα του έκτου κεφαλαίου παρουσιάζονται και αναλύονται βασικά κυκλώματα παράλληλων καταχωρητών, ενώ στη δεύτερη ενότητα αναλύεται η λειτουργία των καταχωρητών ολίσθησης. Η τρίτη ενότητα ασχολείται με σύγχρονους *δυαδικούς μετρητές (binary counters)*, δηλαδή, σύγχρονους μετρητές, οι οποίοι όταν αποτελούνται από n φλιπ-φλοπ, α-

κολουθούν τη φυσική αρίθμηση, μετρώντας ανοδικά ή καθοδικά μεταξύ των αριθμών 0 και 2^{n-1} . Η τέταρτη ενότητα αφορά τη σύνθεση σύγχρονων μετρητών επαναλαμβανόμενης ακολουθίας αριθμών, οι οποίοι αναφέρονται και ως μετρητές υπολοίπου διαίρεσης ως προς N (*modulo- N counters*), όπου N το πλήθος των αριθμών της ακολουθίας μέτρησης. Στους μετρητές αυτούς, δεν ακολουθείται απαραίτητως η φυσική αρίθμηση και το πλήθος των αριθμών της ακολουθίας μέτρησης δεν αποτελεί δύναμη του δύο. Η πέμπτη ενότητα πραγματεύεται την προσθήκη στους μετρητές της δυνατότητας παράλληλης φόρτωσης ενός αριθμού. Η τελευταία ενότητα είναι αφιερωμένη στους ασύγχρονους μετρητές, όπου δεν υφίσταται έλεγχος από κοινό σήμα ρολογιού, χαρακτηριστικό που δίνει τη δυνατότητα απλούστευσης των κυκλωμάτων.

Ιδιαιτερότητα του βιβλίου, αποτελεί το γεγονός ότι είναι δομημένο κατάλληλα για εκπαίδευση φοιτητών από απόσταση. Στις ενότητες όλων των κεφαλαίων περιλαμβάνονται αναλυτικά παραδείγματα με στόχο την πληρέστερη κατανόηση των θεμάτων που παρουσιάζονται σε αυτές. Οι ασκήσεις αυτοαξιολόγησης και οι δραστηριότητες που αναπτύσσονται, βοηθούν στην εφαρμογή των γνώσεων που αποκομίζονται σε κάθε κεφάλαιο. Οι βιβλιογραφικές αναφορές και ο οδηγός περαιτέρω μελέτης που παρατίθενται στο τέλος κάθε κεφαλαίου, αποτελούν χρήσιμο οδηγό αναζήτησης επιπλέον πληροφοριών στα θέματα που μελετώνται και αναλύονται.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

ISBN: 978-960-538-961-1



9 789605 389611