

Αισθητήρες Μέτρησης και Ελέγχου

2η Έκδοση



Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 22694842

Συγγραφείς: Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Νικόλας Κατέβας

Αριθμός Έκδοσης 2η Έκδοση

Έτος Έκδοσης 2012

ISBN: 978-960-418-386-9

Εκδόσεις: TZIOΛA

Δέσιμο: Σκληρό Εξώφυλλο

Διαστάσεις: 21*29

Αριθμός Σελίδων :1056

Θεματικά πεδία βιβλίου

Η ανάπτυξη αισθητήριων διατάξεων αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες στη σύγχρονη εξέλιξη των θετικών επιστημών, της τεχνολογίας, των εργαστηριακών ερευνών, της βιομηχανικής εξέλιξης και της καθημερινής ζωής του ανθρώπου. Η εξέλιξη των υλικών και η ανάπτυξη νέων μορφών αισθητήριων διατάξεων καθορίζουν το μέλλον νέων ερευνών και εφαρμογών καθώς η έννοια της μέτρησης αποτελεί την αρχή των συστημάτων συλλογής, καταγραφής, επεξεργασίας και ελέγχου σε πραγματικό χρόνο. Στο πλαίσιο όλων των παραπάνω, το βιβλίο αυτό έρχεται να καλύψει θέματα αισθητήρων και μεθόδων μετρήσεων σε πλήθος πεδίων και εφαρμογών όπως: κίνησης, μετατόπισης, στάθμης, θερμοκρασίας, πίεσης, ροής, ταχύτητας, επιτάχυνσης, δύναμης, ροπής, μαγνητικών πεδίων, ασθενών και υψηλών ρευμάτων, αφής, οπτικών μεγεθών, ακουστικών μεγεθών, ιονίζουσα ακτινοβολίας, χημικών μεγεθών, βιοιατρικών μεγεθών, ηλεκτροφυσιολογία φυτών, περιβαλλοντικών μεγεθών, διαφόρων φυσικών και τεχνικών μεγεθών, έξυπνων και ασύρματων ZigBEE αισθητήριων διατάξεων κ.α.. Στη συνέχεια το βιβλίο καλύπτει θέματα ανάπτυξης διατάξεων ολοκληρωμένων συστημάτων μετρήσεων και ελέγχου εμβαθύνοντας σε κάθε βαθμίδα. Για το λόγο ότι η δυναμική εξέλιξη των λογισμικών πακέτων επεξεργασίας, ανάλυσης και απεικόνισης δεδομένων επέφερε σημαντική ανάπτυξη και διάδοση των εικονικών οργάνων (Virtual Instruments), παρέχεται στον αναγνώστη όλο το γνωστικό υπόβαθρο για την ανάπτυξη μετρητικών συστημάτων και ελέγχου εφαρμογών μέσω των λογισμικών LabVIEW, MultiSIM καθώς και της μοντελοποίησης τους μέσω του λογισμικού SIMULINK (MATLAB).

Τέλος το βιβλίο καλύπτει στα θέματά του πλήθος λυμένων ασκήσεων και εργαστηριακών εφαρμογών ώστε ο φοιτητής σε θεωρητικό και εργαστηριακό επίπεδο να καλύψει στην πράξη πλήρως το πεδίο των αισθητήρων και των μετρητικών διατάξεων.

Η ανάπτυξη αισθητήριων διατάξεων αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες στη σύγχρονη εξέλιξη των θετικών επιστημών, της τεχνολογίας, των εργαστηριακών ερευνών, της βιομηχανικής εξέλιξης και της καθημερινής ζωής του ανθρώπου. Η εξέλιξη των υλικών και η ανάπτυξη νέων μορφών αισθητήριων διατάξεων καθορίζουν το μέλλον νέων ερευνών και εφαρμογών, καθώς, η έννοια της μέτρησης αποτελεί την αρχή των συστημάτων συλλογής, καταγραφής, επεξεργασίας και ελέγχου σε πραγματικό χρόνο. Για όλα τα παραπάνω, κρίθηκε αναγκαία η συγγραφή ενός βιβλίου το οποίο θα συγκεντρωνε θέματα της πλειονότητας των αισθητήρων και των σύγχρονων μεθόδων μετρήσεων σε πλήθος πεδίων και εφαρμογών στο οποίο, ο φοιτητής ως σύγγραμμα σε αντίστοιχα μαθήματα, ο ερευνητής και ο σύγχρονος μηχανικός, θα μπορούσε να ανατρέξει, σε ένα βιβλίο, δίχως να χαθεί στο άπειρο της βιβλιογραφίας.

Με γνώμονα τη προηγούμενη ανάγκη, το βιβλίο αποτελεί συλλογή υλικού από την επίσημη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία καθώς και από ακαδημαϊκά συγγράμματα μετρήσεων, ελέγχου και ηλεκτρονικής, εγχειρίδια αισθητήρων, διατάξεων και υλικού στο τομέα των μετρήσεων και ελέγχου από διεθνή εταιρείες. Η συγγραφή των ενοτήτων του προσφέρει όχι μόνο συνοπτική αλλά σε βάθος γνώση σε θέματα αισθητήρων, σχεδίασης μετρητικών διατάξεων και αρχών μετρήσεων και ελέγχου.

Στο πλαίσιο όλων των παραπάνω, το βιβλίο αυτό έρχεται να καλύψει θέματα αισθητήρων και μεθόδων μετρήσεων σε πλήθος πεδίων και εφαρμογών όπως: κίνησης, μετατόπισης, στάθμης, θερμοκρασίας, πίεσης, ροής, ταχύτητας, επιτάχυνσης, δύναμης, ροπής, μαγνητικών πεδίων, ασθενών και υψηλών ρευμάτων, αφής, οπτικών μεγεθών, ακουστικών μεγεθών, ιονίζουσα ακτινοβολίας, χημικών μεγεθών, βιοιατρικών μεγεθών, ηλεκτροφυσιολογία φυτών, περιβαλλοντικών μεγεθών, διαφόρων φυσικών και τεχνικών μεγεθών, έξυπνων και ασύρματων ZigBEE αισθητήριων διατάξεων κ.α.. Στη συνέχεια το βιβλίο καλύπτει θέματα ανάπτυξης διατάξεων ολοκληρωμένων συστημάτων μετρήσεων και ελέγχου εμβαθύνοντας σε κάθε βαθμίδα. Για το λόγο ότι η δυναμική εξέλιξη των λογισμικών πακέτων επεξεργασίας, ανάλυσης και απεικόνισης δεδομένων επέφερε σημαντική ανάπτυξη και διάδοση της ‘εικονικής ενοργάνωσης’ (Virtual Instruments), παρέχετε στον αναγνώστη όλο το γνωστικό υπόβαθρο για την ανάπτυξη μετρητικών συστημάτων και ελέγχου εφαρμογών μέσω των λογισμικών LabVIEW, MultiSIM καθώς και της μοντελοποίησης τους μέσω του λογισμικού SIMULINK (MATLAB).

Επίσης το βιβλίο καλύπτει στα θέματα του πλήθος λυμένων ασκήσεων και εργαστηριακών εφαρμογών ώστε ο φοιτητής σε θεωρητικό και εργαστηριακό επίπεδο να καλύψει στην πράξη πλήρως τον πεδίο των αισθητήρων και των μετρητικών διατάξεων.

Τέλος οι συγγραφείς επιθυμούν μέσω του βιβλίου να ευχαριστήσουν όλους τους συναδέλφους τους για την παροχή συγγραφικού υλικού το οποίο αποτέλεσε τη συγγραφική μελένη σε διάφορα κεφάλαια.

Οι Συγγραφείς
Κων/νος Καλοβρέκτης
Νικόλαος Κατέβας

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1: Θεμελιώδεις έννοιες μετρητικών συστημάτων

1.1	Εισαγωγή	1
1.2	Μονάδες μέτρησης	2
1.2.1	Το διεθνές σύστημα μονάδων	2
1.2.2	Παράγωγοι μονάδες	3
1.2.3	Προθέματα μονάδων	4
1.3	Γραφικές παραστάσεις μεγεθών	5
1.3.1	Καρτεσιανή παράσταση μεγεθών	5
1.3.2	Ημιλογαριθμική παράσταση μεγεθών	5
1.3.3	Λογαριθμική παράσταση μεγεθών	5
1.4	Μετρητικά συστήματα	6
1.4.1	Παθητικά & ενεργά μετρητικά συστήματα	6
1.4.2	Γραμμικά & μη γραμμικά μετρητικά συστήματα	6
1.4.3	Στατικά και δυναμικά μετρητικά συστήματα	6
1.4.4	Συνεχή και διακριτό μετρητικό σύστημα	7
1.4.5	Χρονομεταβλητό και χρονικά αμετάβλητο μετρητικό σύστημα	7
1.4.6	Δομή μετρητικών συστημάτων	7
1.5	Μοντελοποίηση μετρητικών συστημάτων	9
1.5.1	Απόκριση μετρητικού συστήματος	9
1.5.2	Σύστημα μηδενικής τάξης	11
1.5.3	Σύστημα πρώτης τάξης	12
1.5.3.1	Συνάρτηση μεταφοράς συστήματος πρώτης τάξης	12
1.5.3.2	Τυπικά παραδείγματα συστημάτων πρώτης τάξης	13
1.5.3.3	Χρονική απόκριση συστήματος πρώτης τάξης	13
1.5.3.4	Απόκριση συχνότητας συστήματος πρώτης τάξης	16
1.5.4	Συστήματα δεύτερης τάξης	18
1.5.4.1	Συνάρτηση μεταφοράς συστήματος δεύτερης τάξης	18
1.5.4.2	Τυπικά παραδείγματα συστημάτων δεύτερης τάξης	19
1.5.4.3	Χρονική απόκριση συστήματος δεύτερης τάξης	19
1.5.4.4	Απόκριση συχνότητας συστήματος δεύτερης τάξης	28
1.6	Διαγράμματα Bode	29
1.6.1	Βήματα σχεδίασης διαγραμμάτων Bode	30
1.6.1.1	Σχεδίαση διαγράμματος μέτρου απόκρισης συχνότητας	30
1.6.1.2	Σχεδίαση διαγράμματος απόκρισης φάσης	32
1.7	Εργαστηριακή Εφαρμογή 1	38
1.8	Εργαστηριακή Εφαρμογή 2	40

Κεφάλαιο 2: Χαρακτηριστικά αισθητήρων

2.1	Αισθητήρες και μετατροπείς	45
2.2	Ανιχνευτές	46
2.3	Κατηγορίες αισθητήρων	46
2.3.1	Παθητικοί και ενεργοί αισθητήρες	46
2.3.2	Απόλυτοι και σχετικοί αισθητήρες	47
2.4	Χαρακτηριστικά αισθητήρων	47
2.4.1	Συνάρτηση μεταφοράς	47
2.4.2	Περιοχή τιμών εισόδου	48
2.4.3	Εύρος πλήρους κλίμακας εισόδου	48
2.4.4	Εύρος πλήρους κλίμακας εξόδου	49
2.4.5	Ακρίβεια	49
2.4.6	Βαθμονόμηση	51
2.4.6.1	Παράδειγμα διαδικασίας βαθμονόμησης συστήματος μέτρησης pH	52
2.4.7	Σφάλμα βαθμονόμησης	52
2.4.7	Υστέρηση	53
2.4.8	Μη γραμμικότητα	54
2.4.9	Διακριτική ικανότητα	54
2.4.10	Επαναληψιμότητα	54
2.4.11	Συντελεστής κορεσμού	55
2.4.12	Νεκρή ζώνη	55
2.4.13	Σύνθετη αντίσταση εξόδου	55
2.4.14	Διέγερση	55
2.4.15	Αξιοπιστία	55
2.4.16	Ελάχιστο σήμα κατωφλίου	55

2.4.17 Χρόνος απόκρισης	56
2.4.18 Θόρυβος	56
2.4.19 Ολίσθηση	56
2.4.20 Χρόνος προθέρμανσης	56
2.5 Εμπορικοί αισθητήρες και μορφομετατροπείς	56
2.6 Δυναμικά Χαρακτηριστικά	59

Κεφάλαιο 3: Μετρήσεις θέσης και μετατόπισης

3.1 Εισαγωγή	61
3.1.1 Αισθητήρες μέτρησης μετατόπισης με επαφή	62
3.1.2 Αισθητήρες μέτρησης μετατόπισης από απόσταση	62
3.2 Αισθητήρες μέτρησης μετατόπισης με επαφή	62
3.2.1 Τερματικός διακόπτης θέσης	62
3.2.2 Αισθητήρες μεταβλητής αντίστασης - Ποτενσιόμετρα	65
3.2.3 Μαγνητικός διακόπτης με γλωσσίδα	70
3.2.4 Υδραργυρικός διακόπτης βαρύτητας	70
3.2.5 Αισθητήρας κλίσης με ηλεκτρολύτη	71
3.2.6 Αισθητήρας κλίσης με φυσαλίδα	71
3.2.7 Γραμμικός και στροφικός επαγωγικός αισθητήρας μετατόπισης	72
3.2.8 Πιεζοαντίσταση	83
3.2.8.1 Μεταλλικά μηκυνσιόμετρα	85
3.2.8.2 Ημιαγωγικές πιεζοαντιστάσεις	89
3.2.8.3 Οπτικοί Κωδικοποιητές	89
3.2.8.4 Αυξητικός οπτικός κωδικοποιητής	89
3.2.9 Απόλυτος οπτικός κωδικοποιητής	92
3.2.10 Συγχροεπαγωγείς	94
3.2.11 Περιστροφικός αναλυτής (συγχροεπαγωγέας 2 πηνίων)	94
3.2.11.1 Περιστροφικός συγχροεπαγωγέας τριών πηνίων	95
3.2.11.2 Συγχροεπαγωγέας τυπωμένων πηνίων	96
3.3 Αισθητήρες μέτρησης μετατόπισης από απόσταση (χωρίς επαφή)	97
3.3.1 Αισθητήρες επαγωγής	97
3.3.2 Αισθητήρες αυτεπαγωγής	98
3.3.3 Αισθητήρες φαινομένου Hall	100
3.3.4 Χωρητικοί αισθητήρες μετατόπισης	106
3.3.4.1 Αισθητήρες χωρητικότητας μεταβαλλόμενης απόστασης	106
3.3.4.2 Αισθητήρας χωρητικότητας μεταβαλλόμενης επιφάνειας	107
3.3.4.3 Αισθητήρες χωρητικότητας μεταβαλλόμενου διηλεκτρικού	107
3.3.4.4 Χωρητικός αισθητήρας γέφυρας παράλληλων οπλισμών	109
3.3.4.5 Αποδιαμόρφωση σήματος χωρητικών αισθητήρων μετατόπισης	110
3.3.4.6 Εφαρμογές αισθητήρων χωρητικότητας	112
3.3.5 Οπτικοί αισθητήρες μετατόπισης	113
3.3.5.1 Πηγή φωτεινής ακτινοβολίας	114
3.3.5.2 Ανιχνευτής φωτεινής ακτινοβολίας	114
3.3.5.3 Οπτικές Διατάξεις	115
3.3.6 Φωτοανακλαστής απόστασης	119
3.3.7 Αισθητήρες προσέγγισης με πολωμένο φως	120
3.3.8 Οπτική Γέφυρα	120
3.3.9 Αισθητήρες δέσμης λέιζερ	121
3.3.10 Αισθητήρας λέιζερ οπτικής διαμόρφωση φύλου δέσμης (OMRON)	122
3.3.11 Εφαρμογές αισθητήρων λέιζερ (OMRON)	123

Κεφάλαιο 4: Μετρήσεις στάθμης

4.1 Εισαγωγή	125
4.2 Σωλήνας Παρατήρησης	126
4.3 Ράβδος βυθομέτρησης	126
4.4 Διακόπτης πλωτήρα	126
4.5 Πλωτός διακόπτης βύθισης	128
4.6 Διακόπτες στάθμης με πλωτό μαγνήτη	128
4.7 Μαγνητικοί δείκτες στάθμης	128
4.8 Μέτρηση στάθμης με πλωτήρα και βαρίδιο	129
4.9 Μέτρηση στάθμης με ποτενσιόμετρο	129
4.10 Χωρητικός αισθητήρας στάθμης	131
4.11 Μέτρηση στάθμης με αισθητήρα αγωγιμότητας	132
4.11.1 Εργαστηριακή εφαρμογή 1: Μέτρηση στάθμης	133
4.12 Μέτρηση στάθμης με υπερήχους	137
4.13 Μέτρηση στάθμης με μικροκύματα	138

4.14 Μέτρηση στάθμης με οπτικούς αισθητήρες	138
4.14.1 Μέτρηση επιπέδων στάθμης με οπτικούς αισθητήρες δέσμης λέιζερ	138
4.14.2 Μέτρηση επιπέδων στάθμης με οπτικούς αισθητήρες διάθλασης	140
4.14.3 Μέτρηση επιπέδων στάθμης με οπτικούς αισθητήρες πρίσματος	141
4.15 Μέτρηση στάθμης με φυσαλίδες	141
4.16 Μέτρηση στάθμης μέσω υδροστατικής πίεσης	143
4.17 Μέτρηση στάθμης με ακτίνες (γ) γάμμα	144
4.18 Ανιχνευτής δονούμενων ακίδων	144
4.19 Μέτρηση στάθμης με συστοιχία θερμών νημάτων	146
4.19 Μέτρηση στάθμης με μαγνητοσυσταλτικό στοιχείο	146
4.20 Ανιχνευτής στάθμης υπέρηχων με διάκενο σωλήνα	147
4.21 Ανιχνευτής θερμικής διάχυσης	148

Κεφάλαιο 5: Μετρήσεις θερμοκρασίας

5.1 Εισαγωγή	149
5.2 Μονάδες μετρήσεις θερμοκρασίας	150
5.3 Θερμική σταθερά	150
5.4 Βαθμονόμηση αισθητήρων θερμοκρασίας	151
5.5 Θερμόμετρο με ρευστό	152
5.5 Μεταλλικά θερμόμετρα	153
5.6 Μέτρηση θερμοκρασίας με διμεταλλικά ελάσματα	153
5.7 Ευθύγραμμο διμεταλλικά ελάσματα	154
5.7.1 Ελικοειδή διμεταλλικά ελάσματα	155
5.7.2 Διμεταλλικός θερμοστάτης	156
5.8 Μέτρηση θερμοκρασίας μέσω πίεσης	157
5.9 Μέτρηση θερμοκρασίας μέσω ηλεκτρικής αντίστασης	157
5.9.1 Σύνδεση στοιχείων RTD σε γέφυρα Wheatstone	161
5.9.3 Αισθητήρες θερμοκρασίας PT100	165
5.9.4 Αισθητήρες θερμοκρασίας PT1000	167
5.10 Θερμίστορ	167
5.10.1 Εργαστηριακή Εφαρμογή 1	171
5.10.2 Εργαστηριακή Εφαρμογή 2	172
5.11 Θερμοζεύγος	173
5.11.1 Φαινόμενο Seebeck	173
5.11.2 Τύποι θερμοζευγών	174
5.11.3 Τεχνικές μέτρησης με θερμοζεύγος	177
5.11.3.1 Μέτρηση θερμοκρασίας με δύο θερμικές επαφές	177
5.11.3.2 Μέτρηση θερμοκρασίας με μία θερμική επαφή	181
5.11.3.3 Συστοιχίες κυκλωμάτων θερμοζευγών	182
5.11.4 Αγωγοί επέκτασης και κατασκευαστική δομή θερμοζεύγους	184
5.11.5 Εγκατάσταση θερμοζεύγους και ανάπτυξη μετρητικού συστήματος	187
5.12 Αισθητήρες θερμοκρασίας στερεάς κατάστασης	191
5.12.1 Ολοκληρωμένα κυκλώματα θερμοκρασίας με ψηφιακό ελεγκτή	195
5.12.2 Ολοκληρωμένα κυκλώματα θερμοκρασίας με αναλογικό ελεγκτή	196
5.12.3 Εργαστηριακή Εφαρμογή 3 : “Ανάπτυξη συστήματος μέτρησης θερμοκρασίας και ελέγχου σε πραγματικό χρόνο με το στοιχείο LM135Z”	196
5.13 Θερμόμετρα ακτινοβολίας	198
5.13.1 Υπέρυθρο πυρόμετρο	198
5.13.1.1 Μέθοδος μέτρησης με πυρόμετρο	201
5.13.2 Θερμογράφος	201
5.13.3 Υπερηχητικό Θερμόμετρο	202
5.13.4 Οπτικό πυρόμετρο	203
5.13.5 Πυρόμετρο δύο χρωμάτων	204

Κεφάλαιο 6: Μετρήσεις πυκνότητας & πίεσης

6.1 Εισαγωγή	205
6.2 Πυκνότητα	207
6.2.1 Επαγωγικό πυκνόμετρο	207
6.2.2 Πυκνόμετρο δόνησης	207
6.2.3 Οπτικό πυκνόμετρο	208
6.2.4 Μέτρηση πυκνότητας με τεχνική φυσαλίδων	208
6.3 Υδροστατική πίεση	209
6.4 Αισθητήρες πίεσης	210
6.4.1 Μανόμετρα υοειδούς σωλήνα ή τύπου U	211
6.4.2 Μανόμετρα δεξαμενής και κεκλιμένου επιπέδου	212
6.4.3 Μέτρηση πίεσης με διάφραγμα	214

6.4.3.1 Ποτενσιομετρικός μετατροπέας πίεσης	216
6.4.4 Μέτρηση πίεσης με κάψουλες	216
6.4.5 Μέτρηση πίεσης με θαλάμους	217
6.4.6 Μέτρηση πίεσης με σωλήνες Bourdon	217
6.4.7 Μετρητής πίεσης κουδουνιού	220
6.4.8 Μέτρηση πίεσης με χωρητικούς αισθητήρες	221
6.4.9 Επαγωγικός αισθητήρας πίεσης	223
6.4.10 Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες πίεσης	224
6.4.11 Μέτρηση πίεσης με μηκυνσιόμετρα	224
6.4.12 Μέτρηση πίεσης με αισθητήρα συντονισμένου αγωγού	228
6.4.13 Μέτρηση πίεσης με πιεζοαντιστάσης	228
6.4.14 Μέτρηση πίεσης με οπτικούς αισθητήρες	230
6.4.15 Μέτρηση πίεσης με αισθητήρες μαγνητικής ροής	230
6.4.16 Μέτρηση πίεσης με θερμό έλασμα	231
6.4.18 Μανόμετρο McLeod	231
6.4.19 Μανόμετρο ιονισμού μέτρησης υψηλού κενού	232
6.4.20 Μανόμετρο Bayard-Alpert μέτρησης πολύ υψηλού κενού	232
6.5 Βαρόμετρα	233
6.5.1 Βαρόμετρο Υδραργύρου	233
6.5.2 Μεταλλικό βαρόμετρο	233

Κεφάλαιο 7: Μετρήσεις ροής

7.1 Εισαγωγή	235
7.1.1 Αριθμός Reynolds	236
7.1.2 Προφίλ ταχύτητας ρευστού	236
7.1.3 Όργανα μέτρησης ροής	237
7.2 Μέτρηση ογκομετρικής παροχής με διαφορά πίεσης	238
7.3 Μετρητής στομίου εκροής	239
7.4 Μετρητής με σωλήνα Venturi	241
7.5 Μετρητής ακροφυσίου	243
7.6 Μετρητής ακροφυσίου Venturi	243
7.7 Μετρητής καμπυλωτού σωλήνα	243
7.8 Σωλήνας Pitot	244
7.9 Στατικός σωλήνας pitot	245
7.10 Ρόμετρο μεταβλητής διατομής	246
7.11 Ρόμετρο ογκομετρικής μετατόπισης	247
7.12 Ρόμετρο στροβίλου	249
7.13 Ηλεκτρομαγνητικά ρόμετρα	250
7.14 Ρόμετρα Vortex	252
7.15 Υπερηχητικό ρόμετρο Doppler	254
7.16 Ρόμετρο υπερηχητικού χρόνου διέλευσης	254
7.17 Ανεμόμετρα	255
7.17.1 Σύστημα γέφυρας ανεμομέτρου σταθερού ρεύματος	259
7.17.2 Σύστημα γέφυρας ανεμομέτρου σταθερής θερμοκρασίας	259
7.18 Ρόμετρο Coriolis	260
7.19 Μέτρηση ροής με περιστρεφόμενο μαγνήτη	260
7.20 Ρόμετρο θερμοδομετρικής μεταβολής	261
7.21 Ρόμετρο μηχανικού πτερυγίου	262
7.22 Μετρητής προπέλας	262
7.23 Μετρητής εμβόλου	263
7.24 Αισθητήρας μάζας ροής αέρα	264
7.24.1 Αισθητήρας μάζας ροής αέρα θερμού νήματος	264
7.24.1 Αισθητήρας μάζας ροής αέρα ποτενσιομετρικού δείκτη	264
7.24.2 Αισθητήρας μάζας αέρα τύπου Karmen	265
7.25 Ανιχνευτές ροής	266
7.25.1 Οπτοηλεκτρικός ανιχνευτής	266
7.25.2 Θερμικός ανιχνευτής	266

Κεφάλαιο 8: Μετρήσεις ταχύτητας και επιτάχυνσης

8.1 Εισαγωγή	267
8.2 Στροβοσκόπιο	268
8.3 Ταχογεννήτριες	269
8.3.1 Ταχογεννήτριες συνεχούς ρεύματος	269
8.3.2 Ταχογεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος	269
8.3.3 Ταχογεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος 3 φάσεων	270
8.4 Γυροσκόπια	270

8.4.1	Οπτικά γυροσκόπια	271
8.5	Επιταχυνσιόμετρα	271
8.5.1	Μηχανικό μοντέλο επιταχυνσιόμετρου	271
8.5.2	Χωρητικό επιταχυνσιόμετρο	274
8.5.3	Επιταχυνσιόμετρα πιεζοαντίστασης	275
8.5.4	Πιεζοηλεκτρικά Επιταχυνσιόμετρα	275
8.5.5	Επιταχυνσιόμετρα θερμοσθήλης	276
8.5.6	Επιταχυνσιόμετρα θερμαινόμενου αερίου	277
8.5.7	Οπτικός αισθητήρας επιτάχυνσης	278
8.6	Ταχυμετρίας απεικόνισης σωματιδίων (PIV)	278
8.6.1	Τεχνική μέτρησης PIV	278
8.7	Ανεμομετρία Doppler	280
8.7.1	Τεχνική μέτρησης με ανεμόμετρο Doppler δύο ακινών	280
8.7.2	Τεχνική μέτρησης με ανεμόμετρο Doppler ακτίνας αναφοράς	281
8.8	Μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου	282
8.8.1	Ανεμόμετρο κυπέλλων	282
8.8.2	Ανεμόμετρο με φερωτή	283
8.8.3	Ανεμόμετρο θερμού νήματος	283
8.8.4	Ηχητικά ανεμόμετρα	283

Κεφάλαιο 9: Μετρήσεις δύναμης και ροπής

9.1	Εισαγωγή	285
9.2	Μέτρηση δύναμης με δυναμοκυψέλες	286
9.2.1	Κυψέλες φορτίου	286
9.2.1.1	Κυψέλες φορτίου τύπου συνδέσμου	287
9.2.1.2	Κυψέλες φορτίου τύπου δοκού κάμψης	289
9.2.1.3	Κυψέλη φορτίου τύπου δακτυλίου	292
9.2.1.4	Κυψέλη φορτίου δακτυλίου με στοιχείο LVDT	293
9.2.1.5	Κυψέλη φορτίου δακτυλίου με απόλυτο κωδικοποιητή	293
9.2.1.6	Κυψέλη φορτίου τύπου S	293
9.2.1.7	Κυψέλη διαμηθικής τάσης φορτίου	294
9.2.1.8	Κυψέλη φορτίου συμπίεσης	294
9.2.1.9	Συνδεσμολογία κυψέλης φορτίου	295
9.2.1.10	Σφάλματα απόκτησης και μεθοδολογίες αντιστάθμισης της τάσης μετατόπισης με δυναμοκυψέλη	295
9.2.1.11	Αντιστάθμιση μέσω λογισμικού	295
9.2.1.12	Αντιστάθμιση μέσω κυκλώματος μηδενισμού	296
9.2.1.13	Αντιστάθμιση μέσω ενισχυτή μηδενισμού	296
9.2.1.14	Μονάδες σύνδεσης γεφυρών και βελτίωσης σήματος δυναμοκυψελών	296
9.2.1.15	Παραδείγματα εφαρμογής δυναμοκυψελών της εταιρείας FUTEK	297
9.3	Πνευματικά δυναμόμετρα	299
9.4	Υδραυλικά δυναμόμετρα	299
9.5	Έξυπνα δυναμόμετρα	299
9.5.1	Δοκός βάρους	300
9.6	Όργανα μέτρησης ισορροπίας μάζας (Ζύγιση)	300
9.6.1	Ζυγός	300
9.6.2	Κλιμακωτό Εκκρεμές	301
9.6.3	Ηλεκτρομαγνητικός Ζυγός	302
9.7	Μέτρηση δύναμης μέσω δονούμενου αγωγού	302
9.8	Αισθητήρες μέτρησης δύναμης με πιεζοκρύσταλλους	303
9.8.1	Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας δύναμης τύπου τάσης	304
9.8.2	Τύποι πιεζοκρυστάλλων μέτρησης δύναμης	304
9.8.2.1	Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες δύναμης γενικού σκοπού	305
9.8.2.2	Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες δύναμης τύπου διάτρησης	305
9.8.2.3	Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες δύναμης τύπου μινιατούρας	305
9.8.2.4	Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες δύναμης τύπου κρούσης	306
9.8.2.5	Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες δύναμης τύπου δακτυλίου	306
9.8.2.6	Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες δύναμης τύπου συνδέσμου	306
9.8.2.7	Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες δύναμης τύπου πολλαπλών συνιστωσών	306
9.9	Μέτρηση ροπής	307
9.9.1	Μέτρηση ροπής σε περιστρεφόμενο άξονα με δακτύλιους συλλέκτες	308
9.9.2	Μέτρηση ροπής σε περιστρεφόμενο άξονα με εναλλασσόμενη σύζευξη	309
9.9.3	Μέτρηση ροπής σε περιστρεφόμενο άξονα με τηλεμετρία	309
9.10	Οπτική διάταξη μέτρησης ροπής	310
9.11	Διάταξη μέτρησης ροπής με οδοντωτούς μαγνητικούς τροχούς	311
9.12	Διάταξη μέτρησης ροπής με οπτικούς δίσκους	311

9.13 Μέτρηση ροπής με πέδηση Prony	311
9.14 Μέτρηση ροπής με μαγνητοσυστολικά στοιχεία	312
9.15 Εργαστηριακή Εφαρμογή 1: Μέτρηση δύναμης φορτίου με δυναμοκυψέλη μέσω της μονάδας USB 9237 της National Instruments	312
9.16 Εργαστηριακή Εφαρμογή 2: Μοντέλο προσομοίωση διάταξης δυναμοκυψέλης δοκού με δύο στοιχεία μηκυνσιόμετρων	315

Κεφάλαιο 10: Μετρήσεις μαγνητικών πεδίων

10.1 Εισαγωγή	317
10.2 Μαγνητικές ιδιότητες υλικών	319
10.2.1 Διαμαγνητικά υλικά	319
10.2.2 Παραμαγνητικά υλικά	319
10.2.3 Σιδηρομαγνητικά υλικά	320
10.2.4 Βρόχος υστέρησης	320
10.3 Μαγνητικοί αισθητήρες	321
10.3.1 Πηνίο ανίχνευσης	322
10.3.2 Μαγνητόμετρο πύλης ροής	323
10.3.3α Ατομικά μαγνητόμετρα	324
10.3.3β Αισθητήρες φαινομένου Hall	324
10.3.4 Εργαστηριακή Εφαρμογή 1: Μέτρησης στροφών DC κινητήρα	328
10.3.5 Μαγνητοαντίσταση	329
10.3.5.1 Ανισοτροπική μαγνητοαντίσταση	329
10.3.5.2 Γιγάντιες μαγνητοαντιστάσεις	330
10.3.5.3 Μαγνητοαντιστάσεις Τούνελ	331
10.3.6 Μαγνητοδίοδος	331
10.3.7 Μαγνητοτρανζίστορ	332
10.3.8 Οπτικό μαγνητόμετρο	332
10.3.9 Αισθητήρας SQUID	333
10.3.9.2 Αισθητήρας DC SQUID	335
10.3.10 Μαγνητόμετρο οπτικής άντλησης	336
10.3.11 Μαγνητοοπτικός αισθητήρας	336

Κεφάλαιο 11: Μετρήσεις ασθενών και υψηλών ρευμάτων

11.1 Εισαγωγή	337
11.2 Αντίσταση διακλάδωσης	338
11.2.1 Αντίσταση διακλάδωσης σε σύνδεση αναφοράς ως προς γη	340
11.2.2 Αντίσταση διακλάδωσης με διαφορική σύνδεση	341
11.2.3 Εργαστηριακή Εφαρμογή 1 : Υλοποίησης κυκλώματος ελέγχου ρεύματος σε DC κινητήρα	343
11.2.3 Εργαστηριακή Εφαρμογή 2 : Μέτρηση ρεύματος σε κινητήρα συνεχούς	343
11.3 Μέτρηση έντασης μέσω μετασχηματιστή	344
11.4 Διατάξεις μέτρησης για συστήματα διαχείρισης ενέργειας	346
11.5 Στοιχείο πηνίου Rowoscki	346
11.6 Μέτρηση ρεύματος με αισθητήρα φαινομένου Hall	348
11.7 Οπτική διάταξη μέτρησης υπέρ υψηλών εντάσεων	351

Κεφάλαιο 12: Αισθητήρες αφής

12.1 Εισαγωγή	353
12.2 Αισθητήρας αφής με μεμβράνη	354
12.3 Αισθητήρες τύπου πίνακα	354
12.4 Αισθητήρες μεταβλητής αντίστασης	355
12.4 Αισθητήρας κινούμενης ράβδου	358
12.5 Αισθητήρας φωτοανίχνευσης	358
12.6 Αισθητήρας αγωγίμου ελαστικού	359
12.8 Πνευματικοί αισθητήρες αφής	361
12.8 Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες αφής	362
12.9 Υβριδικοί αισθητήρες αφής	363
12.10 Αισθητήρες αφής VLSI	364
12.11 Οπτικοί αισθητήρες αφής	364

Κεφάλαιο 13: Μετρήσεις οπτικών μεγεθών

13.1 Εισαγωγή	365
13.2 Θεμελιώδη μεγέθη φωτομετρίας	365
13.3 Πηγές φωτός	368
13.3.1 Λαμπτήρας πυρακτώσεως	368

13.3.2	Λαμπτήρας αλογόνου	369
13.3.3	Λαμπτήρας φθορισμού	369
13.3.4	Δίοδος εκπομπής φωτός	370
13.3.5	Ταινία διόδων εκπομπής φωτός	370
13.4	Αισθητήρες φωτός	370
13.5	Ανιχνευτές φωτονίων	371
13.5.1	Φωτοαντίσταση	371
13.5.2	Φωτοδίοδος	372
13.5.2.1	Φωτοβολταϊκή λειτουργία φωτοδίοδου	374
13.5.2.2	Φωτοαγωγίμη λειτουργία διόδου	374
13.5.3	Φωτοτρανζίστορ	375
13.5.4	Φωτοβολταϊκό στοιχείο	375
13.5.5	Φωτοβολταϊκά λεπτού υμένα	377
13.5.6	Φωτοβολταϊκό πλαίσιο	377
13.5.7	Φωτοβολταϊκό πάνελ	377
13.6	Θερμικοί ανιχνευτές	377
13.6.1	Στοιχείο Golay	377
13.6.2	Θερμοηλεκτρικοί ανιχνευτές	378
13.6.2.1	Πυρανόμετρο	379
13.6.2.2	Πυρανόμετρο πυριτίου	380
13.6.3	Ημιαγωγικοί θερμοηλεκτρικοί ανιχνευτές	381
13.6.4	Πυροηλεκτρικοί αισθητήρες	381
13.6.5	Μπολόμετρα	382
13.6.6	Φωτοηλεκτρικός ανιχνευτής φλόγας	383
13.6.7	Υπέρυθρος ενεργός αισθητήρας	384
13.6.8	Αισθητήρας PAR	384
13.6.9	Πυργιόμετρο	386
13.6.9.1	Όργανο μέτρησης της καθαρής (NET) ακτινοβολίας	387
13.6.10	Ψυχροί ανιχνευτές	389
13.6.11	Διατάξεις συζευγμένων φορτίων (CCD)	390
13.7	Εργαστηριακή Εφαρμογή 1: Μελέτη αισθητήρας φωτοαντίστασης	392
13.8	Εργαστηριακή Εφαρμογή 2: Μελέτης επίδρασης φορτίου σε φωτοβολταϊκό πάνελ	395

Κεφάλαιο 14: Μετρήσεις ακουστικών μεγεθών

14.1	Εισαγωγή	399
14.2	Χαρακτηριστικά ηχητικών κυμάτων	400
14.3	Ανηχοϊκοί θάλαμοι	404
14.4	Ακουστικοί αισθητήρες	405
14.4.1	Υδρόφωνο	405
14.4.2	Μικρόφωνο Άνθρακα	405
14.4.3	Δυναμικό μικρόφωνο	406
14.4.4	Μικρόφωνο ταινίας	407
14.4.5	Πυκνωτικό μικρόφωνο	407
14.4.6	Μικρόφωνο ηλεκτρίτη	409
14.4.7	Πιεζοηλεκτρικό μικρόφωνο	409
14.4.8	Πιεζοηλεκτρική ταινία	410
14.4.9	Μικρόφωνο οπτικών ινών	410
14.4.10	Αισθητήρας επιφανειακών κυμάτων	411
14.4.11	Αισθητήρας κυμάτων καμπικής πλάκας	412
14.4.12	Probe δύο μικροφώνων	413
14.5	Θόρυβος	414
14.5.1	Ισοακουστικές Καμπύλες	415
14.5.2	Φίλτρα στάθμισης καμπυλών ήχου	416
14.6	Όργανα μέτρησης θορύβου	416
14.6.1	Ηχόμετρο	416
14.6.2	Όργανο μέτρησης των ηχητικών δονήσεων	417
14.6.3	Συσκευές αποτίμησης της έκθεσης σε ηχητική ρύπανση	418
14.6.4	Ηχοδοσίμετρο	419
14.6.5	Τεχνικά προβλήματα κατά τις μετρήσεις θορύβων	419
14.7	Ηχοεντοπιστικά συστήματα	419
14.7.1	Ακουστικός υποθαλάσσιος μεταδότης	419
14.7.2	Σόναρ	420
14.7.3	Ηχοσημαντήρας	421
14.8	Εργαστηριακή Εφαρμογή 1: Καταγραφή και επεξεργασία ήχου μέσω υπολογιστικών διατάξεων	422
14.9	Εργαστηριακή Εφαρμογή 2: Ακουστική ποτηριών	424

Κεφάλαιο 15: Μετρήσεις ιονίζουσα ακτινοβολίας

15.1 Εισαγωγή	427
15.2 Σπινθηριστής	428
15.3 Φωτοπολλαπλασιαστής καναλιού	430
15.4 Ανιχνευτές ιονισμού	430
15.4.1 Θάλαμος ιονισμού	430
15.4.2 Αναλογικός θάλαμος ιονισμού	432
15.4.3 Μετρητής Geiger-Móller	433
15.4.4 Θάλαμος ολίσθησης	433
15.5 Ανιχνευτές ημιαγωγών	433
15.6 Σωλήνας παραγωγής ακτίνων X	435

Κεφάλαιο 16: Μετρήσεις χημικών μεγεθών

16.1 Εισαγωγή	437
16.2 Χαρακτηριστικά χημικών αισθητήρων	437
16.2.1 Άμεσοι χημικοί αισθητήρες	438
16.2.2 Έμμεσοι χημικοί αισθητήρες	439
16.3 Αισθητήρες μέτρησης οξειδοαναγωγής (ORP)	439
16.4 Χημικοί αισθητήρες μεταλλικού οξειδίου	440
16.4.1 Εμπορικοί τύποι αισθητήρων μεταλλικού οξειδίου	442
16.5 Χημικό FET (chemFET)	442
16.6 Ηλεκτροχημικοί αισθητήρες	443
16.7 Χημικοί αισθητήρες θερμικού φαινομένου	443
16.7 Αισθητήρας Pellistor	444
16.8 Ηλεκτροχημικοί αισθητήρες αερίων	445
16.8.1 Εμπορικοί τύποι ηλεκτροχημικών αισθητήρων αερίου	446
16.9 Αισθητήρες μέτρησης διαλυτού οξυγόνου	446
16.9.1 Πολαρογραφικό ηλεκτρόδιο O ₂ τύπου Clark	446
16.9.2 Γαλβανικοί αισθητήρες μέτρησης διαλυτού οξυγόνου	447
16.10 Αισθητήρες οξυγόνου οξειδίων ζirkονίου (ZrO ₂)	447
16.11 Παραμαγνητικός αισθητήρας οξυγόνου	449
16.12 Οπτικοί χημικοί αισθητήρες	449
16.12.1 Οπτικός αισθητήρας CO ₂	449
16.13 Χημικοί αισθητήρες οπτικής ίνας	450
16.14 Φασματογράφος μάζας	450
16.14 Φασματογράφος χρόνου – πτήσης	452
16.15 Υπέρυθρη φασματογραφία για ανίχνευση CO ₂	454
16.16 Τετραπολικός φασματογράφος μαζών	454
16.17 Κυψέλη Βολταμετρίας	455
16.18 Αέριος Χρωματογράφος	456
16.19 Υγρός χρωματογράφος υψηλής πίεσης	457

Κεφάλαιο 17: Μετρήσεις βιοιατρικών μεγεθών

17.1 Εισαγωγή	459
17.2 Η αρχή της ποτενσιομετρίας	460
17.3 Ηλεκτρόδια λήψης βιοσημάτων	461
17.3.1 Ηλεκτρόδια επαφής	461
17.3.1.1 Ηλεκτρόδιο επαφής περιόδου	461
17.3.1.2 Ηλεκτρόδιο βεντούζας απορρόφησης	461
17.3.1.3 Ηλεκτρόδιο επαφής Ag/AgCl	461
17.3.2 Ενδοσωματικά ηλεκτρόδια	462
17.2.2.1 Ηλεκτρόδιο βελόνης	462
17.2.2.2 Ενδοσωματικά ηλεκτρόδια καθετήρα	462
17.2.2.3 Μικροηλεκτρόδια	463
17.2.2.4 Γάλινο /μεταλλικό μικροηλεκτροδίο	463
17.2.2.5 Μικροηλεκτρόδιο εμπλουτισμένου υγρού	464
17.2.2.6 Ηλεκτρόδιο αναφοράς	464
17.3 Μέθοδος καθήλωσης τάσης	464
17.4 Φωτοχρωματομετρία	465
17.4.1 Μέτρηση επίπεδου διοξειδίου του άνθρακα στο αναπνευστικό σύστημα	467
17.4.2 Μέτρηση ηλεκτρολυτών	467
17.5 Φωτοπληθυσμογράφημα (PPG)	469
17.5.1 Μέτρηση οξυγόνου αίματος μέσω φωτοπληθυσμογραφήματος	471
17.6 Μέτρηση καρδιακής παροχής με θερμοαραίωση	472
17.7 Τεχνική δοκιμής καταπόνησης βιολογικών βαλβίδων καρδιάς	473

17.8 Υπέρηχος απεικόνισης	475
17.9 Ηχοκαρδιογράφοι	475
17.10 Λογισμικά μετρήσεων βιοιατρικών μεγεθών	475
17.11 Εργαστηριακή Εφαρμογή 1: “Ανάπτυξη πειραματικής διάταξης ελέγχου μηχανικής παλάμης μέσω μέτρησης βιοδυναμικών μυσός χεριού”	476

Κεφάλαιο 18: Μετρήσεις στην ηλεκτροφυσιολογία των φυτών

18.1 Εισαγωγή στην ηλεκτροφυσιολογία των φυτών	479
18.2 Αβιοτική και βιοτική καταπόνηση	480
18.2.1 Αβιοτική καταπόνηση	480
18.2.2 Βιοτική καταπόνηση	480
18.3 Ορισμοί και τύποι βιοσημάτων των φυτών	481
18.3.1 Δυναμικό ηρεμίας	482
18.3.2 Δυναμικό Δράσης	482
18.3.3 Δυναμικό μεταβολής	485
18.3.4 Διαφοροποίηση μεταξύ AP & VP σήματος	485
18.3.5 Μέτρηση του AP & VP σήματος	485
18.4 Μαθηματική προσομοίωση του δυναμικού μεμβράνης	487
18.5 Κανάλια μετάδοσης βιοηλεκτρικών σημάτων	489
18.6 Τεχνικές μετρήσεων βιοσημάτων	491
18.6.1 Δημιουργώντας επαφή με το φυτό	491
18.6.2 Τεχνική μέτρηση σε επίπεδο δυναμικού μεμβράνης (MP)	491
18.6.3 Τεχνική μέτρησης των δυναμικών δράσης και ανάπαυσης	493
18.6.4 Τεχνική μέτρησης των ηλεκτρικών σημάτων μέσα στο φλοιώμα	493
18.7 Σύστημα απόκτησης, καταγραφής και επεξεργασίας βιοσημάτων των φυτικών οργανισμών	494
18.7.1 Αισθητήρας Ag/AgCl	495
18.7.2 Μονάδα ενισχυτής υψηλής εμπέδησης αισθητήρα Ag/AgCl	496
18.7.3 Μονάδα φίλτρου αντι-αναδίπλωσης (anti-alias filter)	496
18.7.4 Μονάδα απόκτησης δεδομένων (DAQ)	497
18.7.5 Κώδικας επεξεργασίας, απεικόνισης και καταγραφής βιοσημάτων	497
18.8 Πειραματική μέθοδος ανίχνευσης βιοσήματος κατά τη μεταβολή της αγωγιμότητας (EC) του θρεπτικού διαλύματος	497
18.9 Διερεύνηση της επίδρασης της ενεργού φωτοσυνθετικής ακτινοβολίας (PAR) στη μορφολογία του βιοσήματος ...	500
18.10 Οφέλη εφαρμογής των βιοσημάτων	502

Κεφάλαιο 19: Αισθητήρες διαφόρων φυσικών μεγεθών

19.1 Μέτρηση της οξύτητας σε υγρό μέσο με χρήση pHμετρου	503
19.1.1 Ορισμός της οξύτητας (pH)	503
19.1.2 Ποτενσιομετρικός προσδιορισμός του pH	503
19.1.3 Ηλεκτρόδια μέτρησης του pH	505
19.2 Μέτρηση της υγρασίας σε αέρια και στερεά μέσα	506
19.2.1 Μέτρηση της υγρασίας σε αέρια μέσα	506
19.2.1.1 Αισθητήρες μεταβλητής χωρητικότητας	506
19.2.1.2 Αισθητήρες μεταβλητής αντίστασης	507
19.2.2 Μέτρηση της υγρασίας σε στερεά μέσα	507
19.2.2.1 Αισθητήρες μικροκυμάτων	507
19.2.2.2 Ωμικοί αισθητήρες (κύβιοι γύψου ή πορώδους υλικού)	507
19.2.2.3 Αισθητήρες μέτρησης της χωρητικότητας	508
19.2.2.4 Αισθητήρες χρόνου ανάκλασης	508
19.2.2.5 Αισθητήρας σκέδασης θερμοκρασίας	508
19.3 Τενσιόμετρο	509
19.4 Αγωγιμόμετρο	510
19.5 Μέτρηση του ιξώδους σε υγρό μέσο	511
19.6 Μέτρηση της συγκέντρωσης ιόντων σε υγρό μέσο με χρήση ιοντοεκλεκτικών αισθητήρων	512
19.6.1 Αισθητήρες ISE και ELIT ISE	512
19.6.2 Αισθητήρες ISFET	513
19.7 Αισθητήρες μέτρησης της συγκέντρωσης του CO ₂ σε αέριο περιβάλλον	513
19.7.1 Αισθητήρες NDIR και DIR	514
19.9 Αισθητήρες μέτρησης της συγκέντρωσης αερίων	515
19.9.1 Αισθητήρας φωτοιονισμού	515
19.10 Μέτρηση της περιεκτικότητας των φύλλων σε χλωροφύλλη με αισθητήρες φθορισμού	516
19.11 Αισθητήρας ανίχνευσης φυσαλίδων	517

Κεφάλαιο 20: Μετρήσεις περιβαλλοντικών μεγεθών

20.1 Εισαγωγή	519
20.2 Συστήματα λήψης δειγμάτων	520

20.2.1 Δειγματοληψία με απευθείας παρεμβολή του δειγματολήπτη στη γραμμή παραγωγής	520
20.2.2 Δειγματοληψία με συνεχή απόσπαση παραγόμενου υλικού από τη γραμμή παραγωγής και μεταφορά του μέσω ειδικών γραμμών μεταφοράς στο σύστημα ανάλυσης	521
20.2.3 Περιοδική απόσπαση του παραγόμενου υλικού από τη γραμμή παραγωγή	521
20.2.4 Αυτόματοι δειγματολήπτες υγρών δειγμάτων	522
20.3 Μετρήσεις σε υγρά απόβλητα	522
20.3.1 Υγρά απόβλητα	522
20.3.2 Μέτρηση των φυσικών και χημικών μεγεθών των υγρών αποβλήτων	525
20.3.3 Αισθητήρες και συστήματα ανάλυσης	525
20.3.3.1 Μετρήσεις χημικών ρύπων με χρήση ειδικών αισθητήρων	525
20.3.3.2 Συσκευές καθαρισμού αισθητήρων	526
20.3.3.3 Αισθητήρες μέτρησης διαλυτού οξυγόνου (DO)	529
20.3.3.4 Αισθητήρες μέτρησης ολικού άνθρακα (TC) και ολικού οργανικού άνθρακα (TOC)	530
20.3.3.5 TOC ανάλυση με χρήση ανιχνευτή ιονισμού φλόγας	530
20.3.3.6 TOC ανάλυση με μέτρηση της αγωγιμότητας	531
20.3.3.7 Μέθοδος κλασικής χημική ανάλυση	531
20.3.3.8 Φασματοσκοπία	532
20.3.3.9 Μέτρηση ρύπων με χρήση κοντινής υπέρυθρης ακτινοβολίας	532
20.4 Μετρήσεις στερεών σωματιδίων και λιπαρών ουσιών σε υγρά απόβλητα	533
20.4.1.1 Αισθητήρας μέτρησης ιλύος	533
20.4.1.2 Μέτρηση της συνεκτικότητας της ιλύος	533
20.4.1.3 Αισθητήρες μέτρησης της θολότητας	534
20.4.1.4 Μέτρηση της θολότητας με αισθητήρα διαπερατότητας	535
20.4.1.5 Μέτρηση της θολότητας με αισθητήρα διπλής δέσμης	535
20.4.1.6 Μέτρηση της θολότητας με αισθητήρα τύπου λείζερ	536
20.4.1.7 Μέτρηση της θολότητας με αισθητήρα διάχυσης	536
20.4.1.8 Μέτρηση της θολότητας μέσω της ανακλώμενης ακτινοβολίας (επανασκέδαση)	537
20.4.1.9 Συστήματα μέτρησης των αιωρούμενων κολλοειδών	537
20.4.1.10 Συστήματα μέτρησης των λιπαρών και ελαιούχων ουσιών σε υγρά λύματα	538
20.5 Μετρήσεις αέριων ρύπων	540
20.5.1 Τεχνικές δειγματοληψίας αέριων ρύπων	541
20.5.2 Συστήματα ανάλυσης αέριων ρύπων	544
20.5.3 Αισθητήρες μέτρησης αέριων ρύπων	544
20.5.4 Συνεχής απεικόνιση αέριων εκπομπών	545
20.6 Τεχνικές μέτρησης αέριων ρύπων από απόσταση	546
20.6.1 Μέτρηση αέριων ρύπων μέσω FTIR	547
20.6.2 UV φασματοσκοπία	547
20.6.3 Συσχέτιση του αερίου δείγματος με μάρτυρα	547
20.6.4 Ανίχνευση του φάσματος απορρόφησης	547
20.6.5 Απορρόφηση ακτινοβολίας Laser	547
20.6.6 Φωτοακουστική φασματοσκοπία	547
20.6.7 LIDAR (Light Detection And Ranging)	547
20.6.8 Φασματοσκοπία δέσμης Laser εκπεμπόμενης από δίοδο	547
20.7 Τεχνικές διαχωρισμού των στερεών ρύπων από αέριο μέσο	548
20.7.1 Φίλτρα κλασικού τύπου	548
20.7.2 Φιλτράρισμα στερεών ρύπων με πλύση και πρόσκρουση	548
20.7.3 Φίλτρα ηλεκτροστατικής κατακρήμνισης (ESP)	550
20.7.4 Φίλτρα θερμική κατακρήμνιση	550
20.7.5 Φίλτρα κυκλωνισμού	550
20.7.6 Φίλτρα περιστρεφόμενων δίσκων	550
20.8 Ηχορύπανση	552
20.8.1 Βασικές αρχές μέτρησης της ηχορύπανσης	552
20.8.2 Όργανα μέτρησης του θορύβου	554

Κεφάλαιο 21: Έξυπνοι αισθητήρες και πρότυπα μεταφοράς δεδομένων

21.1 Εισαγωγή στους έξυπνους αισθητήρες	555
21.2 Λειτουργίες έξυπνων αισθητήρων	557
21.2.1 Λειτουργία ελέγχου διέγερσης	557
21.2.2 Λειτουργία προσαρμογής σήματος	557
21.2.3 Λειτουργία αυτοβαθμονόμησης	558
21.2.4 Λειτουργία επιτήρησης – παρακολούθησης	558
21.3 Πρότυπα επικοινωνίας έξυπνων αισθητήρων	559
21.3.1 Το πρότυπο IEEE 1451.0	559
21.3.2 Το πρότυπο IEEE 1451.1	560
21.3.3 Το πρότυπο IEEE 1451.2	560
21.3.4 Το πρότυπο IEEE 1451.3	562

21.3.5 Το πρότυπο IEEE 1451.4.....	563
21.3.6 Το πρότυπο IEEE 1451.5.....	566
21.3.7 Το πρότυπο IEEE 1451.6.....	566
21.4 Πρότυπα μεταφοράς δεδομένων συσκευών.....	566
21.4.1 Το πρότυπο RS-232	566
21.4.2 Το πρότυπο RS-422	571
21.4.3 Το πρότυπο RS-485	572
21.4.4 Το πρότυπο I2C	572
21.4.5 Το πρότυπο SPI.....	573
21.4.6 Το πρότυπο CAN-bus	574
21.4.7 Το πρότυπο USB	575
21.4.8 Το πρότυπο GPIB (IEEE-488)	575
21.4.9 Το πρότυπο Firewire (IEEE-1394)	580
21.4.10 Το πρότυπο 1-Wire	581
21.5 Εργαστηριακή Εφαρμογή 1 : “Προγραμματισμός LabVIEW για πρότυπο RS-232”	581

Κεφάλαιο 22: Ασύρματοι αισθητήρες ZigBEE

22.1 Εισαγωγή	587
22.2 Εφαρμογές ZigBee	588
22.2.1 Μετρήσεις και εφαρμογές στη βιομηχανία	588
22.2.2 Μετρήσεις και παρακολούθηση στη γεωργία	589
22.2.3 Παρακολούθηση έμβιων όντων	589
22.2.4 Παρακολούθηση της δομικής κατάστασης κατασκευών	589
22.2.5 Υγειονομική Περίθαλψη	589
22.2.6 Εφαρμογή σε τηλεματική αυτοκινήτων	589
22.3 Αναλυτές ZigBee	590
22.4 Ασύρματα προσωπικά δίκτυα χαμηλού ρυθμού LR-WPAN.....	590
22.4.1 Σχηματισμός δικτύων αστέρα	592
22.4.2 Σχηματισμός δικτύων p2p	592
22.4.3 Δομή υπερπλαισίου	592
22.4.4 Πρότυπο μεταφοράς δεδομένων	593
22.4.5 Μεταφορά δεδομένων από συσκευή RFD προς ένα συντονιστή FFD	594
22.4.6 Μεταφορά δεδομένων από συντονιστή FFD προς συσκευή RFD	594
22.4.7 Διομότιμη μεταφορά δεδομένων	594
22.5 Αρχιτεκτονική του LR-WPAN IEEE 802.15.4	595
22.6 Το φυσικό επίπεδο (PHY)	595
22.6.1 Διαμόρφωση των πακέτων	597
22.6.1.1 Διαμόρφωση της μονάδας δεδομένων του φυσικού πρωτοκόλλου (PPDU)	597
22.6.2 Υλικό (hardware) ενός ασύρματου κόμβου ZigBEE	598
22.6.2.1 Μονάδα ενισχυτή σήματος υψηλής εμπέδησης εισόδου	599
22.6.2.2 Μονάδα φίλτρου αντι-αναδίπλωσης σήματος.....	600
22.6.2.3 Μικροελεγκτής	600
22.6.2.4 RF modem ZigBEE/IEEE 802.15.4	601
22.7 Δίκτυα ZigBEE.....	603
22.7.1 Σύνδεση τελικών σημείων	606
22.7.2 Μηχανισμός μεταφοράς δεδομένων	606
22.8 Σωρός ZigBEE	606
22.8.1 Στρώμα εφαρμογής (APL) του σωρού της Microchip.....	607
22.8.2 Το υποεπίπεδο υποστήριξης της εφαρμογής (APS) του σωρού της Microchip.....	607
22.8.3 Το επίπεδο δικτύου του σωρού της Microchip	609
22.8.4 Το επίπεδο ZDO του σωρού της Microchip	609
22.8.5 Το επίπεδο ZigBEE Device Profile Layer του σωρού της Microchip	609
22.8.6 Το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης MAC του σωρού της Microchip	609
22.8.7 Αρχεία διαχείρισης συσκευών FFD και RFD	610
22.8.8 Ρουτίνες διαχείρισης σωρού ZigBEE	610
22.8.9 Ρουτίνες CallBack (CallBack Functions)	610
22.9 Διαδικασία σχεδίασης και προγραμματισμού ενός δικτύου ZigBee	612
22.9.1 Σχεδίαση και επιλογή του προφίλ της εφαρμογής	612
22.9.2 Επιλογή του υλικού της εφαρμογής και συνδεσμολογία	614
22.9.3 Προγραμματισμός της εφαρμογής	615
22.9.2.1 Το περιβάλλον προγραμματισμού MPLAB.....	616

Κεφάλαιο 23: Διατάξεις τελεστικών ενισχυτών για συστήματα μετρήσεων

23.1 Τελεστικοί ενισχυτές	619
23.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά τελεστικών ενισχυτών	620

23.3 Μονοπολική τροφοδοσία τελεστικών ενισχυτών	628
23.3.1 Εικονική γη.....	628
23.4 Διατάξεις τελεστικών ενισχυτών	630
23.4.1 Αναστρέφων τελεστικός ενισχυτής	630
23.4.2 Μη αναστρέφων τελεστικός ενισχυτής	632
23.4.3 Τελεστικός ενισχυτής σήματος βίντεο	633
23.4.4 Τελεστικός ενισχυτής ως ακόλουθος τάσης	634
23.4.5 Ακόλουθος τάσης κορυφής.....	635
23.4.6 Τελεστικός ενισχυτής ως αθροιστής	635
23.4.7 Τελεστικός ενισχυτής μέσης τιμή	636
23.4.8 Τελεστικός ενισχυτής διαφοράς	637
23.4.9 Τελεστικός ενισχυτής ως συγκριτής	638
23.4.10 Διάταξη τελεστικού ως συγκριτή θετικής & αρνητικής τάσης αναφοράς	640
23.4.11 Διάταξη τελεστικού ενισχυτή ως ανιχνευτή μηδενός.....	641
23.4.12 Τελεστικός ενισχυτής ως ολοκληρωτής	643
23.4.13 Τελεστικός ενισχυτής ως διαφοριστής	644
23.4.14 Λογαριθμικός τελεστικός ενισχυτής	645
23.4.15 Αντιλογαριθμικός τελεστικός ενισχυτής	646
23.4.14 Τελεστικός ενισχυτής ως συντονιστής	646
23.4.15 Τελεστικός ενισχυτής γέφυρας	647
23.4.16 Τελεστικό ενισχυτής απόλυτης τιμής	648
23.4.17 Τελεστικός ενισχυτής σε διάταξη φίλτρου	649
23.4.18 Εργαστηριακή Εφαρμογή 1: Μελέτη χαρακτηριστικών διαφορικού ενισχυτή στο συνεχές	655
23.4.19 Εργαστηριακή Εφαρμογή 2: Μελέτη χαρακτηριστικών διαφορικού ενισχυτή στο εναλλασσόμενο	655
23.4.20 Εργαστηριακή Εφαρμογή 3	657
23.4.21 Εργαστηριακή Εφαρμογή 4	658
23.4.22 Εργαστηριακή Εφαρμογή 5	658
23.4.23 Εργαστηριακή εφαρμογή 6	659

Κεφάλαιο 24: Διατάξεις ενισχυτών για συστήματα μετρήσεων

24.1 Ενισχυτές σήματος	663
24.2 Ενισχυτής οργανολογίας	663
24.2.1 Χαρακτηριστικά ενισχυτή οργανολογίας.....	664
24.2.1.1 Λόγος απόρριψης κοινών σημάτων	665
24.2.1.2 Λόγος απόρριψης κοινών εναλλασσόμενων σημάτων	665
24.2.1.3 Σφάλμα με αναφορά εισόδου.....	666
24.2.1.4 Σφάλμα με αναφορά εξόδου.....	666
24.2.1.5 Χρόνος αποκατάστασης	666
24.2.1.6 Κλίμακα κέρδους	666
24.2.1.7 Σφάλμα κέρδους	666
24.2.1.8 Ρεύμα ηρεμίας	667
24.2.1.9 Κλίμακα τάσης λειτουργίας.....	667
24.2.1.10 Μέγιστο σφάλμα μη γραμμικότητας	667
24.2.1.11 Λόγος απόρριψης ισχύος τροφοδοσίας	668
24.2.2 Σύνδεση στοιχείων μετασχηματιστή, θερμοζεύγους και χωρητικότητας σε ενισχυτή οργανολογίας	668
24.3 Τύποι ενισχυτών οργανολογίας.....	669
24.3.1 Ενισχυτής οργανολογίας δύο τελεστικών ενισχυτών	669
24.3.2 Ενισχυτής οργανολογίας τριών τελεστικών ενισχυτών	671
24.4 Ενισχυτές απομόνωσης.....	674
24.4.1 Ενισχυτές απομόνωσης δύο και τριών τμημάτων	674
24.4.2 Ενισχυτής απομόνωσης μέσω ηλεκτρομαγνητικής σύζευξης	676
24.4.3 Ενισχυτής απομόνωσης μέσω οπτικής σύζευξης	676
24.4.4 Ενισχυτής απομόνωσης μέσω χωρητικής σύζευξης	677
24.5 Κάρτες με ενισχυτές αναλογικής και ψηφιακής απομόνωσης	678
24.6 Ενισχυτής κατάτμησης	679
24.7 Ενισχυτής κατάτμησης σταθερής σύνδεσης εισόδου/εξόδου	680
24.8 Ενισχυτές με προγραμματιζόμενο κέρδος	680
24.8.1 Ενισχυτής μεταβλητού κέρδους ελεγχόμενος από τάση	680
24.8.3 Ενισχυτής προγραμματιζόμενου κέρδους	682
24.8.2 Ενισχυτής διακριτού κέρδους	682
24.8.4 Προγραμματιζόμενος ενισχυτής οργανολογίας	683
24.9 Ενισχυτής αυτόματου κέρδους	685

Κεφάλαιο 25: Διατάξεις πολυπλεξίας και δειγματοληψίας σε συστήματα απόκτησης δεδομένων

25.1 Η έννοια της πολυπλεξίας	687
25.2 Λογικοί πολυπλέκτες και αποπολυπλέκτες	688

25.3 Αναλογικοί πολυπλέκτες και αποπολυπλέκτες	692
25.4 Διακόπτες στερεάς κατάστασης	692
25.4α Εργαστηριακή Εφαρμογή 1: Ανάπτυξη συστήματος απεικόνισης στάθμης 4 επιπέδων σε δεξαμενή ρευστού	695
25.4.1 Πηγές σφαλμάτων στους διακόπτες CMOS	697
25.4.2 Μέθοδοι προστασίας διακοπών CMOS	700
25.4.3 Ειδικές περιπτώσεις ηλεκτρονικών διακοπών	700
25.4.4 Χρήσεις ηλεκτρονικών διακοπών σε προγραμματιζόμενους ενισχυτές σήματος	701
25.5 Κύκλωμα δειγματοληψίας και συγκράτησης	702
25.5.1 Διάταξη δειγματοληψίας/συγκράτησης με ακόλουθο ανοικτού βρόχου σε συνδεσμολογία σειράς	704
25.5.2 Διάταξη δειγματοληψίας/συγκράτησης με ακόλουθο κλειστού βρόχου σε συνδεσμολογία σειράς	705
25.5.3 Διάταξη δειγματοληψίας/συγκράτησης με ολοκληρωτή κλειστού βρόχου	706
25.5.4 Κύκλωμα δειγματοληψίας/συγκράτησης ανοικτού βρόχου με γέφυρα διόδων	706
25.6 Σφάλματα μετάβασης καταστάσεων	707
25.6.1 Σφάλματα κατά τη μετάβαση από την κατάσταση συγκράτησης σε κατάσταση δειγματοληψία	707
25.6.1.1 Χρόνος απόκτησης	707
25.6.1.2 Χρόνος αποκατάστασης δειγματοληψίας	707
25.6.2 Σφάλματα κατά τη χρονική διάρκεια της δειγματοληψίας	708
25.6.2.1 Μη γραμμική απολαβή	708
25.6.2.2 Σφάλμα μετατόπισης από ολίσθηση θερμοκρασίας	708
25.6.3 Σφάλματα κατά τη μετάβαση από την κατάσταση δειγματοληψίας στην κατάσταση συγκράτησης	708
25.6.3.1 Χρονική καθυστέρηση ανοίγματος	708
25.6.3.2 Διακύμανση κατάστασης ανοίγματος	708
25.6.4 Σφάλματα κατά την κατάσταση συγκράτησης	709
25.6.4.1 Επίδραση της διηλεκτρική μεταβολής	709
25.6.4.2 Σφάλμα διοχεύτησης	709
25.6.4.3 Σφάλμα πτώσης	709
25.7 Ταυτόχρονη δειγματοληψίας	710
25.7.1 Διατάξεις ταυτόχρονης δειγματοληψίας	710
25.7.2 Διατάξεις πολλαπλών ADC μετατροπών	711
25.7.3 Εργαστηριακή Εφαρμογή 2: Προσομοίωσης κυκλώματος δειγματοληψίας & συγκράτησης	712

Κεφάλαιο 26: Μετατροπείς ADC και DAC

26.1 Μετατροπείς από αναλογικό σε ψηφιακό	715
26.2 Δειγματοληψία	716
26.3 Υπολογισμός συχνοτήτων αναδίπλωσης	719
26.3.1 Γραφικός υπολογισμός συχνοτήτων αναδίπλωσης	719
26.3.2 Υπολογιστική μέθοδος αναδιπλωμένων συχνοτήτων	721
26.4 Κβαντοποίηση	728
26.5 Κωδικοποίηση	728
26.6 Χαρακτηριστικά αναλογικού σε ψηφιακό μετατροπέα	728
26.6.1 Ακρίβεια	728
26.6.2 Ανάλυση	729
26.6.3 Πεδίο τιμών	729
26.6.4 Κέρδος	730
26.6.5 Διακριτική ικανότητα	730
26.6.5 Σφάλμα κβαντοποίησης	733
26.6.6 Σφάλμα μετατόπισης	737
26.6.7 Σφάλμα κέρδους	739
26.6.8 Διαφορική μη γραμμικότητα	739
26.6.9 Ολοκληρωτική μη γραμμικότητα	740
26.6.10 Ρυθμός μετατροπής	741
26.6.11 Σφάλμα τάσης αναφοράς	741
26.6.12 Κλίση θερμοκρασίας	741
26.6.13 Δυναμική απόδοση A/D μετατροπέα	742
26.6.14 Συνολική αρμονική παραμόρφωσης	742
26.6.15 Λόγος σήματος προς θόρυβο	742
26.6.16 Λόγος σήματος προς θόρυβο και παραμόρφωσης	743
26.6.17 Αναλογικοί σε ψηφιακό μετατροπής κατασκευαστριών εταιρειών	743
26.7 Αναπαράσταση αρνητικών αριθμών στο δυαδικό σύστημα	743
26.7.1 Πρόσημο και μέτρο	743
26.7.2 Συμπλήρωμα ως προς 1	744
26.7.3 Συμπλήρωμα ως προς 2	744
26.8 Τύποι αναλογικών - ψηφιακών μετατροπών	746
26.8.1 Αναλογικός σε ψηφιακό μετατροπέας τύπου Flash	746
26.8.2 Αναλογικός σε ψηφιακό μετατροπέας ψηφιακής ράμπας	747

26.8.3 Αναλογικός σε ψηφιακό μετατροπέας διαδοχικής προσέγγισης	747
26.8.4 Αναλογικός σε ψηφιακό μετατροπέας συνεχούς πορείας	747
26.8.5 Αναλογικός σε ψηφιακό μετατροπέας κλίσης (Slope)	748
26.8.6 Αναλογικός σε ψηφιακό μετατροπέας Δέλτα - Σίγμα	748
26.8.7 Χωρητικός σε ψηφιακό μετατροπέας (CDC)	748
26.9 Μετατροπέας από ψηφιακό σε αναλογικό	750
26.9.1 Ψηφιακός σε αναλογικό μετατροπέας δυαδικής κλίμακας R / (2n R)	751
26.9.2 Ψηφιακός σε αναλογικό μετατροπέας με δικτύωμα σκάλας R/2R λειτουργίας τάσης	753
26.9.3 Ψηφιακός σε αναλογικό μετατροπέας με δικτύωμα σκάλας R/2R λειτουργίας ρεύματος	753
26.9.4 Το ολοκληρωμένο AD7819	756
26.9.5 Το ολοκληρωμένο AD7792/AD7793	757

Κεφάλαιο 27: Τεχνικές και διατάξεις προσαρμογής σημάτων

27.1 Εισαγωγή	761
27.2 Μέθοδοι προσαρμογής σήματος	761
27.2.1 Ενίσχυση	762
27.2.2 Φιλτράρισμα	762
27.2.3 Εξασθένιση	762
27.2.4 Διέγερση	762
27.2.5 Απομόνωση	762
27.2.6 Διασύνδεση μέσω γέφυρας	762
27.2.7 Αντιστάθμιση ψυχρής επαφής	762
27.2.8 Γραμμικοποίηση	762
27.3 Διατάξεις πηγών τάσης και ρεύματος	763
27.3.1 Σταθερή πηγή τάσης	763
27.3.2 Σταθερή πηγή ρεύματος	764
27.3.3 Διαιρέτης πηγής τάσης	765
27.3.4 Διαιρέτης πηγής ρεύματος	765
27.4 Διατάξεις σταθεροποιητών τάσης	765
27.4.1 Δίοδος Ζένερ	765
27.4.2 Σταθεροποιητές τάσης ολοκληρωμένης μορφής	766
27.4.2.1 Η σειρά 78XX	766
27.4.2.2 Η σειρά 79XX	767
27.4.3 Γραμμικά ρυθμιζόμενοι σταθεροποιητές τάσης	768
27.4.3.1 Το ολοκληρωμένο LM317	768
27.4.3.2 Το Ολοκληρωμένο LM337	768
27.5 Διατάξεις σταθεροποιητών ρεύματος	768
27.5.1 Σταθεροποιητής ρεύματος με τρανζίστορ	768
27.5.2 Σταθεροποιητής ρεύματος με γραμμικό ρυθμιζόμενο σταθεροποιητής τάσης	770
27.5.3 Σταθεροποιητής ρεύματος με τελεστικό ενισχυτή	770
27.6 Μίκτης σήματος	772
27.7 Πολλαπλασιαστής σήματος	772
27.7.1 Πολλαπλασιαστής τεταρτημορίου - τετραγώνου	773
27.7.2 Πολλαπλασιαστής διαμόρφωσης εύρους και πλάτους παλμού	773
27.7.3 Πολλαπλασιαστής μεταβλητής διαγωγιμότητας	774
27.8 Κύκλωμα τετραγώνου τάσης	775
27.9 Διαιρέτης σήματος	775
27.10 Διάταξη τετραγωνικής ρίζας σήματος	777
27.11 Μετατροπέας RMS σε DC	777
27.12 Λογαριθμικός μετατροπέας με τρανζίστορ	778
27.13 Διάταξη περιοριστή σήματος	779
27.14 Μετατροπέας AC σε DC	780
27.15 Μετατροπέας ανίχνευσης κορυφής	780
27.16 Μετατροπέας σύγκρισης τάσης διάσπασης Ζένερ	781
27.16.1 Μετατροπέας ημιανόρθωσης	782
27.16.2 Μετατροπέας απόλυτης τιμής τάσης	783
27.16.3 Μετατροπέας θερμικού φαινομένου	784
27.17 Διατάξεις παραγωγής τάσης αναφοράς	785
27.17.1 Διατάξεις παραγωγής τάσης αναφοράς με ειδική δίοδο ζένερ	785
27.17.2 Διατάξεις παραγωγής τάσης αναφοράς ολοκληρωμένης μορφής	785
27.18 Μετατροπέας ρεύματος σε τάση	788
27.18.1 Μετατροπέας χωρητικότητας σε τάση	788
27.18.2 Μετατροπέας τάσης σε ρεύμα	789
27.18.3 Μετατροπέας τάσης σε συχνότητα	789
27.18.4 Μετατροπέας συχνότητας σε τάση	791

27.18.5	Γέφυρες	791
27.18.6	Μέθοδοι ισοστάθμιση γέφυρας Wheatstone	793
27.19	Φίλτρα	795
27.19.1	Παράμετροι φίλτρων	796
27.19.2	Βαθυπερατό ή χαμηλοδιαβατό φίλτρο	797
27.19.3	Εργαστηριακή εφαρμογή 1: Μελέτη βαθυπερατού φίλτρου μέσω προσομοίωση κυκλώματος	798
27.19.4	Υψιπερατό φίλτρο	800
27.19.5	Εργαστηριακή εφαρμογή 2: Μελέτη υψιπερατού φίλτρου μέσω προσομοίωση κυκλώματος	800
27.19.6	Ζωνοδιαβατό ή φίλτρο διέλευσης ζώνης	802
27.19.7	Εργαστηριακή εφαρμογή 3: Μελέτη ζωνοδιαβατικού φίλτρου μέσω προσομοίωση κυκλώματος	803
27.19.8	Ζωνοφρακτό ή Φίλτρο αποκοπής	804
27.19.9	Εργαστηριακή εφαρμογή 4: Μελέτη ζωνοφρακτού φίλτρου μέσω προσομοίωση κυκλώματος	805
27.20	Ενεργά φίλτρα	805
27.20.1	Τοπολογία Sallen-Key	805
27.20.2	Χαμηλοπερατό φίλτρο 1ης τάξης	806
27.20.3	Υψιπερατό φίλτρο 1ης τάξης	807
27.20.4	Ζωνοδιαβατό φίλτρο ή φίλτρο διέλευσης 2ης τάξης τοπολογίας Sallen-Key	808
27.20.5	Ζωνοφρακτό φίλτρο ή φίλτρο ζώνης αποκοπής 2ης τάξης	808
27.21	Μοντέλα Φίλτρων	809
27.21.1	Φίλτρο ελεύθερης διέλευσης	809
27.21.2	Φίλτρο Butterworth	809
27.21.3	Φίλτρο Chebyshev	810
27.21.4	Φίλτρο Bessel	811
27.21.5	Φίλτρο Elliptic	811

Κεφάλαιο 28: Βασικές έννοιες επεξεργασίας σήματος

28.1	Ηλεκτρικό σήμα και ηλεκτρικά μεγέθη	813
28.2	Χαρακτηριστικά ηλεκτρικών σημάτων	816
28.3	Μέτρηση πλάτους εναλλασσόμενης τάσης με παλμογράφο	821
28.4	Μέτρηση συχνότητας σήματος με παλμογράφο	821
28.5	Μέτρηση διαφοράς φάσεως και συχνότητας σήματος	822
28.5.1	Μέτρηση διαφοράς φάσης με τη μέθοδο Lissajou	822
28.5.2	Μέτρηση του λόγου συχνότητων δύο σημάτων με τη μέθοδο Lissajou	822
28.5.3	Μέτρηση διαφοράς φάσης με τη μέθοδο χρονικής μετατόπισης	823
28.6	Ηλεκτρικός παλμός	824
28.7	Τεχνικές επεξεργασίας σημάτων	825
28.7.1	Πεδίο επεξεργασίας των σημάτων στο χρόνο	825
28.7.2	Πεδίο επεξεργασίας στατιστικής σημαντικότητας	825
28.7.3	Πεδίο επεξεργασίας συχνότητων	825
28.7.3.1	Ταχύς μετασχηματισμός Fourier	831
28.7.3.2	Παραθυροποίηση	833
28.7.4	Πεδίο επεξεργασίας στο επίπεδο παραμέτρου / χρόνου	840
28.7.4.1	Μετασχηματισμός Fourier Βραχέως Χρόνου	841
28.7.4.2	Κυματοειδή (wavelets)	843

Κεφάλαιο 29: Συστήματα συλλογής, απεικόνισης & καταγραφής δεδομένων

29.1	Συστήματα συλλογής δεδομένων	847
29.2	Σύνθεση συστήματος απόκτηση δεδομένων	848
29.2.1	Υπολογιστική μονάδα	848
29.2.2	Αισθητήρες / μεταδότες	849
29.2.3	Μονάδες προσαρμογής σήματος	849
29.2.3.1	Προσαρμογής σήματος με παράγοντα ενίσχυσης	850
29.2.3.2	Προσαρμογής σήματος με παράγοντα απομόνωσης	850
29.2.3.3	Προσαρμογής σήματος με παράγοντα φιλτραρίσματος	851
29.2.3.4	Προσαρμογής σήματος με παράγοντα ηλεκτρεγερτικής δύναμης	851
29.2.3.5	Προσαρμογής σήματος με παράγοντα γραμμικοποίησης	851
29.2.4	Κάρτα απόκτησης δεδομένων (DAQ)	851
29.2.4.1	Συνδεσμολογίες σημάτων	851
29.2.4.2	Πηγή γειωμένου σήματος	853
29.2.4.3	Επιπλέον ή συνεχούς μετατόπισης πηγή σήματος	853
29.2.4.4	Μέθοδοι σύνδεσης σημάτων των καρτών DAQ	853
29.2.4.4.1	Διαφορική σύνδεση (DIFF)	853
29.2.4.4.2	Μοναδιαία σύνδεση με αναφορά (RSE)	854
29.2.4.4.3	Μοναδιαία σύνδεση χωρίς αναφορά (NRSE)	854
29.2.4.5	Χαρακτηριστικά αναλογικών εισόδων καρτών DAQ	855

29.2.4.6	Ειδικά χαρακτηριστικά εισόδου καρτών DAQ	856
29.2.4.7	Αναλογικοί έξοδοι καρτών DAQ	859
29.2.4.8	Ειδικά χαρακτηριστικά εξόδων	860
29.2.5	Συστήματα DAQ βιομηχανικών μετρήσεων	863
29.2.5.1	Εισαγωγή στα συστήματα PXI	863
29.2.5.2	Αρχιτεκτονική PXI	864
29.2.5.3	Υλικό συστήματος PXI	866
29.2.5.4	Συστήματα USB τύπου NI compact DAQ	869
29.2.5.5	Ασύρματα συστήματα NI CompactDAQ	869
29.2.5.6	Συστήματα NI CompactDAQ Ethernet	870
29.2.5.7	Λογισμικό απεικόνισης και καταγραφής δεδομένων	870
29.3	Αυτόνομα όργανα απεικόνισης και καταγραφής δεδομένων	870
29.4	Όργανα απεικόνισης δεδομένων	871
29.4.1	Όργανο κινούμενου πηνίου	871
29.4.2	Σιδηρομαγνητικό όργανο	872
29.4.3	Ηλεκτροδυναμικό Όργανο	872
29.4.4	Μετρητής αρπάγης	873
29.4.5	Θερμοηλεκτρικός όργανο	874
29.4.6	Παλμογράφος	875
29.5	Οθόνες απεικόνισης	876
29.5.1	Οθόνη επτά τμημάτων	876
29.5.2	Οθόνη υγρών κρυστάλλων	877
29.5.3	Ηλεκτρομηχανική οθόνη	878
29.6	Συστήματα καταγραφής δεδομένων	879
29.6.1	Συσκευές καταγραφής	879
29.6.2	Γαλβανομετρικός καταγραφέας	880
29.6.3	Ποτενσιομετρικός καταγραφέας	880
29.6.4	Κυκλικός καταγραφέας	882
29.6.5	Καταγραφέας υπερυγρών ακτίνων	882
29.6.6	Καταγραφέας οπτικών ινών (fibre-optic recorders)	883
29.6.7	Υβριδικός δυναμομετρικός καταγραφέας	883
29.6.8	Καταγραφέας δεδομένων (data logger)	883

Κεφάλαιο 30: Μετρήσεις και σφάλματα

30.1	Εισαγωγή	885
30.2	Απόλυτο σφάλμα	886
30.2.1	Αβεβαιότητα	886
30.3	Σχετικό σφάλμα	887
30.4	Συστηματικά και τυχαία σφάλματα	887
30.4.1	Συστηματικά σφάλματα	888
30.4.1.1	Σχεδιασμός μετρητικής διάταξης	889
30.4.2	Τυχαία σφάλματα	890
30.5	Μετάδοση σφάλματος εμμέσων μετρήσεων	890
30.5.1	Σφάλμα αθροίσματος	890
30.6	Σφάλμα διαφοράς	891
30.7	Σφάλμα γινομένου	891
30.8	Σφάλμα λόγου	892
30.9	Μέση τιμή	894
30.10	Τυπική Απόκλιση	894
30.11	Διασπορά	895
30.12	Κατανομές Μετρήσεων	895
30.13	Κανονική κατανομή	897
30.14	Τυπική απόκλιση και εμπιστοσύνη πιθανότητας	898
30.15	Μετάδοση σφάλματος στην κανονική κατανομή	899
30.16	Μεσοσταθμική τιμή	900

Κεφάλαιο 31: Εισαγωγή σε μεθόδους ελέγχου συστημάτων

31.1	Εισαγωγή στα συστήματα ελέγχου	903
31.2	Συστήματα ελέγχου ανοικτού βρόχου	904
31.3	Συστήματα ελέγχου κλειστού βρόχου	905
31.4	Ψηφιακά συστήματα ελέγχου	906
31.5	Αυτόνομοι ελεγκτές	908
31.6	Μετατροπής σημάτων	909
31.7	Μέθοδοι ελέγχου συστημάτων	910
31.7.1	Έλεγχος PID	910

31.7.2 Βέλτιστος έλεγχος	913
31.7.3 Προσαρμοστικός έλεγχος	913
31.7.4 Λογικός έλεγχος	913
31.7.5 Εύρωστος έλεγχος	914
31.7.6 Ευφυής έλεγχος	914
31.7.6.1 Ασαφής έλεγχος	914
31.7.6.2 Έμπειρα συστήματα	915
31.7.6.3 Έλεγχος με νευρωνικά δίκτυα	916
31.8 Συστήματα σειριακού/ ακολουθιακού ελέγχου	917
31.9 Σύστημα κατανεμημένου ελέγχου	917
31.10 Συστήματα ελέγχου κίνησης	918
31.11 Αριθμητικός έλεγχος	918
31.12 Πολυμεταβλητός έλεγχος	919
31.13 Παράδειγμα εφαρμογής μετρήσεων & ελέγχου συστήματος σε γραμμή παραγωγής	919
31.14 Εργαστηρική Εφαρμογή 1: Συγκριτική μελέτη PID και Fuzzy ελεγκτή για την βέλτιστη επιλογή σε απόκριση συστήματος τρίτης τάξης	920

Κεφάλαιο 32: Ενεργοποιητές

32.1 Εισαγωγή	927
32.2 Βάνες	928
32.2.1 Πνευματικές βάνες	928
32.2.2 Υδραυλικές βάνες	928
32.2.3 Ηλεκτροβάνες πηγίου	929
32.2.4 Ηλεκτροκίνητες βάνες	930
32.3 Σφαιρική βάνες	931
32.4 Βάνα πεταλούδας	931
32.5 Πνευματικοί κύλινδροι	931
32.5.1 Πνευματικός κύλινδρος απλής ενέργειας με ελατήριο επαναφοράς	932
32.5.2 Πνευματικός κύλινδρος διπλής ενέργειας	932
32.6 Κύλινδρος περιστροφής διπλής ενέργειας	932
32.7 Κύλινδρος διπλής ενέργειας	933
32.8 Συζυγής κύλινδρος TANDEM	933
32.9 Πνευματικοί κινητήρες (pneumatic motor)	934
32.10 Υδραυλικοί κινητήρες (hydraulic motor)	934
32.11 Ηλεκτροπνευματικές βαλβίδες	934
32.11.1 Δίοδος ηλεκτροπνευματική βαλβίδα δύο καταστάσεων (2/2)	935
32.11.2 Τρίοδος ηλεκτροπνευματική βαλβίδα δύο καταστάσεων (3/2)	935
32.11.3 Τετράοδος ηλεκτροβαλβίδα δύο καταστάσεων (4/2)	935
32.11.4 Πενταοδος ηλεκτροπνευματική βαλβίδα δύο καταστάσεων (5-2)	935
32.12 Ενεργοποιητές ελέγχου κίνησης	936
32.13 Σέρβο κινητήρες	938
32.14 Βηματικοί κινητήρες	939
32.14.1 Βηματικός κινητήρας μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης	941
32.14.1 Βηματικός κινητήρας μόνιμου μαγνήτη	941
32.14.3 Βηματικός κινητήρας μονού σωρού μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης	942
32.14.4 Βηματικός κινητήρας πολλαπλού σωρού μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης	943
32.14.5 Υβριδικός βηματικός κινητήρας	943
32.15 Οδήγηση βηματικών κινητήρων	946
32.16 Ηλεκτρικές θερμάστρες	948
32.17 Ρελέ	948
32.17.1 Ηλεκτρονόμος	948
32.17.2 Ρελε αυτοσυγκράτησης	949
32.17.3 Ρελέ στερεάς κατάστασης	949
32.18 Αντλίες	951
32.18.1 Φυγοκεντρικές αντλίες κυκλικής ή μερικώς κυκλική ροής	951
32.18.2 Φυγοκεντρικές αντλίες αξονικής και μικτής ροής	953
32.18.3 Αντλίες θετικού εκτοπίσματος	953
32.18.4 Κοχλιοαντλίες	954
32.18.5 Αντλίες με πεπιεσμένο αέρα	954
32.18.6 Πνευματικοί εγχυτές	954
32.19 Βασικές αρχές εγκατάστασης αντλιοστασίου	955

Κεφάλαιο 33: Εισαγωγή στο LabVIEW για μετρήσεις και έλεγχο συστημάτων

33.1 Εισαγωγή	957
33.2 Εικονικά Όργανα	957

33.3 Το μενού επιλογών του LabVIEW	960
33.3.1 Μενού επιλογών του Front Panel	960
33.3.2 Μενού επιλογών του Block Diagram	961
33.4 Τύποι δεδομένων	961
33.5 Προγραμματιστικές δομές	962
33.5.1 Δομή While Loop	962
33.5.2 Δομή For Loop	963
33.5.3 Δομή Case	963
33.5.4 Δομή Stacked Sequence	965
33.5.5 Δομή Event Structure	966
33.5.6 Δομή Formula Node	967
33.5.7 Δομή MathScript Node	967
33.6 Μεταβλητές	968
33.7 Καταχωρητές ολίσθησης	968
33.8 Εντολές Πράξεων	969
33.9 Εντολές Χρονο-καθυστερήσης	970
33.10 Πίνακες δεδομένων	970
33.11 Συστάδες (Clusters)	971
33.12 Συμβολοσειρές και χαρακτήρες	972
33.13 Αρχεία (Files)	973
33.14 Γραφήματα	973
33.15 Express VIs	975
33.16 Express DAQ Assistance	977
33.16.1 Απόκτηση πραγματικού σήματος μέσω του DAQ Assistant	978
33.17 LabVIEW για Μηχανικούς \ Προγραμματισμός συστημάτων DAQ	980
33.18 Συσκευή ELM1	980

Κεφάλαιο 34: Εισαγωγή στο Multisim για προσομοίωση κυκλωμάτων

34.1 Εισαγωγή	983
34.2 Το περιβάλλον διεπαφής με το χρήστη	983
34.3 Το κεντρικό μενού επιλογών	984
34.4 Η εργαλειοθήκη εξαρτημάτων	984
34.5 Η εργαλειοθήκη οργάνων	986
34.6 Παράθυρο διαχείρισης αρχείων σχεδίου	986
34.7 Δημιουργία κυκλωμάτων και προσομοίωση με το Multisim	987
34.7.1 Αποθήκευση αρχείου και τοποθέτηση εξαρτημάτων	987
34.7.2 Διαδικασία Ένωσης	989
34.7.3 Διαδικασία προσομοίωσης ενός κυκλώματος με το Multisim	989
34.8 Ιδιότητες εξαρτημάτων	990
34.9 Κόμβοι, αγωγοί, ονομασίες και χρώματα	991
34.10 Εικονικά όργανα του Multisim	992
34.10.1 Ψηφιακό πολύμετρο	992
34.10.2 Γεννήτρια συναρτήσεων	993
34.10.3 Παλμογράφος	994
34.10.4 Λογικός μετατροπέας	995
34.10.5 Αναλυτής IV	997
34.11 Ανάλυση κυκλωμάτων με το Multisim	998
34.11.1 DC Ανάλυση	998
34.11.2 AC Ανάλυση	999
34.12 Το λογισμικό σχεδίασης τυπωμένων κυκλωμάτων (PCB) Ultiboard	1001
34.13 Multisim για Μηχανικούς με διασύνδεση labVIEW	1001

Κεφάλαιο 35: Εισαγωγή στο Simulink για μοντελοποίηση και προσομοίωση συστημάτων

35.1 Εισαγωγή	1003
35.2 Περιγραφή της εργαλειοθήκης SIMULINK	1003
35.3 Οι βιβλιοθήκες δομικών στοιχείων (Blocks) του SIMULINK	1004
35.4 Δημιουργία ενός απλού μοντέλου στο Simulink	1006
35.5 Αποθήκευση δεδομένων και φόρτωση δεδομένων	1012
35.6 Σχεδίαση ενός συστήματος στο πεδίο του χρόνου	1014
35.7 Αποθήκευση Μοντέλων	1019

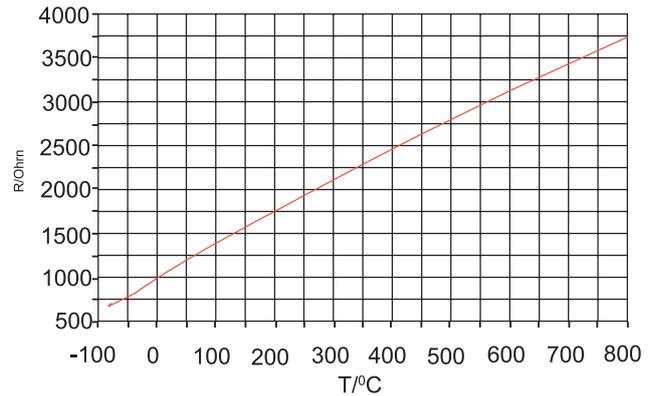
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	1020
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ & ΠΗΓΕΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΘΕΤΗ ΕΡΕΥΝΑ	1020
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ & ΠΗΓΕΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΘΕΤΗ ΕΡΕΥΝΑ	1021
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ	1027

5.9.4 Αισθητήρες θερμοκρασίας PT1000

Ένας αισθητήρας PT1000 παρουσιάζει αντίσταση 1000 Ω στους 0 °C. Αν επιθυμούμε μέτρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιώντας ένα αισθητήρα με μεγαλύτερη ευαισθησία από τον PT100 που παρουσιάσαμε στην προηγούμενη παράγραφο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον αισθητήρα PT1000. Ο αισθητήρας αυτός είναι ίδιος με τον PT100 με τη μόνη διαφορά πως είναι 10 φορές πιο ευαίσθητος σε μεταβολές της θερμοκρασίας. Δηλαδή στην περίπτωση που ένας αισθητήρας PT100 φέρει αντίσταση 0,420 Ω για θερμοκρασίας T, ο αισθητήρας PT1000 στην αντίστοιχη τιμή θερμοκρασία T, θα φέρει αντίσταση 4,20 Ω. Στο Σχήμα 5.25 απεικονίζεται η γραφική παράσταση μεταβολής της αντίστασης του αισθητήρα PT1000 συναρτήσει της θερμοκρασίας. Ο Πίνακας 5.8 παρουσιάζει τις τιμές της αντίστασης του αισθητήρα PT1000 για μεταβολή θερμοκρασίας ανά 100 βαθμούς Κελσίου από -200 °C έως 800 °C. σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρότυπο. Εξωτερικά ένας αισθητήρας PT1000 είναι πανομοιότυπος με τον αισθητήρα PT100.



PT1000



Σχήμα 5.25 Διάγραμμα μεταβολής της αντίστασης του PT1000 με τη θερμοκρασία.

Πίνακας 5.8: Τιμές αντίστασης PT1000 ανά 100 °C.

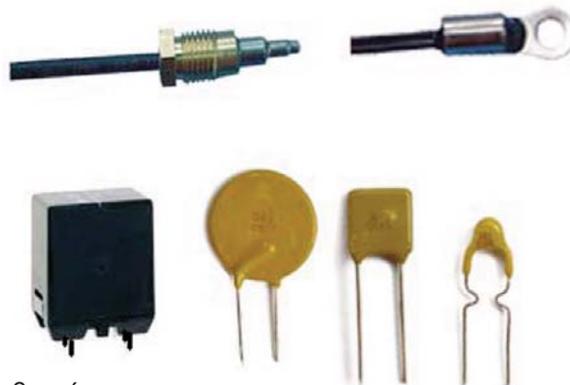
Θερμοκρασία (°C)	Αντίσταση (Ω)
-200	180,53
-100	600,20
0	1000,00
+100	1380,50
+200	1750,84
+300	2120,03
+400	2470,06
+500	2800,93
+600	3130,65
+700	3450,61
+800	3750,67

5.10 Θερμίστορ

Ο όρος θερμίστορ είναι ένας συνδυασμός των όρων θερμότητα και αντίσταση (thermal/resistor) και θα μπορούσε να αποδοθεί και ως θερμοαντιστάτης. Τα θερμίστορ κατασκευάζονται από υλικά ημιαγωγών που έχουν υποστεί επεξεργασία με οξείδια χρωμίου, κοβαλτίου, σιδήρου, μαγγανίου και νικελίου. Η μορφή τους ποικίλει από δισκίδια και κάψουλες μέχρι και στυλίσκους (Σχ. 5.26). Μπορούν να έχουν μικρό μέγεθος και εμφανίζουν μικρούς χρόνους απόκρισης.

Τα θερμίστορ παρουσιάζουν αρνητικό θερμοκoefficient, δηλαδή η αντίστασή τους μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία σύμφωνα με την εξίσωση:

$$R_{TH} = R_{REF} e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{REF}} \right)}$$



Σχήμα 5.26 Τυπικά δείγματα θερμίστορ.

όπου,

R_{TH} : η αντίσταση του θερμίστορ,

R_{Ref} : η αντίσταση στην θερμοκρασία αναφοράς ,

T : η θερμοκρασία,

T_{Ref} : η θερμοκρασία αναφοράς του θερμίστορ (25 °C, 77 °F, 298.15 K), και

β : ο συντελεστής βαθμονόμησης του θερμίστορ ο οποίος εξαρτάται από το υλικό κατασκευής του, και λαμβάνει τυπικές τιμές από 3,000 έως 5,000 K.

Τα θερμίστορ που ικανοποιούν την παραπάνω σχέση καλούνται θερμίστορ αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας NTC (Negative Temperature Coefficient, NTC). Στο διάγραμμα στο Σχήμα 5.27 φαίνεται η μη γραμμική μεταβολή της αντίστασης του θερμίστορ με τη μεταβολή της θερμοκρασίας.

Με κατάλληλες μορφές προσμίξεων κατασκευάζονται θερμίστορ με θετικό θερμικό συντελεστή. Τα θερμίστορ αυτά καλούνται θερμίστορ θετικού συντελεστή θερμοκρασίας PTC (Positive Temperature Coefficient). Στο διάγραμμα του Σχήματος 5.28 παρουσιάζεται έντονα η μη γραμμική μεταβολή του μεγέθους της αντίστασης του PTC θερμίστορ με τη θερμοκρασία.

Με όμοιο τρόπο με τα θερμίστορ αρνητικού θερμικού συντελεστή και τα θερμίστορ θετικό θερμικό συντελεστή παρουσιάζουν μη γραμμική μεταβολή της αντίστασης του θερμίστορ με τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Η σχέση ανάμεσα στην αντίσταση και τη θερμοκρασία των θερμίστορ δίνεται από την πολυωνυμική εξίσωση Steinhart & Hart:

$$\frac{1}{T} = A_0 + A_1 \ln(R) + \dots + A_n \ln(R)^n$$

όπου,

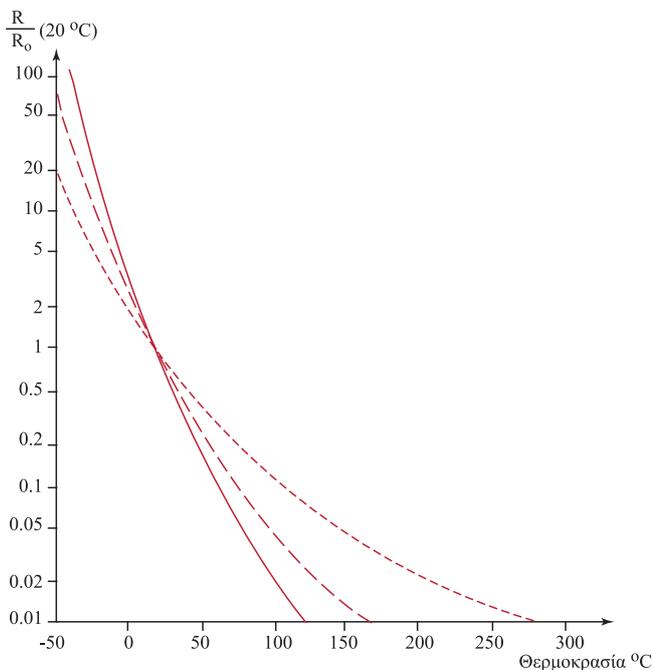
R : η αντίσταση (Ω) σε θερμοκρασία αναφοράς (20°C),

T : η θερμοκρασία ($^{\circ}\text{K}$) σε θερμοκρασία αναφοράς (20°C), και

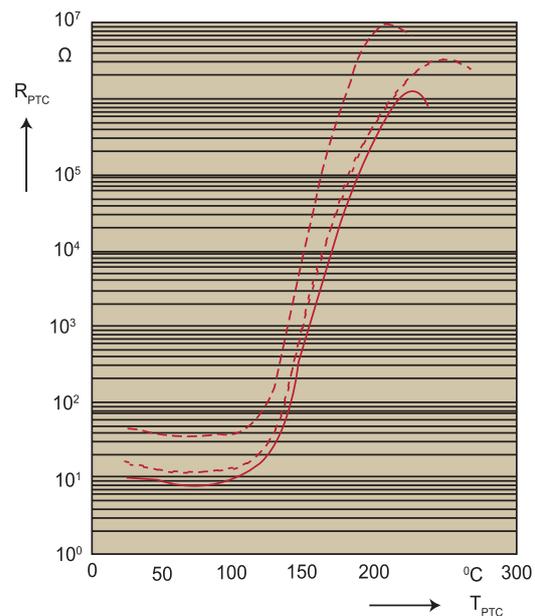
A : πολυωνυμικές σταθερές του θερμίστορ (K^{-1}).

Στην πράξη χρησιμοποιούμε την πολυωνυμική εξίσωση Steinhart & Hart τριών όρων:

$$\frac{1}{T} = A + B \cdot \ln(R) + C \cdot \ln(R)^3$$



Σχήμα 5.27 Διάγραμμα μεταβολής της αντίστασης θερμίστορ NTC με τη θερμοκρασία



Σχήμα 5.28 Διάγραμμα μεταβολής της αντίστασης PTC θερμίστορ με τη θερμοκρασία για τρία διαφορετικά στοιχεία.

όπου,

R : η αντίσταση (Ω) σε θερμοκρασία αναφοράς (20°C),

T : η θερμοκρασία ($^{\circ}\text{K}$) σε θερμοκρασία αναφοράς (20°C), και

A, B και C : οι συντελεστές του θερμίστορ (K^{-1}).

Η εξίσωση δεν είναι ακριβής για ολόκληρο το πεδίο θερμοκρασιών αλλά μόνο για ζώνες θερμοκρασιών. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να εφαρμόζονται διαφορετικοί συντελεστές A, B και C σε κάθε ζώνη μέτρησης θερμοκρασίας. Μία απλούστερη έκφραση της εξίσωσης Steinhart & Hart μπορεί να έχει την μορφή:

$$T = \frac{B}{\ln(R) - A} - C$$

Ο προσδιορισμός των συντελεστών A, B και C γίνεται ως εξής:

- Επιλέγονται τρία σημεία από το διάγραμμα αντίστασης /θερμοκρασίας του θερμίστορ τα οποία ανταποκρίνονται στη μέση τιμή λειτουργίας χαμηλής, μεσαίας και υψηλής θερμοκρασίας.
 - Τιμή αντίστασης του θερμίστορ (R_1) σε τιμή θερμοκρασίας T_1 ($253 \text{ K}/-20^{\circ}\text{C}$)
 - Τιμή αντίστασης του θερμίστορ (R_2) σε τιμή θερμοκρασίας T_2 ($283\text{K}/+10^{\circ}\text{C}$)
 - Τιμή αντίστασης του θερμίστορ (R_3) σε τιμή θερμοκρασίας T_3 ($313\text{K}/+40^{\circ}\text{C}$)
- Δημιουργούμε τους πίνακες των παραγόμενων εξισώσεων Steinhart & Hart για R_1, R_2, R_3 και T_1, T_2, T_3 .

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{T_1} \\ \frac{1}{T_2} \\ \frac{1}{T_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A + B \ln R_1 + C (\ln R_1)^3 \\ A + B \ln R_2 + C (\ln R_2)^3 \\ A + B \ln R_3 + C (\ln R_3)^3 \end{bmatrix}$$

ο οποίος ισοδυναμεί με:

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{T_1} \\ \frac{1}{T_2} \\ \frac{1}{T_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \ln R_1 & (\ln R_1)^3 \\ 1 & \ln R_2 & (\ln R_2)^3 \\ 1 & \ln R_3 & (\ln R_3)^3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix}$$

$$(A) = (B) \cdot (x)$$

και καταλήγουμε σε εξίσωση της μορφής :

$$A = B \cdot x$$

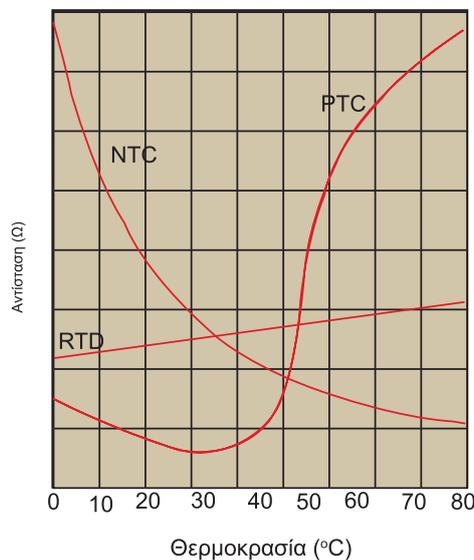
- Με αντικατάσταση των γνωστών μεγεθών R_1, R_2, R_3 και T_1, T_2, T_3 μπορεί να λυθεί το σύστημα για τους συντελεστές A, B και C .

Συνήθως οι συντελεστές A, B και C δίνονται από την κατασκευάστρια εταιρεία του θερμίστορ με προσδιορισμό των ζωνών μετρήσιμης θερμοκρασίας και της κλίσης της καμπύλης. Στον πίνακα 5.9 παριστάνονται οι συντελεστές A, B και C για τύπους καμπυλών των θερμίστορ από την Cornerstone Sensors τους οποίους μπορούμε να τους βρούμε στη διεύθυνση <http://www.cornerstonesensors.com>.

Πίνακας 5.9: Συντελεστές A, B και C για θερμίστορ από την Cornerstone Sensors.

R/T	Θερμοκρασία (°C)	Συντελεστής εξίσωσης Steinhart-Hart		
		A	B	C
B	-50 έως 0	1,439114856904070E-03	2,693066430764570E-04	1,653440958554570E-07
	0 έως 50	1,440548920932420E-03	2,690725842060890E-04	1,661922621891600E-07
	50 έως 125	1,440327988425520E-03	2,690459927836250E-04	1,679441362548790E-07
D	-50 έως 0	1,133136854163360E-03	2,336519292538650E-04	8,849976714136810E-07
	0 έως 50	1,124974037152450E-03	2,347653241229690E-04	8,546325084516770E-08
	50 έως 100	1,119828875495430E-03	2,360897740308300E-04	7,508299550946710E-08
	100 έως 150	1,120748323248730E-03	2,353531346746540E-03	8,909503408745950E-08
E	-50 έως 0	9,329599574968520E-04	2,214235932652170E-04	1,263286697870110E-07
	0 έως 50	9,327935342661280E-04	2,214507360140700E-04	1,262325823098370E-07
	50 έως 100	9,315712556993570E-04	2,216946671543180E-04	1,249321433697330E-07
	100 έως 150	9,266934080778390E-04	2,228124367891810E-04	1,167171733506130E-07
F	-50 έως 0	1,028525291852400E-03	2,392327985577990E-04	1,562478971912460E-07
	0 έως 50	1,029194767422500E-03	2,391275183977950E-04	1,566277149730310E-07
	50 έως 100	1,028687651810930E-03	2,391866941635480E-04	1,566594211560540E-07
	100 έως 150	1,026416673809340E-03	2,397397615551010E-04	1,518913935501530E-07
G	-40 έως 0	8,630777018579910E-04	1,999086501945880E-04	1,244201049853700E-07
	0 έως 50	8,436437679500710E-04	2,021008350641180E-04	1,203143775299850E-07
	50 έως 100	8,331470500361880E-04	2,032624244467480E-04	1,188714921067930E-07
	100 έως 150	8,169484569941060E-04	2,027581789631380E-04	1,217977002958560E-07
R	-50 έως 0	8,312653413479670E-04	2,083082877047050E-04	8,162433729410980E-08
	0 έως 50	8,274918692383500E-04	2,087547277229870E-04	8,069870440386500E-08
	50 έως 100	8,252715954912970E-04	2,090759654020190E-04	7,970254981668580E-08
	100 έως 150	8,169484569941060E-04	2,105821263402370E-04	7,242814459308220E-08
V	-50 έως 0	1,912033993648160E-03	3,064159978007270E-04	2,861356543672190E-07
	0 έως 50	1,938993181772380E-03	3,004098484042120E-04	3,234005399703990E-07
	50 έως 100	1,953893905132090E-03	2,945939434912480E-04	4,609116815442370E-07
W	-50 έως 0	1,328734000368390E-03	2,871918721144560E-04	1,257114168390270E-07
	0 έως 50	1,328156656857180E-03	2,873061594285200E-04	1,250512619348640E-07
	50 έως 100	1,300117357404990E-03	2,943269678705660E-04	5,985964560607700E-08

Στο Σχήμα 5.29 απεικονίζεται προς σύγκριση η καμπύλη μεταβολής της αντίστασης με τη θερμοκρασία για τα στοιχεία RTD, NTC και PTC. Όπως παρατηρούμε από το σχήμα τα στοιχεία PTC και NTC παρουσιάζουν έντονη μη γραμμικότητα σε σχέση με το στοιχείο RTD.

**Σχήμα 5.29:** Διάγραμμα μεταβολής μεγέθους αντίστασης με τη θερμοκρασίας για RTD, NTC και PTC.

Παράδειγμα 5.6

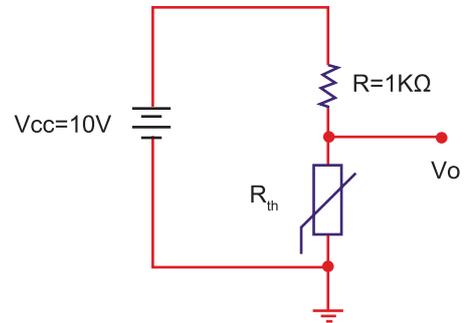
Θερμίστορ παρουσιάζει αντίσταση $1\text{K}\Omega$ σε θερμοκρασία αναφοράς 22°C . Να υπολογίσετε την τάση εξόδου του παρακάτω κυκλώματος όταν η θερμοκρασία μεταβληθεί κατά 20°C . Ο συντελεστής βαθμολόγησης του θερμίστορ είναι 3000K .

Λύση

Από τη σχέση $R_{TH} = R_{REF} e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{REF}} \right)}$ υπολογίζουμε την τιμή της αντίστασης του θερμίστορ.

Το κύκλωμα αποτελεί έναν διαιρέτη τάσης, οπότε υπολογίζουμε την τάση V_0 από τη σχέση:

$$V_o = \frac{R_{TH}}{R + R_{TH}} V_{CC}$$



Εργαστηριακή Εφαρμογή 1: Ανάπτυξη συστήματος μέτρησης θερμοκρασίας σε πραγματικό χρόνο με στοιχείο θερμίστορ

Στην εργαστηριακή εφαρμογή χρησιμοποιώντας το θερμίστορ NTC B57861 της με αντίσταση $R = 10\text{K}\Omega$ στους 25°C δημιουργούμε ένα αυτόματο σύστημα καταγραφής της μέτρησης της θερμοκρασίας σε πραγματικό χρόνο με το λογισμικό LabVIEW και την συσκευή ELMI.

Δίνονται οι συντελεστές A , B και C του θερμίστορ:

$$A = 0,004454716$$

$$B = 0,000444961$$

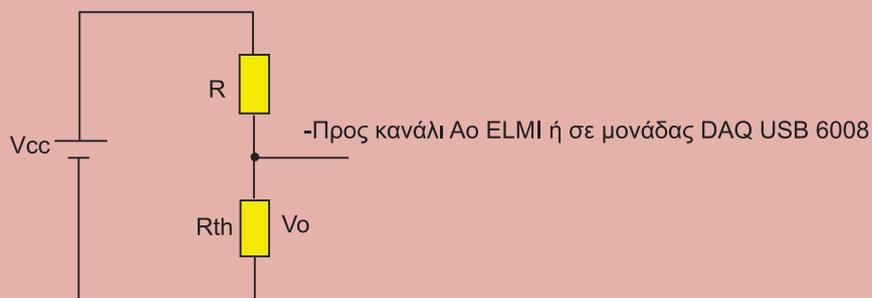
$$C = 2,332199\text{E-}6$$



Θερμίστορ NTC B57861

Εργασίες

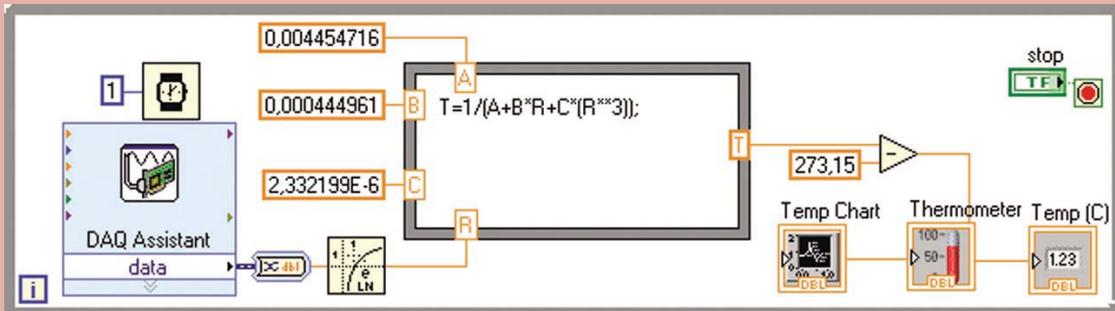
1. Κατασκευάζουμε διαιρέτη τάσης για να αποκτήσουμε τη μεταβαλλόμενη με τη θερμοκρασία τιμή της τάσης.



2. Σχεδιάζουμε το block diagram και το front panel στο περιβάλλον του LabVIEW όπως απεικονίζεται παρακάτω. Μέσα στο περιβάλλον της Formula Node εισάγουμε του συντελεστές A , B και C του θερμίστορ στην εξίσωση Steinhart & Hart. Τέλος μετατρέπουμε τους βαθμούς Κέλβιν σε Κελσίου και εξάγουμε το αποτέλεσμα στο καταγραφικό Chart και Indicator.

Εργασίες

Block diagram



Front panel

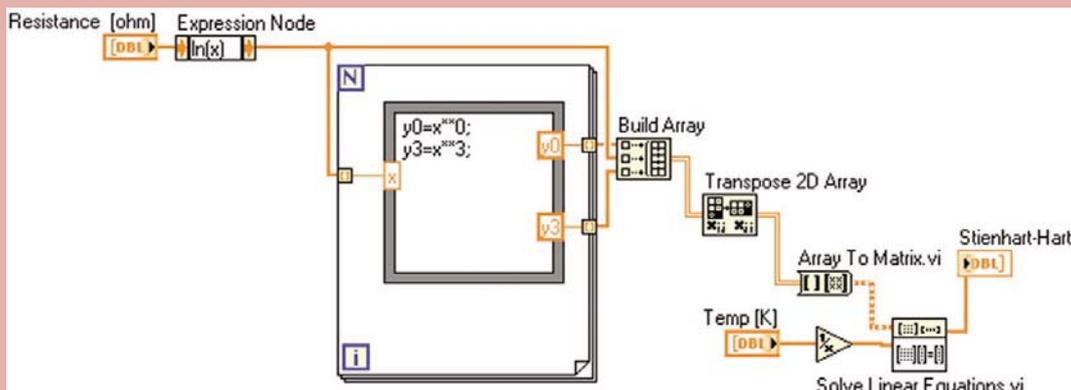


Εργαστηριακή Εφαρμογή 2 : Ανάπτυξη κώδικα υπολογισμού συντελεστών Steinhart & Hart για άγνωστο στοιχείο θερμίστορ"

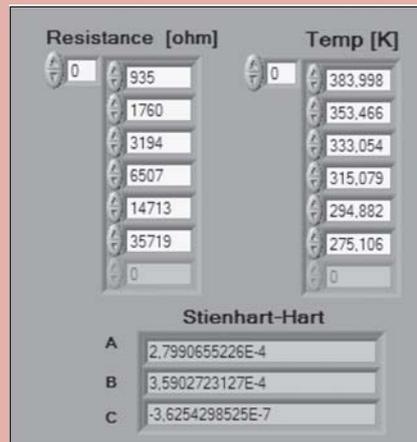
Στην εργαστηριακή εφαρμογή δημιουργούμε κώδικα για την εύρεση των συντελεστών Steinhart & Hart για άγνωστο στοιχείο θερμίστορ.

Εργασίες

1. Για την εξαγωγή των τιμών μετράμε την τιμή της αντίστασης του θερμίστορ για διαφορετικές τιμές θερμοκρασιών. Το πλήθος των μετρήσεων αυξάνει την ακρίβεια του υπολογισμού των συντελεστών.
2. Κατασκευάζουμε τον κώδικα στο περιβάλλον LabVIEW όπως αυτό απεικονίζεται:



3. Εισάγουμε τις τιμές του βήματος 1 σε μορφή πίνακα στο front panel του κώδικα.



4. Εκκινούμε το εικονόργανο και λαμβάνουμε του συντελεστές A,B και C του άγνωστου στοιχείου θερμίστορ.

5.11 Θερμοζεύγος

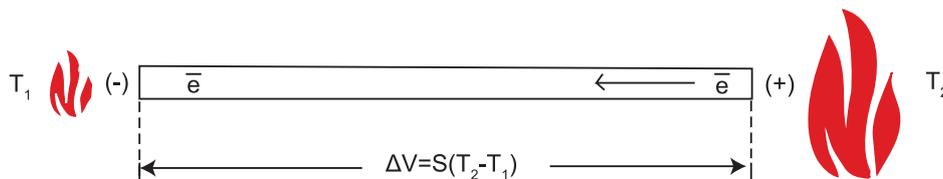
5.11.1 Φαινόμενο Seebeck

Το 1821 ο T.J. SEEBECK ανακάλυψε ότι θερμαίνοντας ένα μέταλλο που οι δύο άκρες του βρίσκονται σε διαφορετικά θερμικά περιβάλλοντα $T_2 > T_1$ αναπτύσσεται μικρή διαφορά δυναμικού dV λόγω θερμοηλεκτρικού φαινομένου (thermoelectricity), ή αλλιώς φαινόμενο Seebeck. Κατά το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο, τα ηλεκτρόνια του μεταλλικού αγωγού που βρίσκονται στο υψηλό θερμοκρασιακό περιβάλλον T_1 διαχέονται προς την περιοχή που η οποία εκτίθεται στη θερμοκρασία T_2 λόγω της υψηλής τους ενεργειακής στάθμης (Σχ.5.30). Η διαφορά δυναμικό που δίνεται από τη σχέση:

$$dV = S(T) \cdot (T_2 - T_1)$$

όπου,

$S(T)$: θερμοηλεκτρικός συντελεστή του υλικού (Volts / °K).



Σχήμα 5.30: Θερμοηλεκτρικό φαινόμενο ($T_2 > T_1$).

Ο συντελεστής Seebeck αποτελεί έκφραση των ενεργειακών μεταβολών των ηλεκτρονίων και δίνεται από τη σχέση:

$$S \approx - \frac{2\pi^2 k \left(\frac{1}{2} kT \right)}{3eE_f}$$

όπου,

E_f : η ενέργεια Fermi.

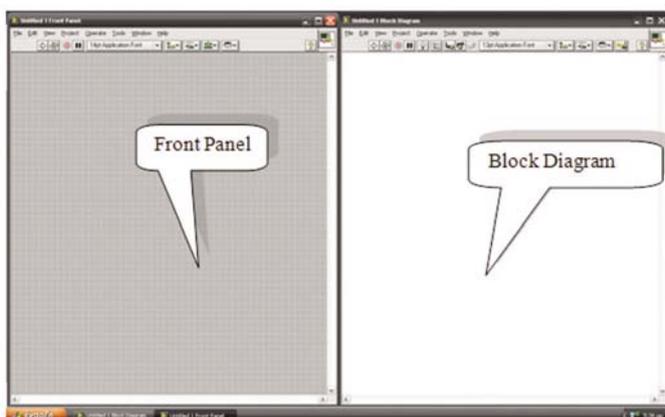
Στον πίνακα 5.10 που ακολουθεί αναγράφονται ο συντελεστής Seebeck για τυπικά υλικά σε θερμοκρασία 0°C.

33

Εισαγωγή στο LabVIEW για μετρήσεις και έλεγχο συστημάτων

33.1 Εισαγωγή

Το LabVIEW™ (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) είναι μία γλώσσα προγραμματισμού που δημιούργησε η National Instruments σε περιβάλλον γραφικού κώδικα 'G' για να καλύψει τις ανάγκες κάθε μηχανικού στον τομέα μετρήσεων και ελέγχου συστημάτων. Με το συνδυασμό υλικού, από κάρτες\μονάδες που παρέχει η ίδια η National Instruments καθώς και άλλες εταιρείες οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να προγραμματίζονται μέσω οδηγών στο LabVIEW, μπορούμε να κάνουμε απόκτηση, απεικόνιση, επεξεργασία, και καταγραφή δεδομένων (Data Acquisition), καθώς επίσης και έλεγχο συστημάτων (System Control). Το περιβάλλον διεπαφής με το χρήστη που μας παρέχει το λογισμικό LabVIEW χωρίζεται σε δύο κύρια παράθυρα μέσα στα οποία μπορούμε να κάνουμε χρήση όλων των δυνατοτήτων που μας παρέχει το λογισμικό και το υλικό. Τα παράθυρα αυτά καλούνται: Front Panel και Block Diagram (Σχ. 33.1). Στο Front Panel τοποθετούμε εικονικά όργανα με τα οποία ο τελικός χρήστης



Σχήμα 33.1: Front Panel και Block Diagram.

έχει άμεση διεπαφή και μπορεί μέσω αυτών, να διαχειρίζεται την εφαρμογή, και να παρακολουθεί μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο. Στο Block Diagram σχεδιάζουμε τον γραφικό κώδικα που δίνει τη λειτουργία σε κάθε εικονικό όργανο που έχουμε τοποθετήσει στο Front Panel.

33.2 Εικονικά Όργανα

Όλα τα στοιχεία που χρησιμοποιούμε μέσα στο περιβάλλον του LabVIEW καλούνται εικονικά όργανα (Virtual Instruments, VI). Το κάθε εικονικό όργανο εκτελεί μία λειτουργία, όπως οι εντολές σε μία γλώσσα προγραμματισμού.

Έτσι, ένα εικονικό όργανο είναι ουσιαστικά ένα αντικείμενο της γραφικής γλώσσας LabVIEW. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονίσουμε ότι στο LabVIEW όλες οι εντολές – λειτουργίες εκτελούνται ταυτόχρονα και όχι σε διάταξη από τα αριστερά προς τα δεξιά, αλλά ούτε και από πάνω προς τα κάτω όπως συμβαίνει σε μια κλασική δομημένη γλώσσα προγραμματισμού (Σχ. 33.2).

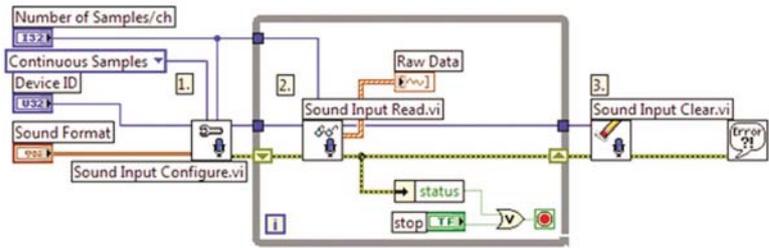
Κάθε διάγραμμα εντολών που σχεδιάζουμε στο παράθυρο Block Diagram του LabVIEW, δίνει λειτουργία σε κάθε εικονικό όργανο (που βρίσκεται σε διασύνδεση με τις εντολές) στο παράθυρο Front Panel, το οποίο αποτελεί το περιβάλλον διεπαφής με το χρήστη της τελικής εφαρμογής (Σχ. 33.3).

Στο παράθυρο του Front Panel μπορούμε να τοποθετήσουμε διάφορα λειτουργικά αντικείμενα με τα οποία ο τελικός χρήστης μπορεί να έχει άμεση διεπαφή, χρησιμοποιώντας το ποντίκι, το πληκτρολόγιο ή και την ίδια την οθόνη (touch screen) ώστε να ελέγχει ή να παρακολουθεί την τελική εφαρμογή. Υπάρχουν δύο είδη αντικειμένων που μπορούμε να τοποθετήσουμε μέσα στο παράθυρο: α) τα αντικείμενα τα οποία ο χρήστης μπορεί να ελέγξει, και τα οποία καλούνται στοιχεία ελέγχου ή Controls, και β) τα αντικείμενα τα οποία ο χρήστης μπορεί μόνο να τα παρακολουθεί, και τα οποία καλούνται στοιχεία ενδείξεων ή Indicators. Τα αντικείμενα αυτά μπορούμε να τα τοποθετήσουμε μέσα στο χώρο του Front Panel χρησιμοποιώντας την παλέτα με τα εικονικά όργανα που μας παρέχεται αν κάνουμε δεξί κλικ μέσα στο χώρο του παραθύρου. Η παλέτα (Σχ. 33.4) οργανώνει τα στοιχεία Controls και Indicators σε κατηγορίες ώστε να μπορούμε να επιλέγουμε εύκολα το στοιχείο που επιθυμούμε. Μπορείτε να ανοίξετε και να εξερευνήσετε μερικές υποπαλέτες για να δείτε τα στοιχεία Controls και Indicator που σας είναι διαθέσιμα.

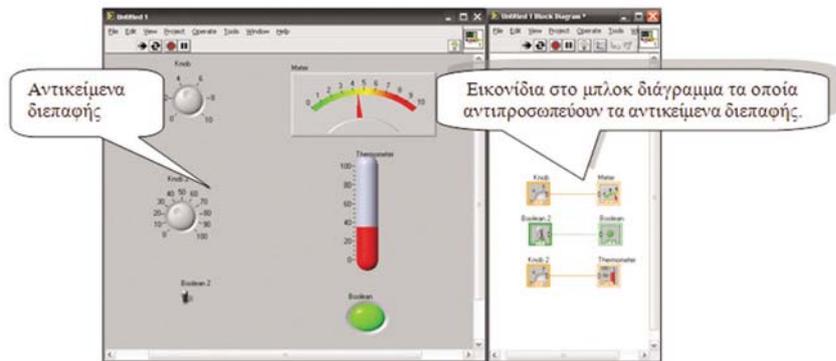
Όταν τοποθετούμε ένα στοιχείο στο Front Panel αυτομάτως θα εμφανιστεί το εικονίδιο του στο παράθυρο του Block Diagram. Ανάλογα με τον τύπο του στοιχείου που τοποθετήσαμε στο Front Panel, αν δηλαδή αυτό είναι Control ή Indicator, το εικονίδιο του στο Block Diagram φέρει στην άκρη του **βέλος**, πίσω ή μπροστά αντίστοιχα (Σχ. 33.5).

Κάθε εικονικό στοιχείο μέσα στο LabVIEW έχει ιδιότητες στις οποίες έχουμε άμεση πρόσβαση μέσω ενός pop-up μενού που εμφανίζεται αν κάνουμε δεξί κλικ πάνω στο εικονίδιο του.

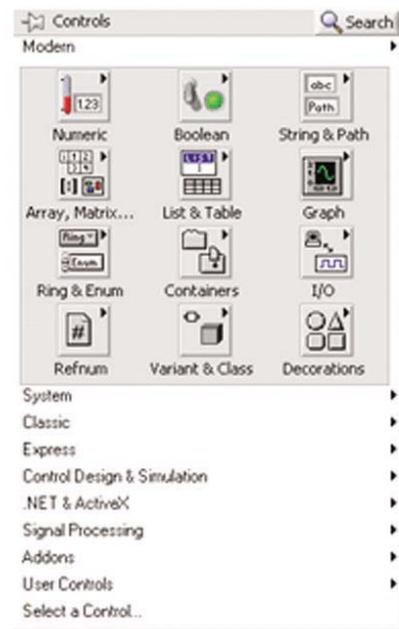
Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε εύκολα και γρήγορα να κάνουμε τις απαραίτητες ρυθμίσεις για το εικονικό στοιχείο. Μπορούμε για παράδειγμα, να αλλάξουμε τον τύπο του στοιχείου από Control σε Indicator ή και αντίστροφα αν κάνουμε δεξί κλικ πάνω στο εικονίδιο και επιλέξουμε Change to Indicator ή Change to Control (Σχ. 33.6).



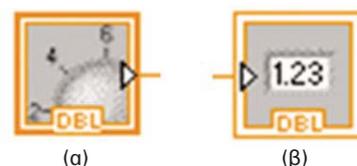
Σχήμα 33.2: Εικονικά όργανα στο Block Diagram τα οποία εκτελούν τις λειτουργίες του ταυτόχρονα.



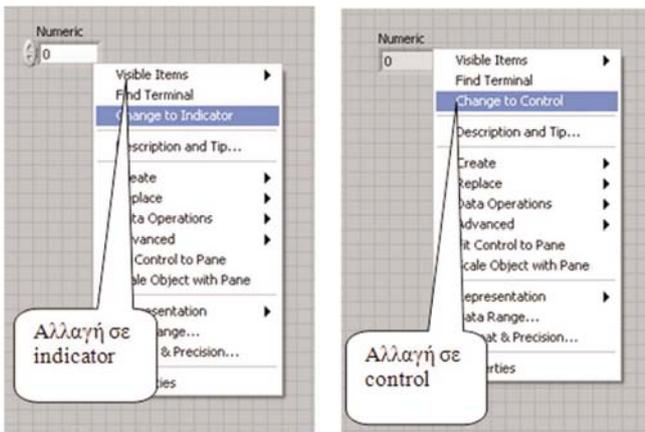
Σχήμα 33.3: Εικονικά όργανα στο Front Panel και στο Block Diagram.



Σχήμα 33.4: Κύρια παλέτα στο Front Panel.



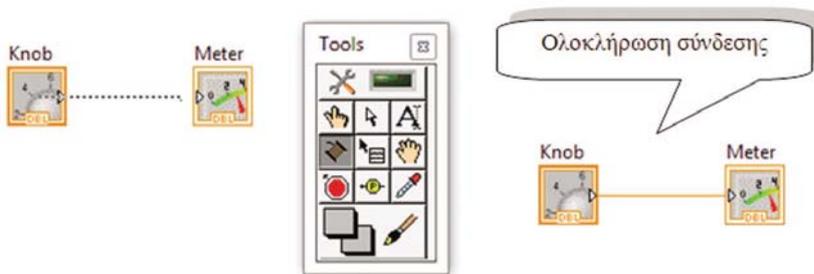
Σχήμα 33.5: α) Στοιχείο Control και β) στοιχείο Indicator



Σχήμα 33.6: Μετατροπή στοιχείου Control και Indicator

στο Σχήμα 33.7. Για να εμφανίσουμε την παλέτα εργαλείων ακολουθούμε την πορεία στο κύριο μενού του LabVIEW: View → Tools Palette.

Η παλέτα εργαλείων περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:



Σχήμα 33.7: Σύνδεση ενός στοιχείου Control και Indicator.



Εργαλείο αυτόματης επιλογής (Automatic Tool Selection). Μας δίνει τη δυνατότητα να γίνεται αυτόματη επιλογή εργαλείου κάθε φορά που εμείς θέλουμε να κάνουμε μία ενέργεια με το ποντίκι.



Εργαλείο λειτουργίας (Operating). Μας δίνει τη δυνατότητα να εισάγουμε τιμές σε διάφορα στοιχεία Control.



Εργαλείο δείκτη (Positioning). Μας δίνει τη δυνατότητα να τροποποιούμε τα στοιχεία (Controls ή Indicators) μετακινώντας τα μέσα στο χώρο και αλλάζοντας το σχήμα τους.



Εργαλείο ονοματοθέτησης (Labeling). Μας δίνει τη δυνατότητα να δημιουργούμε ετικέτες μέσα στο χώρο σχεδιασμού και να αλλάζουμε τις τιμές των συμβολοσειρών μέσα σε εικονικά όργανα.



Εργαλείο συνδέσεων (Wiring). Μας δίνει τη δυνατότητα να κάνουμε συνδεσμολογία των εικονιδίων μέσα στο Block Diagram. Στην περίπτωση που η συνδεσμολογία είναι εσφαλμένη λόγω διαφορετικού τύπου μεταφοράς δεδομένων ή για άλλον οποιονδήποτε λόγο (σύνδεση στοιχείου Control με στοιχείο Control), αυτή θα εμφανίζεται με μία διακεκομμένη γραμμή.



Εργαλείο επιλογής μενού (Menu). Μας δίνει τη δυνατότητα να επιλέγουμε τις λειτουργίες ενός αντικειμένου οι οποίες βρίσκονται στο μενού συντόμευσης που το αντιπροσωπεύει.

**Εργαλείο μετακίνησης (Scrolling).**

Μας δίνει τη δυνατότητα να μετακινούμε το χώρο μέσα στο Block Diagram ή στο Front Panel.

**Εργαλείο παύσης (Breakpoint).**

Μας δίνει τη δυνατότητα να κάνουμε παύση της λειτουργίας του εικονικού οργάνου.

**Εργαλείο ακροδέκτη (Probe).**

Μας δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης της ροής των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο κατά την εκτέλεση της λειτουργίας του εικονικού οργάνου μέσα στο Block Diagram.

**Εργαλείο χρωματισμού (color).**

Μας δίνει τη δυνατότητα να συλλέξουμε το χρώμα από κάποια επιφάνεια μέσα στο λογισμικό.

**Εργαλείο παλέτας χρωμάτων (Color palette).**

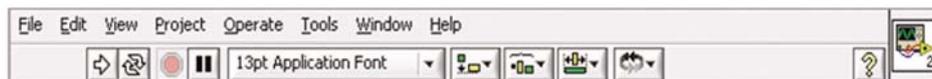
Μας δίνει τη δυνατότητα αλλαγής του χρώματος κάποιου στοιχείου ή κάποιας επιφάνειας μέσα στο χώρο του Front Panel ή του Block Diagram.

33.3 Το μενού επιλογών του LabVIEW

Τα παράθυρα Blok Diagram και Front Panel έχουν ένα κεντρικό μενού επιλογών μέσα από το οποίο μπορούμε να κάνουμε ένα σύνολο επιλογών και λειτουργιών.

33.3.1 Μενού επιλογών του Front Panel

Όταν εργαζόμαστε στο παράθυρο του Front Panel το μενού που χρησιμοποιούμε είναι το ακόλουθο.



Λειτουργίες πλήκτρων του Front Panel

**Εργαλείο εκκίνησης (Run).**

Εκτελεί έναρξη της λειτουργίας του εικονικού οργάνου που σχεδιάζουμε. Όταν το πλήκτρο αυτό έχει πατηθεί και αλλάξει σε  σημαίνει πως το εικονικό όργανο αυτό είναι το κύριο πρόγραμμα του κώδικα της εφαρμογής, ενώ αν αλλάξει σε  σημαίνει πως το εικονικό όργανο είναι μία υπο-ρουτίνα του κώδικα του κυρίου προγράμματος.

**Πλήκτρο τερματισμού (Stop).**

Το πλήκτρο αυτό επιτρέπει να σταματήσουμε τη λειτουργία ενός εικονικού οργάνου όταν αυτό εκτελείται.

**Πλήκτρο εσφαλμένης λειτουργίας (Broken-Run).**

Το πλήκτρο αυτό εμφανίζεται όταν το εικονικό όργανο δεν μπορεί να εκτελεστεί επειδή υπάρχουν μια ή και περισσότερες σπασμένες συνδέσεις μέσα σε αυτόν.

**Πλήκτρο συνεχούς λειτουργίας (Continuous Run).**

Πατώντας το πλήκτρο, γίνεται εκτέλεση του εικονικού οργάνου και όταν η λειτουργία του τερματιστεί τότε αυτή εκκινείται αυτόματα χωρίς να σταματά.

**Πλήκτρο προσωρινής διακοπής (Pause).**

Πατώντας το πλήκτρο κάνουμε παύση της λειτουργίας του εικονικού οργάνου προσωρινά. Αν το πατήσουμε ξανά, η λειτουργία του εικονικού οργάνου συνεχίζεται.

**Επιλογή γραμματοσειράς.**

Χρησιμοποιώντας αυτό το μενού μπορούμε να ορίσουμε τη γραμματοσειρά και το μέγεθος που επιθυμούμε να χρησιμοποιούμε μέσα στο Front Panel.



Επιλογή ευθυγράμμισης. Χρησιμοποιώντας το πλήκτρο μπορούμε να επιλέξουμε τη μέθοδο στοίχισης των αντικειμένων επάνω στην οθόνη του Front Panel όπως για παράδειγμα κάθετα, οριζόντια, αριστερά κ.ο.κ..



Επιλογή θέσης των αντικειμένων. Χρησιμοποιώντας το πλήκτρο τοποθετούμε τα αντικείμενα ως προς το χώρο.



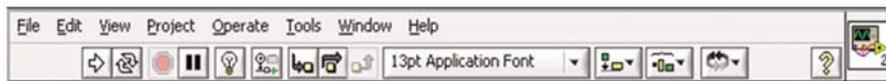
Επιλογή ορίων θέσης των αντικειμένων στο χώρο. Χρησιμοποιώντας το πλήκτρο ορίζουμε τα όρια που καταλαμβάνουν στο χώρο τα αντικείμενα



Επιλογή μετακίνησης και ομαδοποίησης των αντικειμένων στο χώρο. Μας επιτρέπει να μετακινούμε τα αντικείμενα ως προς το βάθος και να οργανώνουμε τα αντικείμενα σε ομάδες (Group).

33.3.2 Μενού επιλογών του Block Diagram

Όταν εργαζόμαστε στο παράθυρο του Block Diagram το κύριο μενού που χρησιμοποιούμε είναι το ακόλουθο.



Λειτουργίες πλήκτρων του Block Diagram



Πλήκτρο αργής κίνησης (Execution Highlighting). Πατώντας το πλήκτρο μπορούμε να παρακολουθούμε τη ροή των δεδομένων την ώρα που ο κώδικας εκτελείται. Αυτό μας βοηθά στην εξσφαλμάτωση του κώδικα του εικονικού οργάνου.



Πλήκτρο - Single Step/Step Over. Πατώντας το πλήκτρο εκτελούμε ένα βήμα του κώδικα κάθε φορά προκειμένου να κάνουμε εξέταση της λειτουργίας ενός μόνο κόμβου.



Το πλήκτρο Step Over. Πατώντας το πλήκτρο το εικονικό όργανο εισέρχεται σε κάθε κόμβο και περιμένει σε αυτόν μέχρι το επόμενο πάτημα όπου γίνεται και εκτέλεση του κώδικα που βρίσκεται μέσα στον κόμβο.



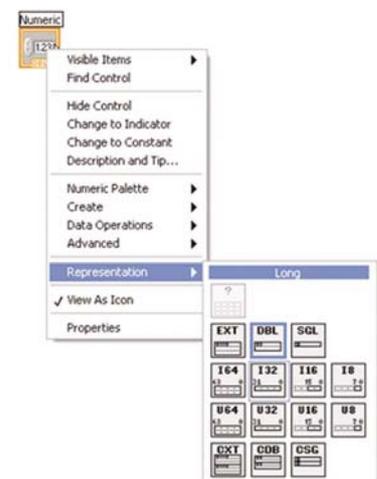
Το πλήκτρο Step Into. Πατώντας το πλήκτρο το εικονικό όργανο εξέρχεται από κάθε κόμβο και περιμένει στην έξοδο του για συνέχιση της εκτέλεση του εικονικού οργάνου.

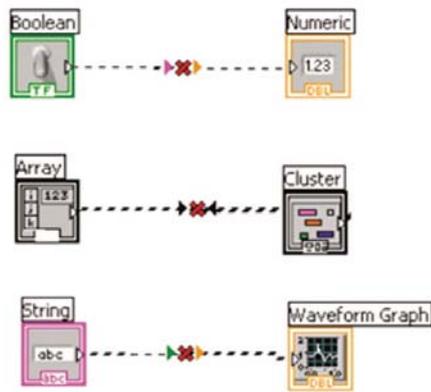
33.4 Τύποι δεδομένων

Όπως όλες οι γλώσσες προγραμματισμού, έτσι και το LabVIEW διαθέτει τύπους δεδομένων οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση διαφορετικών αριθμητικών ή αλφαριθμητικών εκφράσεων. Χαρακτηριστικό γνώρισμα των τύπων δεδομένων του LabVIEW είναι το χρώμα του κάθε εικονικού στοιχείου. Για να αλλάξουμε τον τύπο δεδομένων ενός αντικειμένου επιλέγουμε με δεξί κλικ στο pop-up μενού την εντολή Representation. Οι χρωματικές αναπαραστάσεις των τύπων δεδομένων του LabVIEW είναι:

- Το **μπλε** χρώμα παριστάνει δεδομένα ακέραιου τύπου (integer).
- Το **πορτοκαλί** χρώμα παριστάνει δεδομένα δεκαδικού τύπου (numbers).
- Το **πράσινο** χρώμα παριστάνει δεδομένα λογικού τύπου (Boolean).
- Το **μοβ** χρώμα παριστάνει δεδομένα τύπου συμβολοσειράς (string).
- Το **καφέ** χρώμα παριστάνει δεδομένα τύπου συστάδας ή δυναμικά δεδομένα (clusters, dynamic data).

Κατά τον προγραμματισμό με LabVIEW θα πρέπει να προσέχουμε να μην συνδέουμε διαφορετικούς τύπους δεδομένων μεταξύ τους, γιατί





αυτό οδηγεί σε σφάλματα του κώδικα. Όπως παρατηρούμε και στο διπλανό παράδειγμα οι εσφαλμένες συνδέσεις τύπων δεδομένων εμφανίζονται με διακεκομμένες γραμμές. Στον πίνακα 33.1 παρουσιάζονται οι χρωματικοί τόνοι που μπορεί έχει ένα δεδομένο, ανάλογα τον τύπο του, καθώς και για μονοδιάστατο (1D array) ή δι-διάστατο (2D array) πίνακα δεδομένων.

Πίνακας 33.1: Χρωματικοί τόνοι δεδομένων.

Τύπος	Δεδομένο	1D Πίνακας	2D Πίνακας	Χρώμα
Ακέραιος				Μπλε
Πραγματικός				Πορτοκαλί
Λογικός				Πράσινο
Συμβολοσειρά				Μοβ
Συστάδα				Μοβ

33.5 Προγραμματιστικές δομές

Ο έλεγχος της ροής του προγράμματος στο LabVIEW καθορίζεται πάντα από τις δομές (structures) που διαθέτει η γλώσσα προγραμματισμού. Το LabVIEW όπως και κάθε άλλη γλώσσα προγραμματισμού διαθέτει ένα σύνολο από γνωστές δομές οι οποίες βοηθούν στον έλεγχο της ροής των μπλοκ διαγραμμάτων που υλοποιούμε. Οι βασικότερες δομές που εξετάζουμε σε αυτόν τον γρήγορο οδηγό για LabVIEW είναι:

- While Loop
- For Loop
- Case
- Stacked/ Flat Sequence
- Event
- Formula Node

33.5.1 Δομή While Loop

Η δομή While Loop (Σχ. 33.8) εκτελεί τις εντολές που ενσωματώνει εωσότου αυτή τερματιστεί από μία συνθήκη η οποία έχει λογικό τύπο δεδομένων. Τη δομή While Loop μπορούμε να την επιλέξουμε από την παλέτα Function → Structures στο Block Diagram.

Τα στοιχεία που φέρει η δομή και χρησιμοποιούμε κατά τον προγραμματισμό της είναι:

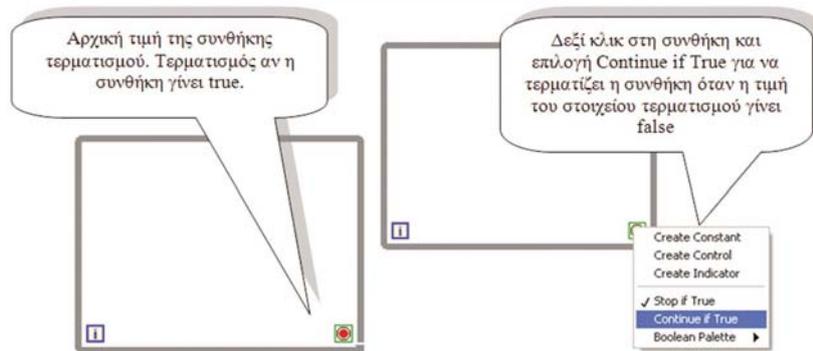
Στοιχείο αριθμού επανάληψης (iteration terminal). Το στοιχείο αυτό απαριθμεί τις επαναλήψεις σε πραγματικό χρόνο που έχουν εκτελεστεί από τη δομή While Loop.

Στοιχείο συνθήκης τερματισμού (conditional terminal). Το στοιχείο αυτό αποτελεί τη συνθήκη τερματισμού της δομής While Loop (conditional terminal) τερματίζοντας τη δομή όταν σε αυτό εφαρμοστεί λογικό δεδομένο. Η δομή While Loop εκτελεί τον κώδικα που είναι ενσωματωμένος μέσα στα όρια της και κατόπιν, το LabVIEW ελέγχει την τιμή στο στοιχείο της συνθήκης τερματισμού. Εάν η τιμή του στοιχείου τερματισμού είναι αληθής (αρχική συνθήκη) τότε το LabVIEW επαναλαμβάνει την εκτέλεση της δομής. Εάν όμως η τιμή του στοιχείου τερματισμού αλλάξει σε ψευδή (false) τότε η δομή While Loop σταματά να εκτελείται. Η δομή μπορεί να τερματίζει την εκτέλεσή της ανάλογα με το πώς έχουμε



Σχήμα 33.8: Η δομή While Loop (Έως ότου...).

επιλέξει εμείς να λειτουργεί η συνθήκη τερματισμού. Στο Σχήμα 33.9 παρουσιάζεται παράδειγμα αλλαγής της συνθήκης τερματισμού.



Σχήμα 33.9: Επιλογή μεθόδου τερματισμού της δομής While Loop.

33.12.1 Δομή For Loop

Η δομή For Loop εκτελεί τις εντολές, που ενσωματώνει, σε έναν πεπερασμένο αριθμό επαναλήψεων ο οποίος καθορίζεται από τη συνθήκη:

$$i=0 \text{ έως } N-1$$

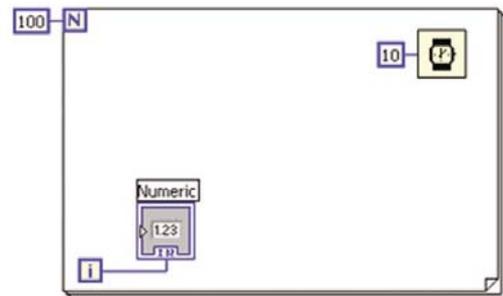
όπου,

N: ο αριθμός των επαναλήψεων που επιθυμούμε να εκτελέσει.

Τη δομή For Loop την επιλέγουμε από την παλέτα Function → Structures στο Block Diagram. Τα στοιχεία που φέρει η δομή και χρησιμοποιούμε κατά τον προγραμματισμό της είναι:

N Το τερματικό στοιχείο εισαγωγής του αριθμού επανάληψης της δομής (*Number of Loops*). Το στοιχείο αυτό καθορίζει τον αριθμό των επαναλήψεων που θα εκτελέσει αυτή η δομή. Σε αυτό το στοιχείο μπορούμε να συνδέσουμε κάποιο στοιχείο Control ή κάποια σταθερά για να προσδιορίσουμε τον αριθμό των επαναλήψεων.

i Το τερματικό επανάληψης (*iteration terminal*). Το στοιχείο αυτό απαριθμεί τις επαναλήψεις σε πραγματικό χρόνο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ελέγχουμε σε ποια επανάληψη βρίσκεται η δομή σε πραγματικό χρόνο.



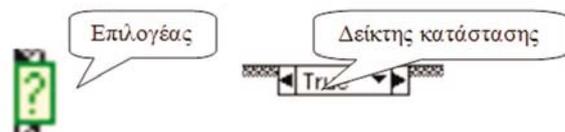
Σχήμα 33.10: Παράδειγμα λειτουργίας δομής For Loop.

Το παράδειγμα στο Σχήμα 33.10 παρουσιάζει τη χρήση της δομής For Loop η οποία πραγματοποιεί 100 επαναλήψεις με μία χρονική καθυστέρηση (10) msec όπως ορίζει η λειτουργία της χρονο-καθυστέρησης (Time delay). Μετά το πέρας των 10 επαναλήψεων η δομή τερματίζεται αυτομάτως. Ο αριθμός των επαναλήψεων N-1 εμφανίζεται σε στοιχείο Indicator στο Front Panel του LabVIEW.

33.5.3 Δομή Case

Η δομή Case μας επιτρέπει να εκτελούμε ένα σύνολο από διαφορετικές εντολές με χρήση επιλογής του συνόλου εντολών που θέλουμε να εκτελέσουμε. Η διαδικασία της επιλογής γίνεται με ένα ειδικό στοιχείο ελέγχου που καλείται επιλογέας (**selector terminal**), ενώ ένα ενσωματωμένο στοιχείο δείκτη στο πλαίσιο της δομής δείχνει την κατάσταση στην οποία αυτή βρίσκεται (Σχ. 33.11).

Στην είσοδο του επιλογέα μπορούμε να συνδέσουμε διαφορετικούς τύπους δεδομένων όπως: λογικούς, ακέραιους, και συμβολοσειρές. Ανάλογα με την τιμή του δεδομένου στον επιλογέα αλλάζει και η ροή εκτέλεσης του κώδικα, ισχύει δηλαδή η συνθήκη:



Σχήμα 33.11: Στοιχείο επιλογέα και δείκτη της δομής Case.

Εάν – τότε – αλλιώς

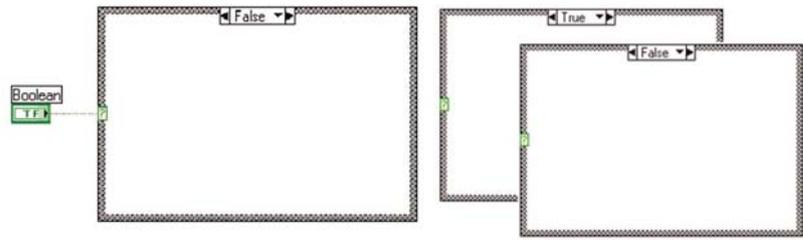
Τη δομή Case μπορούμε την επιλέγουμε από την παλέτα Function → Structures στο Block Diagram. Στη συνέχεια παρουσιάζουμε παράδειγμα σύνδεσης ενός λογικού τύπου δεδομένων στον επιλογέα της δομής Case. Σε αυτή τη περίπτωση ο κώδικας που θα εκτελεστεί εξαρτάται από τη μεταβλητή εισόδου η οποία μπορεί να είναι αληθής (1) ή ψευδής (0), όποτε και εκτελείται και ο αντίστοιχος κώδικας που ενσωματώνεται στη συνθήκη με το δείκτη πλαισίου αληθές (True) ή ψευδές (False). Οι δύο διαφορετικές συνθήκες που μπορεί να εκτελέσει η συνθήκη Case με λογικό τύπο δεδομένων συνδεδεμένο στον επιλογέα (Σχ. 33.12).

Στο Σχήμα 33.13 απεικονίζεται παράδειγμα χρήσης της δομής Case με ένα εικονικό όργανο ενός διακόπτη επιλογής ο οποίος επιλέγει μεταξύ δύο πράξεων, της άθροισης ή της αφαίρεσης δύο μεταβλητών x και y και απεικονίζει το αποτέλεσμα σε Indicator στο Front Panel.

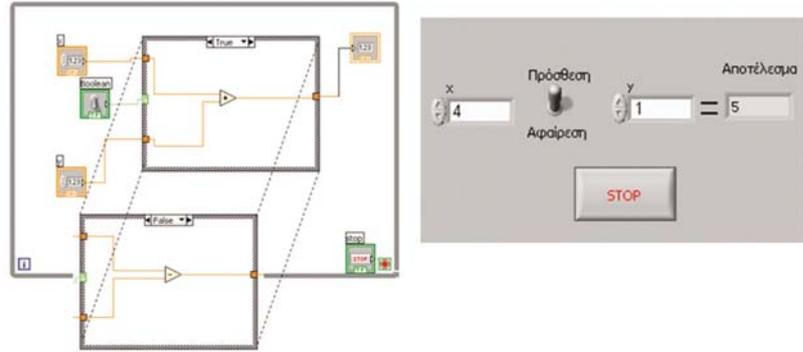
Όπως αναφέραμε, μπορούμε να συνδέσουμε διάφορους τύπους δεδομένων στη δομή Case. Στο Σχήμα 33.14 απεικονίζεται παράδειγμα σύνδεσης ενός ακέραιου τύπου στον επιλογέα της συνθήκης Case. Σε αυτή την περίπτωση ο κώδικας που θα εκτελεστεί εξαρτάται από την τιμή της μεταβλητής εισόδου όποτε και εκτελείται ο αντίστοιχος κώδικας που περιβάλλεται στη συνθήκη με τον αντίστοιχο ακέραιο δείκτη (1,2,3,...). Για να επιλέξουμε επιπλέον επιλογές στη δομή Case κάνουμε δεξί κλικ πάνω στο αντικείμενο του δείκτη και επιλέγουμε **Add Case After** ή **Add Case Before** όπως φαίνεται στο Σχήμα 33.14.

Στη συνέχεια παρουσιάζουμε παράδειγμα χρήσης της δομής αυτής μέσα σε ένα εικονικό όργανο που εκτελεί τις πράξεις άθροισης, αφαίρεσης, πολλαπλασιασμού και διαίρεσης, ανάλογα με την τιμή ενός αριθμητικού στοιχείου Control, στο οποίο εισάγει ο χρήστης τις επιλογές 0, 1, 2 και 3. Το αποτέλεσμα της τιμής εμφανίζεται σε Indicator στο Front Panel. Σε κάθε επιλεγμένο ακέραιο αριθμό έχουμε και επιλογή της αντίστοιχης συνθήκης (0_Default,1,2,3). Σε περίπτωση που δεν επιλέγεται ένας από τους προκαθορισμένους αριθμούς των συνθηκών, για παράδειγμα ο αριθμός 6, τότε ενεργοποιείται πάντα η προκαθορισμένη συνθήκη Default (σχ. 33.15).

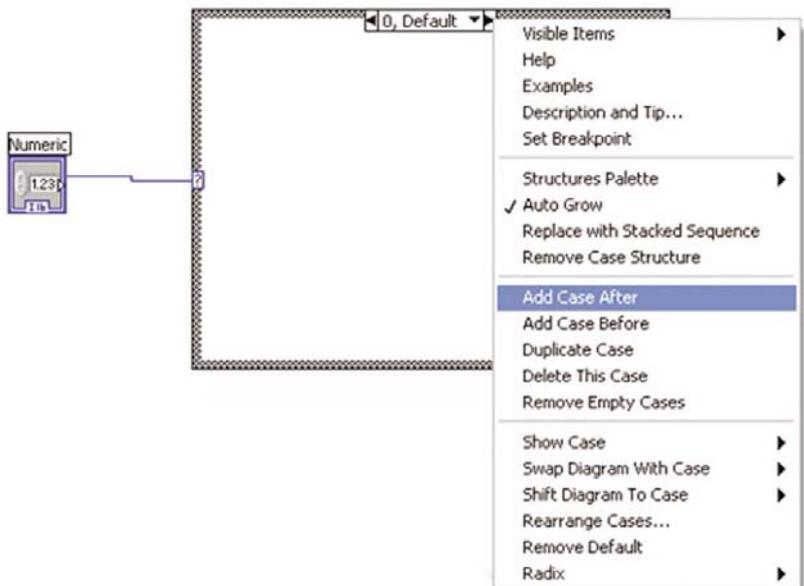
Θα μπορούσαμε να κάνουμε το ποιο πάνω εικονικό όργανο περισσότερο κατανοητό για κάποιον αν ο χρήστης έκανε την επιλογή της πράξης χωρίς να χρειάζεται να γνωρίζει ποιος αριθμός αντιστοιχεί σε κάθε πράξη. Έτσι, θα μπορούσαμε να συνδέσουμε μία συμβολοσειρά στον επιλογέα της δομής Case και



Σχήμα 33.12: Δομή Case.



Σχήμα 33.13: Παράδειγμα επιλογής πράξης με λογική μεταβλητή σε δομή Case.



Σχήμα 33.14: Επιλογή τοποθέτησης νέας συνθήκης στη δομή Case.