

Σίμος Ε. Σιμόπουλος

Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Ε.Μ.Π.

Σίμος Ε. Σιμόπουλος
Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών

Copyright © 2019 Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

Γλωσσική επιμέλεια

Ελένη Γιαννακοπούλου, *Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.*

Σελιδοποίηση, εξώφυλλο, σχεδιασμός σχημάτων

Άννα Τσαχουρίδου, *Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.*

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Ε.Μ.Π.

Θωμαΐδειο Κτήριο Εκδόσεων

Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 80 Ζωγράφου

Τηλ.: 210 772 2578, fax: 210 772 1127

www.ntua.gr/ntuapress

ISBN 978-960-254-707-6

Αφιερώνεται
στους Δασκάλους μου Καθηγητές στο ΕΜΠ
Θ.Γ. Κουγιουμζέλη
ε
Μ.Γ. Αγγελόπουλο,
στους οποίους οφείλω ό,τι δεν οφείλω
στους Γονείς μου

Π Ρ Ο Λ Ο Γ Ο Σ Τ Ο Υ Σ Υ Γ Γ Ρ Α Φ Ε Α
Σ Τ Η Ν Π Ρ Ω Τ Η Ε Κ Δ Ο Σ Η

Το μάθημα «Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών» διδάσκεται στο 5ο εξάμηνο των Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π., ως κατ' εκλογήν υποχρεωτικό, εισήχθη δε στο πρόγραμμα σπουδών πριν από λίγα χρόνια.

Το Τεύχος αυτό καλύπτει αρκετά αναλυτικά το περιεχόμενο του υπόψη μαθήματος, όπως διαμορφώθηκε από τον γράφοντα που το δίδαξε για πρώτη φορά το Ακαδημαϊκό Έτος 1984-85.

Η ανάπτυξη των διαφόρων θεμάτων του Μαθήματος έχει γίνει με βασικό αντικειμενικό σκοπό την παρουσίαση των νόμων και των μεθόδων της Στατιστικής, όπως αυτοί εφαρμόζονται στα διάφορα γνωστικά αντικείμενα της επιστήμης του Μηχανικού, προκειμένου π.χ. να οργανωθεί μια μέτρηση ή ακόμα ένα πλήρες πείραμα. Εξάλλου, με ιδιαίτερη έμφαση έχουν ακόμη περιληφθεί θέματα σχετικά με τις μετρητικές διατάξεις σε απευθείας σύνδεση με ηλεκτρονικούς υπολογιστές λόγω της συνεχώς αυξανόμενης σημασίας τους για τις πρακτικές εφαρμογές.

Οι Ασκήσεις που παρατίθενται στο τέλος κάθε Κεφαλαίου, επιλεγμένες από άποψη ποικιλίας θεμάτων, βοηθούν στην κατανόηση της ύλης. Εξάλλου η βιβλιογραφία που περιέχεται επιτρέπει, στους σπουδαστές που ενδιαφέρονται, την εμπάθυνση των θεμάτων που πραγματεύονται στο παρόν.

Για την καλύτερη εμπέδωση των αντικειμένων του Μαθήματος οργανώθηκε σειρά Εργαστηριακών Ασκήσεων που εκτελούν οι σπουδαστές χωρισμένοι σε μικρές ομάδες. Για την εκτέλεση αυτών των Ασκήσεων χορηγούνται ειδικές αναλυτικές Εργαστηριακές Οδηγίες, που βοηθούν στην κατανόηση της πρακτικής εφαρμογής του Μαθήματος των Μετρήσεων Τεχνικών Μεγεθών.

Ο γράφων οφείλει να αναγνωρίσει ότι στη διαμόρφωση του Μαθήματος, όπως αυτή παρουσιάζεται στο Τεύχος αυτό, βοηθήθηκε τόσο από τις Σημειώσεις των παραδόσεων του Καθηγητού κ. Κ.Δ. Παπαηλιού, που πρώτος το δίδαξε, όσο και από την εμπειρία που απέκτησε εργαζόμενος επί 15ετία στο Εργαστήριο του Τομέα Πυ-

ρηνικής Τεχνολογίας, όπου εφαρμόζονται τα θέματα που αναπτύσσονται στο παρόν Τεύχος. Εξάλλου, ο εξοπλισμός αυτού του Εργαστηρίου, ιδιαίτερα σε τύπους Η/Υ που παρέχουν τη δυνατότητα απευθείας συνδέσεως σε μετρητικές διατάξεις, με κατάλληλες προσαρμογές, επέτρεψε ήδη από την πρώτη χρονιά που ο γράφων ανέλαβε τη διδασκαλία του Μαθήματος την οργάνωση και εκτέλεση των Εργαστηριακών Ασκήσεων με ποικιλία θεμάτων, από άποψη γνωστικών αντικειμένων. Για τους πιο πάνω λόγους, ο γράφων αισθάνεται την ανάγκη να ευχαριστήσει τους καθηγητές κ.κ. Κ.Δ. Παπαηλιού, Μ.Γ. Αγγελόπουλο και Δ.Ι. Λεωνίδου· επίσης, επιθυμεί να αναγνωρίσει την ενθάρρυνση και τις πολύτιμες υποδείξεις που είχε από τον Καθηγητή του κ. Μ.Γ. Αγγελόπουλο κατά τη συγγραφή του Τεύχους αυτού, καθώς και για την οργάνωση των Εργαστηριακών Ασκήσεων στα πλαίσια του Μαθήματος. Ευχαριστίες οφείλονται επίσης στην κ. Κ. Αντωνίου και τον κ. Β. Ηλία για την επιμέλεια του κειμένου.

Σ.Ε.Σ

Αθήνα, Οκτώβριος 1986

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

Κεφάλαιο 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΟΡΙΣΜΟΙ

1.1	Γενικές Εισαγωγικές Έννοιες και Ορισμοί	1
1.2	Έρευνα και Κατηγοριοποίησή της	2
1.3	Μέγεθος, Μέτρηση και Συνακόλουθες Έννοιες	4
1.3.1	Πρότυπα Μετρήσεων	5
1.3.1.1	Πρότυπο Μήκους	7
1.3.1.2	Πρότυπο Μάζας	7
1.3.1.3	Πρότυπο Χρόνου	7
1.3.1.4	Πρότυπο Θερμοκρασίας	8
1.3.2	Μονάδες Μετρήσεων	10
1.3.3	Όργανα των Μετρήσεων	11
1.3.4	Η Ακρίβεια των Μετρήσεων και ο Ρόλος της Στατιστικής	14
1.3.4.1	Σφάλματα των Μετρήσεων	16
1.3.4.2	Η Τυποποίηση ISO για την Αξιολόγηση των Αποτελεσμάτων των Μετρήσεων ...	17
1.3.4.3	Σχετικά με τις Αβεβαιότητες στις Μετρήσεις	18
1.4	Το Τεχνολογικό Πείραμα	21
1.4.1	Έννοιες – Ορισμοί σχετικά με ένα Τεχνολογικό Πείραμα	21
1.4.2	Γενικά Χαρακτηριστικά ενός Τεχνολογικού Πειράματος	26
1.4.3	Δομή ενός Τεχνολογικού Πειράματος	27
1.4.4	Σχεδίαση ενός Τεχνολογικού Πειράματος	27
1.5	Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών και Εργαστήριο	30
1.5.1	Βασικοί Στόχοι του Μαθήματος	31
1.5.2	Δομή του Παρόντος Βιβλίου	32

Κεφάλαιο 2

ΑΠΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

2.1	Εισαγωγή	35
2.2	Κατηγοριοποίηση των Στοχαστικών Μεγεθών	35
2.3	Γραφικές Μέθοδοι Απεικόνισης	37
2.3.1	Ασυνεχή Μεγέθη	37
2.3.1.1	Συχνότητα Εμφάνισης Τιμής	37
2.3.1.2	Ιχνόγραμμα	38
2.3.2	Συνεχή Μεγέθη	40
2.3.2.1	Συχνότητα Εμφάνισης Περιοχής Τιμών	40
2.3.2.2	Καθορισμός του Πλήθους των Κλάσεων	41
2.3.2.3	Ιστόγραμμα	43
2.3.2.4	Καμπύλη Πιθανοτήτων	46
2.3.2.5	Συνάρτηση Κατανομής	46
2.3.3	Ιστόγραμμα Ασυνεχούς Μεγέθους	47
2.4	Αναλυτικές Μέθοδοι Απεικόνισης	49
2.4.1	Παράμετροι Θέσεως	49
2.4.1.1	Μέση Τιμή	50
2.4.1.1.1	Μέση Τιμή Δείγματος	50
2.4.1.1.2	Μέση Τιμή Πιθανοσυνόλου υπολογιζόμενη από τις Τιμές των Αντικειμένων του ...	51
2.4.1.1.3	Μέση Τιμή Πιθανοσυνόλου με γνωστή Συνάρτηση Κατανομής	52
2.4.1.2	Λοιπές Παράμετροι Θέσεως	52
2.4.2	Παράμετροι Μεγέθους της Διασποράς	53
2.4.2.1	Τυπική Απόκλιση και Μεταβλητότητα Δείγματος	53
2.4.2.2	Τυπική Απόκλιση και Μεταβλητότητα Πιθανοσυνόλου	54
2.4.2.3	Συντελεστής Μεταβολής	56

Κεφάλαιο 3

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ

3.1	Εισαγωγή	57
3.2	Ασυνεχείς Κατανομές	58
3.2.1	Γενικές Ιδιότητες των Ασυνεχών Κατανομών	58
3.2.2	Ομοιόμορφη Κατανομή	59
3.2.3	Διωνυμική Κατανομή	60
3.2.3.1	Διωνυμικό Πείραμα	61
3.2.3.2	Παράμετροι Διασποράς της Διωνυμικής Κατανομής	63
3.2.3.3	Πινακοποίηση της Διωνυμικής Κατανομής	63
3.2.4	Κατανομή Poisson	64

3.2.4.1 Προϋποθέσεις Ισχύος της Κατανομής Poisson	64
3.2.4.2 Η Συνάρτηση Κατανομής Poisson	65
3.2.4.3 Παράμετροι Διασποράς της Κατανομής Poisson	66
3.2.4.4 Φυσική Σημασία της Κατανομής Poisson	66
3.2.4.5 Πινακοποίηση της Κατανομής Poisson	68
3.2.5 Λοιπές Ασυνεχείς Κατανομές	69
3.3 Συνεχείς Κατανομές	69
3.3.1 Εισαγωγή στις Συνεχείς Κατανομές	70
3.3.1.1 Προβλήματα που τίθενται ως προς τις Συνεχείς Κατανομές	71
3.3.1.2 Συμβάσεις σχετικά με τις Πινακοποιήσεις των Συνεχών Κατανομών	71
3.3.2 Κανονική Κατανομή	73
3.3.2.1 Ιδιότητες της Κανονικής Κατανομής	74
3.3.2.2 Η Επιφάνεια κάτω από την Κανονική Καμπύλη	75
3.3.2.3 Τυποποιημένη Κανονική Κατανομή	77
3.3.2.4 Πινακοποίηση της Τυποποιημένης Κανονικής Κατανομής	79
3.3.2.5 Οριοθέτηση Διαστήματος Συμμετρικά περί τη Μέση Τιμή Κανονικής Καμπύλης... ..	81
3.3.2.6 Φυσική Σημασία και Εφαρμογές της Κανονικής Κατανομής	83
3.3.3 Εκθετική Κατανομή	86
3.3.4 Κατανομή Weibull	88
3.3.4.1 Παράμετροι Διασποράς της κατανομής Weibull	90
3.3.4.2 Ρυθμός Αστοχίας	90
3.4 Βοηθητικές Κατανομές	91
3.4.1 Εισαγωγικές Έννοιες	91
3.4.1.1 Ο Βαθμός Ελευθερίας	93
3.4.1.2 Η Συνάρτηση Γάμμα	94
3.4.2 Κατανομή Student	94
3.4.2.1 Πινακοποίηση της Κατανομής Student	96
3.4.2.2 Οριοθέτηση Διαστήματος Συμμετρικά περί τη Μέση Τιμή της Κατανομής Student... ..	98
3.4.3 Κατανομή χ^2	99
3.4.3.1 Πινακοποίηση της Κατανομής χ^2	100
3.4.3.2 Οριοθέτηση Διαστήματος για τη Χωροθέτηση Ίσων Πιθανοτήτων στις Δύο Ουρές της Κατανομής χ^2	102
3.4.3.3 Εφαρμογές της κατανομής $-\chi^2$	103
3.4.4 Κατανομή F	103
3.4.4.1 Πινακοποίηση της Κατανομής F	105
3.4.4.2 Οριοθέτηση Διαστήματος για τη Χωροθέτηση Ίσων Πιθανοτήτων στις Δύο Ουρές της Κατανομής F	107
3.4.4.3 Εφαρμογές της κατανομής -F	108

Κεφάλαιο 4

ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΥΠΟΘΕΣΕΩΝ

4.1	Εισαγωγικές Έννοιες	109
4.1.1	Περιοχή Εμπιστοσύνης Παραμέτρου Διασποράς	110
4.1.2	Κριτήριο Σημαντικότητας	111
4.2	Η Διασπορά των Παραμέτρων Διασποράς	114
4.2.1	Η διασπορά της Μέσης Τιμής	115
4.2.1.1	Θεωρήματα σχετικά με τη Διασπορά της Μέσης Τιμής	116
4.2.1.2	Όρια Εφαρμογής του Κεντρικού Οριακού Θεωρήματος	117
4.2.1.3	Περιοχή Εμπιστοσύνης της Μέσης Τιμής Πιθανοσυνόλου	119
4.2.1.3.1	Εκτίμηση της Περιοχής Εμπιστοσύνης της μέσης τιμής του πιθανοσυνόλου, όταν θεωρηθεί γνωστή η τυπική απόκλισή του	120
4.2.1.3.1.1	Έκθεση σε Κίνδυνο ως προς την Εκτίμηση την οποία συνεπάγονται οι Επιλογές μας	123
4.2.1.3.2	Εκτίμηση της Περιοχής Εμπιστοσύνης της μέσης τιμής του πιθανοσυνόλου από δείγμα του	126
4.2.2	Η Διασπορά της Διαφοράς Δύο Μέσων Τιμών	129
4.2.2.1	Σύνοψη των Συμπερασμάτων για την Εκτίμηση της Περιοχής Εμπιστοσύνης της Διαφοράς Δύο Μέσων Τιμών	130
4.2.3	Η Διασπορά της Μεταβλητότητας	134
4.2.4	Η Διασπορά του Λόγου Δύο Μεταβλητοτήτων	136
4.3	Στατιστικά Τεστ Παραμέτρων Διασποράς	138
4.3.1	Ορισμοί και Συμβολισμοί	139
4.3.2	Ο Ρόλος και η Σημασία της Εναλλακτικής Υπόθεσης	140
4.3.3	Η Περιοχή Εμπιστοσύνης ως Αφετηρία Διεξαγωγής ενός Στατιστικού Τεστ	141
4.3.4	Από την Περιοχή Εμπιστοσύνης στο Στατιστικό Τεστ	143
4.3.5	Στατιστικοί Κίνδυνοι	146
4.3.6	Επίπεδο Σημαντικότητας και Επιλογή της Τιμής του	150
4.3.7	Μεθοδολογία Διεξαγωγής Στατιστικών Τεστ	152
4.3.7.1	Εφαρμογές και Παραδείγματα Εμπέδωσης	157
4.4	Εκτιμήσεις και Στατιστικά Τεστ Ποσοστών	162
4.5	Στατιστικό Τεστ Προσαρμογής του Δείγματος σε Δεδομένη Συνάρτηση Κατανομής	164
4.5.1	Στατιστικά Θεωρήματα Υποστήριξης του Τεστ $-\chi^2$	165
4.5.2	Μεθοδολογία Διεξαγωγής του Τεστ χ^2	166
4.6	Επιλογή Μεγέθους Δείγματος για Τεστ Μέσων Τιμών	172
4.6.1	Επιλογή του μεγέθους δείγματος για τεστ επί της μέσης τιμής	173

4.6.1.1 Επιλογή του Μεγέθους Δείγματος όταν θεωρηθεί γνωστή η τυπική απόκλιση του πιθανοσυνόλου	173
4.6.1.2 Επιλογή του Μεγέθους Δείγματος χωρίς προϋποθέσεις	177
4.6.2 Επιλογή του μεγέθους δείγματος για τεστ διαφοράς δύο μέσων τιμών	179
4.6.2.1 Οι τυπικές αποκλίσεις των πιθανοσυνόλων θεωρούνται γνωστές	179
4.6.2.2 Οι τυπικές αποκλίσεις των πιθανοσυνόλων δεν θεωρούνται γνωστές	179

Κεφάλαιο 5

ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

5.1 Γενικές Εισαγωγικές Έννοιες και Ορισμοί	181
5.2 Εκτίμηση του Τυχαίου Σφάλματος Μέτρησης	183
5.3 Συνολικό Σφάλμα Μέτρησης	184
5.4 Συντελεστής Μεταβολής του Σφάλματος	185
5.5 Η Διασπορά του Σφάλματος	186
5.5.1 Μέση Τιμή και Μεταβλητότητα Εξαρτημένης Μεταβλητής	186
5.5.1.1 Γραμμική Συνάρτηση	186
5.5.1.2 Μη Γραμμική Συνάρτηση	187
5.5.2 Χαρακτηριστικές Σχέσεις	187
5.5.3 Παρατηρήσεις και Εφαρμογή	189

Κεφάλαιο 6

ΣΤΡΟΓΓΥΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

6.1 Εισαγωγή	193
6.2 Σημαντικά Ψηφία Αριθμού	196
6.3 Κανόνες Στρογγύλευσης σε Δεδομένο Πλήθος Σημαντικών Ψηφίων	196
6.4 Κανόνες Καθορισμού του Πλήθους των Σημαντικών Ψηφίων	198
6.4.1 Σημαντικά Ψηφία Αριθμών που προκύπτουν από Απλές Αριθμητικές Πράξεις	199
6.4.2 Σημαντικά Ψηφία Αριθμών που προκύπτουν ως Αποτελέσματα Σειράς Υπολογισμών	201
6.5 Τελικές Παρατηρήσεις	203

Κεφάλαιο 7
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΣ
ΕΞΑΡΤΗΜΕΝΩΝ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

7.1	Εισαγωγή	205
7.1.1	Η Παρατήρηση, οι Μετρήσεις, το Πείραμα	205
7.1.2	Η έννοια της Αλληλοεξάρτησης	208
7.1.3	Η Στατιστική Διαδικασία της Προσαρμογής	211
7.1.4	Η Συνάρτηση Αναδρομής	212
7.1.5	Κριτήρια Αξιολόγησης της Αναδρομής	215
7.1.5.1	Η Γραφική Απεικόνιση και η Σημασία της	216
7.1.5.2	Ποσοτικοί Δείκτες	217
7.2	Η Αρχή των Ελαχίστων Τετραγώνων	218
7.3	Ποσοτικά και Ποιοτικά Κριτήρια Ελέγχου της Προσαρμογής	221
7.3.1	Συντελεστής Συσχέτισεως	222
7.3.2	Μέση Τετραγωνική Απόκλιση	223
7.3.3	Μεταβλητότητα της Αναδρομής	223
7.4	Γραμμική Προσαρμογή	224
7.4.1	Απλή Γραμμική Αναδρομή	224
7.4.1.1	Εκτίμηση των Παραμέτρων της Απλής Γραμμικής Αναδρομής	224
7.4.1.2	Οι Παράμετροι της Ευθείας Αναδρομής ως Στοχαστικές Μεταβλητές	227
7.4.1.2.1	Τυπικό Σφάλμα	229
7.4.1.2.2	Περιοχή Εμπιστοσύνης των Παραμέτρων	230
7.4.1.2.3	Στατιστικά Τεστ συγκρίσεως των εκτιμήσεων	230
7.4.1.3	Σφάλματα στις Εκτιμήσεις της Εξαρτημένης Μεταβλητής	232
7.4.1.4	Ο Συντελεστής Γραμμικής Συσχέτισεως	237
7.4.1.4.1	Η Διασπορά του Συντελεστή Γραμμικής Συσχέτισεως	239
7.4.1.5	Ο Ρόλος των Μεταβλητών και η Τιμή του Συντελεστή Γραμμικής Συσχέτισεως	242
7.4.2	Πολλαπλή Γραμμική Αναδρομή	245
7.4.2.1	Πολλαπλή Γραμμική Προσαρμογή υπό Μητρική Μορφή	247
7.4.2.2	Δείκτες Αξιοπιστίας και Σφάλματα της Πολλαπλής Γραμμικής Προσαρμογής υπό Μητρική Μορφή	248
7.4.2.3	Χώρος Εμπιστοσύνης των Παραμέτρων Γραμμικής Αναδρομής	249
7.5	Μη Γραμμική Προσαρμογή	250
7.5.1	Πολυωνυμική Αναδρομή	251
7.5.2	Γραμμικοποιούμενη Αναδρομή	251
7.5.2.1	Δείκτες Αξιοπιστίας της Προσαρμογής κατά τη Γραμμικοποίηση	254

Κεφάλαιο 8

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

8.1	Πειράματα και Μεθοδολογίες Επεξεργασίας τους	257
8.2	Πειράματα Σύγκρισης	259
8.2.1	Ανάλυση των Πειραμάτων Σύγκρισης	261
8.2.1.1	Μοντέλο Πολλαπλής Σύγκρισης	264
8.2.1.2	Στατιστικά Τεστ Περιοχής Τιμών	267
8.2.1.2.1	Τεστ του Tukey	268
8.2.1.2.2	Ανάλυση των Μέσων Τιμών των Αντικειμένων	273
8.2.1.2.2.1	Μεθοδολογία Κατάταξης σε Ομοιογενείς Ομάδες	274
8.3	Πειράματα Εξακρίβωσης Αλληλοεξάρτησης	275
8.3.1	Εισαγωγικές Έννοιες και Ορισμοί	277
8.3.2	Κλασσικός Προγραμματισμός	278
8.3.3	Πλήρες Πείραμα Πολλών Παραγόντων	282
8.3.4	Αλληλεπιδράσεις μεταξύ Παραγόντων	284
8.3.4.1	Η Θεωρητική Γνώση ως Αφετηρία Συναγωγής Συμπερασμάτων ως προς τις Επιδράσεις	285
8.3.4.2	Διερεύνηση των Επιδράσεων	286
8.4	Ειδικά Θέματα Πειραμάτων Αλληλοεξάρτησης	290
8.4.1	Η Αρχή της Τυχαιότητας	290
8.4.2	Η Επιλογή των Σημείων Μετρήσεων	291
8.4.3	Η Επίδραση του Σφάλματος των Μετρήσεων της Εξαρτημένης Μεταβλητής στην Προσαρμογή	291
8.4.4	Η Σημασία της Γραφικής Απεικόνισης	295
8.4.4.1	Κλίμακες των Γραφικών Απεικονίσεων	295
8.4.4.2	Γραφική Απεικόνιση των Σημείων Μετρήσεων και το Είδος της Συναρτήσεως Αναδρομής	298
8.4.5	Περιοχή Εμπιστοσύνης των Παραμέτρων Ευθείας Αναδρομής	302
8.4.5.1	Το Διάγραμμα των Παραμέτρων και η Επιφάνεια Εμπιστοσύνης της Αναδρομής ..	304
8.4.5.2	Τεστ Σύγκρισης Ευθειών Αναδρομής	306
8.4.5.2.1	Τεστ Σύγκρισης της Ευθείας Αναδρομής με Ευθεία Αναφοράς	306
8.4.5.2.2	Τεστ Σύγκρισης δύο Ευθειών Αναδρομής	307
8.4.5.3	Συνάρτηση Κατανομής της Ευθείας Αναδρομής και συνακόλουθη Μορφή της Επιφανείας Εμπιστοσύνης	309
8.4.5.3.1	Η Επιφάνεια Εμπιστοσύνης ως Ορθογώνιο	309
8.4.5.3.2	Η Επιφάνεια Εμπιστοσύνης ως Έλλειψη	310
8.4.5.3.2.1	Χάραξη της Έλλειψης Εμπιστοσύνης	313

Κεφάλαιο 9 ΔΙΑΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

9.1	Εισαγωγή	319
9.2	Φυσικά Μεγέθη και Σχέσεις Ορισμού τους	321
9.3	Διαστατική Ομοιογένεια	323
9.4	Οι Μέθοδοι της Διαστατικής Αναλύσεως	325
9.4.1	Η Μέθοδος Rayleigh	326
9.4.2	Η Μέθοδος Buckingham	329
	9.4.2.1 Το Θεώρημα των Π	331
	9.4.2.2 Εφαρμογή της Μεθόδου Buckingham	331
9.5	Συμπερασματικές Παρατηρήσεις για τη Διαστατική Ανάλυση	335

Κεφάλαιο 10 Η ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΣ

10.1	Εισαγωγή	339
10.2	Η Έννοια της Φυσικής Ομοιότητας	341
10.2.1	Γεωμετρική Ομοιότητα	341
10.2.2	Κινηματική Ομοιότητα	342
10.2.3	Δυναμική Ομοιότητα	342
10.2.4	Λοιποί Τύποι Φυσικής Ομοιότητας	343
10.3	Νόμοι Προσομοιώσεως	344
10.3.1	Παραμόρφωση του Μοντέλου	347
10.3.2	Άρση της Παραμόρφωσης του Μοντέλου	348
10.4	Συγκρότηση των Αδιάστατων Ομάδων Μεταβλητών	350

Κεφάλαιο 11 ΜΕΤΑΛΛΑΚΤΕΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

11.1	Εισαγωγή	351
11.2	Μεταλλάκτες Μετατοπίσεως	354
11.2.1	Ωμικός Μεταλλάκτης Μετατοπίσεως – Ποτενσιόμετρο	354
11.2.2	Χωρητικός Μεταλλάκτης Μετατοπίσεως	356
11.2.3	Αυτεπαγωγικός Μεταλλάκτης Μετατοπίσεως	358
	11.2.3.1 Διαφορικός Μετασχηματιστής	360
	11.2.3.2 Μεταλλάκτης Κινητού Οπλισμού	362
11.2.4	Μεταλλάκτες Μετατοπίσεως με Ημιαγωγό	363

11.3	Μεταλλάκτες Καταπονήσεως	363
11.3.1	Επιμηκυνσιόμετρα Ηλεκτρικής Αντιστάσεως	364
11.3.2	Επιμηκυνσιόμετρα Ημιαγωγού	369
11.4	Μεταλλάκτες Δυνάμεως	371
11.4.1	Ελαστικοί Μεταλλάκτες Δυνάμεως	371
11.4.2	Υδραυλικοί και Πνευματικοί Μεταλλάκτες Δυνάμεως	374
11.5	Μεταλλάκτες Ροπής Στρέψεως	374
11.5.1	Μηχανικά Δυναμόμετρα	375
11.5.2	Ηλεκτρικά Δυναμόμετρα	375
11.6	Μεταλλάκτες Πιέσεως	376
11.6.1	Πιέσεις και Μέτρησή τους	376
11.6.2	Μεταλλάκτες Συνήθων Πιέσεων ή Υπερπιέσεων	377
	11.6.2.1 Μεταλλάκτες Πίεσης Τύπου Μετατοπίσεως	377
	11.6.2.1.1 Μεταλλάκτες Πίεσης με Ελαστικού Τύπου Στοιχείο	377
	11.6.2.1.2 Μεταλλάκτες Πίεσης με Σωλήνα Bourdon	380
	11.6.2.2 Μεταλλάκτες Πίεσης Τύπου Στερεάς Κατάστασης	381
11.6.3	Μεταλλάκτες Υψηλών Πιέσεων	382
11.6.4	Μεταλλάκτες Κενού	385
	11.6.4.1 Μεταλλάκτης Θερμικής Αγωγιμότητας	386
	11.6.4.2 Μεταλλάκτης Ιονισμού	388
11.7	Μεταλλάκτες Ροής Ρευστών	388
11.7.1	Μετρήσεις Ροής Ρευστών	389
	11.7.1.1 Εξίσωση της Συνεχείας	389
	11.7.1.2 Θεώρημα Bernoulli	390
11.7.2	Ροόμετρα τύπου Bernoulli	391
	11.7.2.1 Ροόμετρα Στενώσεως της Διατομής	392
	11.7.2.2 Ροόμετρα Ολικής Πιέσεως	396
	11.7.2.3 Ροόμετρα Πλωτήρα	397
11.7.3	Μετρητικός Μυλίσκος	402
11.7.4	Μαγνητικά Ροόμετρα	403
11.7.5	Ανεμόμετρα Θερμαινόμενου Νήματος	405
11.8	Μεταλλάκτες Θερμοκρασίας	408
11.8.1	Μετρήσεις Θερμοκρασίας	409
11.8.2	Θερμοστοιχεία	409
	11.8.2.1 Αρχή Λειτουργίας	409
	11.8.2.2 Θερμοηλεκτρικά Κυκλώματα	411
	11.8.2.2.1 Η Θερμοκρασία στο Σημείο Αναφοράς	413
	11.8.2.3 Θερμοηλεκτρικές επαφές και τύποι θερμοστοιχείων	416

11.8.2.4 Κατασκευές Θερμοστοιχείων και Εξαρτήματα	417
11.8.3 Θερμόμετρα Αντιστάσεως	419
11.8.4 Θερμίστορ	421

Κεφάλαιο 12 ΜΕΤΡΗΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

12.1 Εισαγωγή	423
12.2 Συγκρότηση μιας Μετρητικής Διατάξεως	423
12.3 Ψηφιακοί Ηλεκτρονικοί Υπολογιστές	427
12.3.1 Εισαγωγή	428
12.3.2 Κυριότερες συνιστώσες ενός ψηφιακού Η/Υ	430
12.3.2.1 Μονάδες μετρήσεως μεγεθών των συνιστωσών του Η/Υ	431
12.3.3 Διασυνδέσεις – Θεμελιώδεις Έννοιες	433
12.3.3.1 Δίαυλος	433
12.3.3.2 Παρενθετική Διακοπή	434
12.3.3.3 Καταχωρητής	435
12.3.3.4 Συνεργασία για την Εξυπηρέτηση μιας Συσκευής	437
12.3.3.5 Ο Ρόλος του Λειτουργικού Συστήματος	439
12.3.4 Η/Υ κατάλληλοι για «Απευθείας» Συνδέσεις	439
12.3.4.1 Επεξεργασίες Πραγματικού Χρόνου	440
12.3.4.2 Ιστορικά Στοιχεία	441
12.3.4.3 Η Σημερινή Πραγματικότητα	442
12.3.5 Εποπτεία των Απευθείας Συνδεδεμένων Συσκευών	443
12.3.6 Μεθοδολογία Μετάδοσης των Πληροφοριών και Πρωτόκολλα Επικοινωνίας	444
12.4 Μετατροπείς Σήματος	448
12.4.1 Μετατροπείς Αναλογικού Σήματος σε Ψηφιακό - ADC	450
12.4.1.1 Βασικά Λειτουργικά Χαρακτηριστικά ενός ADC	450
12.4.1.1.1 Περιοχή Λειτουργίας	451
12.4.1.1.2 Διακριτική Ικανότητα	452
12.4.1.1.3 Συχνότητα Δειγματοληψίας	454
12.4.1.2 Ηλεκτρονικές Μέθοδοι Αναλογοψηφιακών Μετατροπών	454
12.4.1.2.1 Μέθοδος Ολοκληρώσεως	455
12.4.1.2.2 Μέθοδος Άμεσης Σύγκρισης	456
12.4.1.2.3 Μέθοδος Διαδοχικών Προσεγγίσεων	457
12.4.1.3 Πολυπλέκτης και Λειτουργία του	460
12.4.2 Μετατροπείς Ψηφιακού Σήματος σε Αναλογικό - DAC	460
12.5 Επενεργητές	462

Παράρτημα Α
ΠΙΝΑΚΕΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ

A.1 Πίνακας ΠΑ-1 – Κανονική Κατανομή	467
A.2 Πίνακας ΠΑ-2 – Κατανομή Student	468
A.3 Πίνακας ΠΑ-3 – Κατανομή χ^2	469
A.4 Πίνακας ΠΑ-4 – Κατανομή F	470
A.5 Πίνακας ΠΑ-5 – Κατανομή Περιοχής Τιμών Student	475
A.6 Πίνακας ΠΑ-6 – Επιλογή Μεγέθους Δείγματος για t -τεστ Μέσης Τιμής	481
A.7 Πίνακας ΠΑ-7 – Επιλογή Μεγέθους Δείγματος για t -τεστ Διαφοράς Μέσων Τιμών Δύο Δειγμάτων	482

Παράρτημα Β
ΑΠΛΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΤΩΝ ΚΑΝΟΝΙΚΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

B.1 Εισαγωγή	483
B.2 Η μέθοδος της απαλοιφής Gauss-Jordan για την αντιστροφή πίνακα	484
B.2.1 Πρόγραμμα Η/Υ Fortran για την αντιστροφή πίνακα	487
B.3 Η επίλυση του συστήματος των Κανονικών Εξισώσεων	489
B.3.1 Πρόγραμμα Η/Υ Fortran για την επίλυση του συστήματος των Κανονικών Εξισώσεων	490

Παράρτημα Γ

Γ.1 Πίνακας μετατροπής μονάδων στο Διεθνές Σύστημα (SI)	499
---	-----

Παράρτημα Δ
Η ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΕΘΝΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΑΔΩΝ
ΤΟΝ ΝΟΕΜΒΡΙΟ 2018

Δ.1 Εισαγωγή	507
Δ.2 Οι 7 Φυσικές Σταθερές με βάση τις οποίες ορίζονται τα Θεμελιώδη Φυσικά Μεγέθη	508
Δ.3 Οι 7 Θεμελιώδεις Μονάδες του SI	508
Βιβλιογραφία	511