

Περιεχόμενα

Πρόλογος	IV
Εισαγωγή	1
1. Στοιχεία διανυσματικού λογισμού	1
1.1 Αναπαράσταση διανύσματος	1
1.2 Άθροισμα διανυσμάτων	1
1.3 Εσωτερικό γινόμενο δύο διανυσμάτων	2
1.4 Εξωτερικό γινόμενο δύο διανυσμάτων	2
1.5 Τριπλά γινόμενα	3
2. Παράγωγος βαθμωτής συναρτήσεως κατά κατεύθυνση-κλίση βαθμωτής συναρτήσεως - Αναλλοίωτο της κλίσεως	3
3. Απόκλιση διανυσματικής συναρτήσεως - Ροή - Θεώρημα της αποκλίσεως-Αναλλοίωτο της αποκλίσεως	7
4. Περιστροφή διανυσματικής συναρτήσεως - Θεώρημα του Stokes - Αναλλοίωτο της περιστροφής	10
5. Χρήσιμες σχέσεις για τις διανυσματικές παραγώγους	12
6. Θεμελιώδη θεωρήματα της διανυσματικής ανάλυσης	14
7. Γενικεύσεις	15
8. Καμπυλόγραμμες Συντεταγμένες	18
8.1 Γενικά	18
8.2 Μοναδιαία διανύσματα καμπυλόγραμμων συστημάτων	19
8.3 Στοιχείο μήκους, στοιχείο επιφάνειας και στοιχείο όγκου σε ορθογώνιες καμπυλόγραμμες συντεταγμένες	25
8.4 Κλίση βαθμωτής συναρτήσεως σε ορθογώνιες καμπυλόγραμμες συντεταγμένες	26
8.5 Απόκλιση και περιστροφή διανυσματικής συναρτήσεως σε καμπυλόγραμμες συντεταγμένες	27
8.6 Έκφραση της Λαπλασιανής σε καμπυλόγραμμες συντεταγμένες	28
8.7 Απόδειξη των σχέσεων (55) και (56) για την απόκλιση και την περιστροφή	28
8.8 Εναλλακτικός τρόπος εύρεσης της απόκλισης και της περιστροφής	30
9. Γενικευμένες συναρτήσεις	33
Κεφάλαιο 1: Το Ηλεκτρομαγνητικό Πρότυπο	35
1. Γενικά	35
2. Ηλεκτρικό φορτίο και πυκνότητα ηλεκτρικού φορτίου	35
2.1 Ηλεκτρικό Φορτίο (Σύμβολα q, Q . Διαστάσεις [C])	35
2.2 Χωρική πυκνότητα ηλεκτρικού φορτίου (Σύμβολο $\rho(\vec{r}, t)$. Διαστάσεις [C/m ³])	36
2.3 Επιφανειακή πυκνότητα ηλεκτρικού φορτίου (Σύμβολο σ . Διαστάσεις [C/m ²])	38
2.4 Γραμμική πυκνότητα φορτίου (σύμβολο λ , διαστάσεις [C/m])	38
2.5 Παραδείγματα	39
3. Ηλεκτρικό ρεύμα - πυκνότητα ηλεκτρικού ρεύματος	40
3.1 Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος (σύμβολα: $i(t), I$. Διαστάσεις [A])	40
3.2 Χωρική πυκνότητα ηλεκτρικού ρεύματος (σύμβολο $\vec{J}(\vec{r}, t)$. Διαστάσεις [A/m ²])	41
3.3 Φύση του ηλεκτρικού ρεύματος. Ρεύματα αγωγιμότητας και ρεύματα μεταφοράς	43
3.4 Συσχέτιση των πυκνοτήτων φορτίου και ρεύματος - η εξίσωση συνέχειας	44
3.5 Επιφανειακή πυκνότητα ρεύματος (σύμβολο \vec{K} , διαστάσεις [A/m])	46
3.6 Γραμμικά ηλεκτρικά ρεύματα (σύμβολο i , διαστάσεις [A])	47

3.7 Η εξίσωση συνεχείας: Γενίευση	48
3.8 Παραδείγματα	51
3.9 Επιβαλλόμενες πηγές και επαγόμενες πηγές	59
3.10 Ισοδύναμες πηγές - Μαγνητικά φορτία και Μαγνητικά ρεύματα	60
4. Ανασκόπηση των φάσεων της ιστορικής εξέλιξης του ηλεκτρομαγνητισμού	61
5. Ορισμός της εντάσεως του ηλεκτρικού πεδίου και βασικές σχέσεις	62
5.1 Ο νόμος του Coulomb	62
5.2 Ηλεκτροστατικό Πεδίο	64
5.3 Αναλυτικές ιδιότητες του πεδίου \vec{E} αυθαίρετης χωρικής κατανομής [εξ.(5)]	73
5.4 Νόμοι του ηλεκτροστατικού πεδίου	76
5.5 Δυναμικές γραμμές	81
5.6 Ισοδυναμικές επιφάνειες	85
6. Μαγνητοστατικό πεδίο	87
6.1 Μαγνητική δύναμη-ορισμός της μαγνητικής επαγωγής	87
6.2 Νόμοι του μαγνητοστατικού πεδίου	96
7. Νόμος επαγωγής του Faraday	102
7.1 Γενικά	102
7.2 Επαγόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη (emf) σε αγωγίμο ρευματοφόρο βρόχο	102
7.3 Παραδείγματα ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων	103
7.4 Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή - νόμος του Faraday	110
7.5 Γενικευμένος νόμος των Maxwell - Faraday	112
8. Γενίευση του νόμου του Ampere: εξίσωση Ampere-Maxwell	112
9. Τα διανύσματα \vec{D} και \vec{H} - Συντακτικές σχέσεις	115
9.1 Ορισμός του διανύσματος \vec{D}	115
9.2 Ορισμός του διανύσματος \vec{H}	115
9.3 Συντακτικές σχέσεις	116
9.4 Διηλεκτρικά και μαγνητικά υλικά. Πόλωση (\vec{P}) και μαγνήτιση (\vec{M}) των υλικών	118
Παράρτημα: Απόδειξη της σχέσης (65) της Ενότητας 5.4	120

Κεφάλαιο 2: Εξισώσεις MAXWELL

123

1. Σύνοψη των νόμων του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου	123
1.1 Εξίσωση συνεχείας (αρχή διατηρήσεως του ηλεκτρικού φορτίου)	123
1.2 Εξίσωση του Lorentz για την HM δύναμη - Πεδιακά μεγέθη \vec{E} και \vec{B}	123
1.3 Πεδιακά μεγέθη \vec{D} και \vec{H}	124
1.4 Εξισώσεις Maxwell σε ολοκληρωτική μορφή	125
2. Αλληλεξάρτηση των εξισώσεων Maxwell σε ολοκληρωτική μορφή	126
3. Εξισώσεις Maxwell σε διαφορική μορφή	128
4. Αλληλεξάρτηση των εξισώσεων Maxwell	131
5. Σχόλια πάνω στις εξισώσεις Maxwell	132
6. Συντακτικές σχέσεις	134
6.1 Ομοιογενή και ανομοιογενή μέσα	137
6.2 Γραμμικά και μη γραμμικά μέσα	137
6.3 Αγωγοί-Συντακτική σχέση για αγωγούς	137
7. Οριακές συνθήκες του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου	145
7.1 Οριακή συνθήκη για την κάθετη συνιστώσα του \vec{D}	146
7.2 Οριακή συνθήκη για την κάθετη συνιστώσα του \vec{B}	147
7.3 Οριακή συνθήκη για την κάθετη συνιστώσα του \vec{J}	147
7.4 Οριακή συνθήκη για τις εφαπτομενικές συνιστώσες του \vec{E}	148
7.5 Οριακή συνθήκη για τις εφαπτομενικές συνιστώσες του \vec{H}	149
7.6 Αλληλεξάρτηση των οριακών συνθηκών	150

7.7 Οριακές συνθήκες σε ιδιόμορφα σημεία διαχωριστικών επιφανειών	151
8. Θεώρημα μοναδικότητας των λύσεων των προβλημάτων οριακών συνθηκών του ΗΜ πεδίου.....	152
9. Η κυματική φύση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων	155
10. Εξισώσεις Maxwell για μονοχρωματικά πεδία [ανάλυση στην Ημιτονική Μόνιμη Κατάσταση (ΗΜΚ)].....	156
10.1 Γενικά	156
10.2 Παραστατικοί μιγαδικοί αριθμοί ημιτονοειδώς μεταβαλλομένων μεγεθών	156
10.3 Ιδιότητες του τελεστή $\text{Re} \{ \dot{a}e^{j\omega t} \}$	157
10.4 Μετασχηματισμός των πεδειακών εξισώσεων με χρήση φασιθετών	157
10.5 Γενίκευση: Εξισώσεις Maxwell για αυθαίρετη χρονική μεταβολή - ανάλυση στο πεδίο της συχνότητας	159
10.6 Συντακτικές σχέσεις	160
11. Θεώρημα μοναδικότητας στην ημιτονική μόνιμη κατάσταση.....	164
12. Θεώρημα της αντιστοιχίας (αμοιβαιότητας).....	166
13. Πόλωση μονοχρωματικών πεδίων	169
14. Τα ηλεκτρομαγνητικά δυναμικά	173
14.1 Η μέθοδος των δυναμικών \bar{A} και ϕ	174
14.2 Η μέθοδος του διανυσματικού δυναμικού για μονοχρωματικά πεδία.....	177
14.3 Περιοχές χωρίς πηγές: Αναπαράσταση του πεδίου μέσω δύο βαθμωτών συναρτήσεων.....	177
14.4 Οριακές συνθήκες για τα δυναμικά \bar{A} και ϕ	179

Κεφάλαιο 3: Παραδείγματα Εφαρμογής των Εξισώσεων Maxwell στον Υπολογισμό Χρονοσταθερών Πεδίων 183

1. Γενικά.....	183
2. Ηλεκτροστατικό πεδίο σφαιρικά συμμετρικών χρονοσταθερών πηγών	183
3. Ηλεκτροστατικό πεδίο κυλινδρικά συμμετρικών χρονοσταθερών πηγών	190
4. Ηλεκτροστατικό πεδίο απεράντων επιπέδων κατανομών	197
5. Μαγνητοστατικό πεδίο κυλινδρικά συμμετρικών χρονοσταθερών ρευμάτων	202
6. Μαγνητοστατικό πεδίο απεράντων επιπέδων ρευματικών κατανομών.....	209
7. Σωληνοειδές πηνίο απείρου μήκους	214
8. Ηλεκτρομαγνητοστατικό πεδίο ρευματοφόρου αγωγού.....	216
9. Άλλα παραδείγματα	219

Κεφάλαιο 4: Εφαρμογή των Εξισώσεων MAXWELL στον Υπολογισμό Χρονομεταβλητών Πεδίων 223

1. Γενικά.....	223
2. Λύση των κυματικών εξισώσεων	228
3. Ηλεκτρομαγνητικό πεδίο στοιχειώδους ηλεκτρικού διπόλου	237
4. Ηλεκτρομαγνητικό πεδίο στοιχειώδους κυκλικού θρόχου - Στοιχειώδες μαγνητικό δίπολο	240
5. Ηλεκτρομαγνητικό πεδίο απεράντου ρευματοφόρου επιπέδου - οδεύοντα επίπεδα κύματα	242
6. Στάσιμα κύματα	252
7. Διάδοση επιπέδων κυμάτων σε αγωγούς - Επιδερμικό φαινόμενο - Κυματομάδες	254
7.1 Γενικά	254
7.2 Εκφράσεις της σταθεράς διαδόσεως δ και της σταθεράς αποσβέσεως α	255
7.3 Εσωτερική σύνθετη αντίσταση καλού αγωγού.....	258
7.4 Κυματομάδες - Ομαδική ταχύτητα	259
8. Γραμμή μεταφοράς	265
8.1 Γενικά	265
8.2 Σχέσεις μεταξύ τάσεως και ρεύματος - Εξισώσεις γραμμής μεταφοράς	268
8.3 Λύση των εξισώσεων - Σύνθετη αντίσταση γραμμής	272
9. Ανάκλαση επιπέδου κύματος από τέλεια αγωγήμη επίπεδη επιφάνεια	275
9.1 Κάθετη πρόσπτωση	275
9.2 Πλαγία πρόσπτωση.....	277
10. Ανάκλαση επιπέδου κύματος από επίπεδη διηλεκτρική επιφάνεια	285
10.1 Κάθετη πρόσπτωση	285
10.2 Πλαγία πρόσπτωση.....	287
11. Ανάκλαση επιπέδου κύματος από πολυστρωματικό διηλεκτρικό	292

12. Ο κυματοδηγός παραλλήλων πλακών ως πρόβλημα οριακών συνθηκών	298
12.1 Γενικά	298
12.2 TE ρυθμοί	299
12.3 TM ρυθμοί	301
13. Ορθογωνικός κυματοδηγός	303
13.1 Γενικές σχέσεις	304
13.2 TM ρυθμοί	306
13.3 TE ρυθμοί	308
13.4 Διαδιδόμενοι ρυθμοί - Αποσβεννύμενοι ρυθμοί - Συχνότητες αποκοπής	309
14. Ορθογωνικές κοιλότητες	312
14.1 TM ρυθμοί	312
14.2 TE ρυθμοί	315
15. Επίπεδοι διηλεκτρικοί κυματοδηγοί	317
15.1 Γενικά	317
15.2 Αρχή λειτουργίας	317
15.3 TE και TM ρυθμοί σε γειωμένη διηλεκτρική πλάκα	318
15.4 Πολυστρωματικοί διηλεκτρικοί κυματοδηγοί. Εφαρμογή της μεθόδου της σύνθετης αντίστασης	326
16. Ηλεκτρομαγνητικά πεδία σε κυλινδρικές διατάξεις	329
16.1 Γενικά	329
16.2 Λύση της εξίσωσης Helmholtz σε κυλινδρικές συντεταγμένες	330
16.3 Πεδίο απέραντης ευθύγραμμης ρευματικής κατανομής	335
16.4 Πεδίο απέραντης κυλινδρικής επιφανειακής κατανομής $\vec{K} = \hat{z}K_z$	339
16.5 Πεδίο - σε διαχωρισμένη μορφή - απέραντης γραμμικής πηγής παράλληλης στον άξονα z. Απόδειξη της (36)	342
16.6 Πεδίο απέραντης επιφανειακής κυλινδρικής κατανομής $\vec{K} = \hat{\phi}K_\phi$	343
16.7 Κυλινδρικοί μεταλλικοί κυματοδηγοί κυκλικής διατομής	345
16.8 Κυλινδρική κοιλότητα	349

Κεφάλαιο 5: Ηλεκτρομαγνητική Ενέργεια και Ισχύς 353

1. Γενικά	353
2. Ροή και διατήρηση της ενέργειας	353
3. Διατύπωση του θεωρήματος Poynting με χρήση πεδιακών μεγεθών	356
3.1 Έκφραση της $p_{\text{ΜΕΤ}}$	356
3.2 Εκφράσεις των \vec{N} και w	356
4. Διατύπωση του θεωρήματος Poynting στην ημιτονική μόνιμη κατάσταση	366

Κεφάλαιο 6: Ηλεκτρομαγνητικές Δυνάμεις 381

1. Η εξίσωση Lorentz για τις ΗΜ δυνάμεις	381
2. Υπολογισμός ηλεκτροστατικών δυνάμεων με χρήση της ενέργειας	388
3. Υπολογισμός μαγνητοστατικών δυνάμεων με χρήση της ενέργειας	392
4. Υπολογισμός δυνάμεων μέσω ηλεκτρομαγνητικών πιέσεων	397
5. Εφαρμογή της εξίσωσης Lorentz στην μελέτη της κίνησης φορτισμένων σωματιδίων εντός ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων	410
5.1 Έργο παραγόμενο από την ηλεκτρομαγνητική δύναμη	410
5.2 Κίνηση σημειακού ηλεκτρικού φορτίου εντός ομοιομόρφου ηλεκτροστατικού πεδίου	411
5.3 Κίνηση σημειακού ηλεκτρικού φορτίου εντός ομοιομόρφου μαγνητοστατικού πεδίου	412
5.4 Κίνηση σε διασταυρούμενα ομοιόμορφα ηλεκτροστατικά και μαγνητοστατικά πεδία	416

Κεφάλαιο 7: Ημιστατική-Προσέγγιση Χαμηλών Συχνοτήτων 419

1. Γενικά	419
2. Επαναληπτική διαδικασία υπολογισμού του πεδίου	425
3. Η ημιστατική ως σύνδεσμος μεταξύ του ηλεκτρομαγνητισμού και της θεωρίας κυκλωμάτων	434
3.1 Πυκνωτής	434
3.2 Επαγωγέας (πηνίο)	442
3.3 Αντιστάτης	445

Κεφάλαιο 8: Ηλεκτροστατικά Πεδία	453
1. Εισαγωγή	453
2. Το ηλεκτροστατικό δυναμικό	453
2.1 Ιδιότητες του δυναμικού (εξίσωσης Laplace)	455
3. Υπολογισμός του δυναμικού σε βασικές κατανομές φορτίων γνωστές σε όλο το χώρο	458
3.1 Υπολογισμός δυναμικού σημειακού φορτίου q τοποθετημένου στην αρχή συστήματος σφαιρικών συντεταγμένων	458
3.2 Υπολογισμός δυναμικού γραμμικού φορτίου κατανεμημένου κατά μήκος του άξονα z ($-\infty < z < \infty$) με σταθερή πυκνότητα λ	458
3.3 Υπολογισμός δυναμικού επιφανειακής κατανομής φορτίου με σταθερή πυκνότητα σ , τοποθετημένου στο απέραντο επίπεδο με $z=0$	459
4. Η αρχή της επαλληλίας (υπέρθωσης)	459
5. Το ηλεκτρικό δίπολο	465
6. Το ομοιόμορφο διπολικό στρώμα	467
7. Τα ηλεκτρικά πολύπολα	468
8. Προβλήματα με οριακές συνθήκες	470
8.1 Θεώρημα μοναδικότητας	472
8.2 Γενικότερη διατύπωση του θεωρήματος μοναδικότητας	472
8.3 Οριακές συνθήκες για το δυναμικό	473
9. Η μέθοδος των ειδώλων (μέθοδος κατοπτρισμού)	478
9.1 Σημειακό φορτίο επάνω από απέραντο αγωγίμο επίπεδο	479
9.2 Σημειακό φορτίο στο εσωτερικό δίεδρης γωνίας μεταξύ δύο αγωγίμων επιπέδων	480
9.3 Σημειακό φορτίο έξω από αγωγήμη σφαίρα	481
9.4 Γραμμικό φορτίο παράλληλο σε αγωγίμο κύλινδρο	483
9.5 Εφαρμογή: Χωρητικότητα ανά μονάδα μήκους γραμμής δύο παράλληλων κυλινδρικών αγωγών με ίσες ακτίνες	485
10. Ενέργεια στο ηλεκτροστατικό πεδίο	486
10.1 Ηλεκτροστατική ενέργεια σε πεδίο σημειακών και κατανεμημένων φορτίων	486
10.2 Άλλος τρόπος υπολογισμού της ηλεκτροστατικής ενέργειας σε συνεχείς κατανομές φορτίων	487
10.3 Ηλεκτροστατική ενέργεια συστήματος φορτισμένων αγωγών	488
10.4 Παραδείγματα	489
11. Θεώρημα Thomson (ή θεώρημα της ελάχιστης ενέργειας)	492
12. Θεώρημα αντιστοιχίας (αμοιβαιότητας) του Green	493
13. Πυκνωτές – χωρητικότητα	496
14. Συστήματα χωρητικότητας	497
14.1 Συντελεστές δυναμικού - Ιδιότητες των συντελεστών δυναμικού p_{ij}	497
14.2 Συντελεστές χωρητικότητας και συντελεστές επαγωγής - Ιδιότητες των συντελεστών c_{ij}	499
14.3 Μερικές χωρητικότητες	500
14.5 Ηλεκτροστατική ενέργεια συστήματος φορτισμένων αγωγών	501
14.6 Παραδείγματα	501
14.4 Χωρητικότητα λειτουργίας	501
15. Αριθμητικές μέθοδοι	505
15.1 Μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών	505
15.2 Μέθοδος των ροπών (moment method)	511
Κεφάλαιο 9: Διηλεκτρικά Υλικά	517
1. Εισαγωγή	517
2. Ηλεκτρονική πόλωση	517
3. Ιοντική πόλωση	519
4. Πόλωση προσανατολισμού	520
5. Πόλωση διηλεκτρικών υλικών – Φορτία πόλωσης	521
5.1 Μοντέλο φορτίων πόλωσης	524
6. Οι πεδιακές εξισώσεις στα διηλεκτρικά υλικά	525

6.1 Οι εξισώσεις για το \vec{E}	525
6.2 Οι εξισώσεις για το \vec{D}	526
6.3 Η πόλωση και η επιτρεπτότητα στα συνηθισμένα διηλεκτρικά υλικά	527
6.4 Εξάρτηση της επιτρεπτότητας από τη συχνότητα	527
6.5 Οι πεδιακές εξισώσεις στα συνηθισμένα διηλεκτρικά υλικά	528
6.6 Παραδείγματα	529
7. Θεώρημα μοναδικότητας – Γενικεύσεις	542
7.1 Παραδείγματα	546
8. Η μέθοδος των ειδώλων	550
8.1 Σημειακό φορτίο επάνω από επίπεδη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ δύο διηλεκτρικών υλικών	550
8.2 Γραμμικό φορτίο παράλληλο σε απέραντο διηλεκτρικό κύλινδρο	551
8.3 Γραμμικό φορτίο στο εσωτερικό διηλεκτρικού κυλίνδρου	553
8.4 Παραδείγματα	555
9. Δυνάμεις στα διηλεκτρικά υλικά	557
9.1 Παραδείγματα	558
10. Διηλεκτρική αντοχή	560
11. Σιδηροηλεκτρικά (ferroelectric) υλικά	560
12. Ηλεκτροσυστολή-Πιεζοηλεκτρισμός-Πυροηλεκτρισμός	561
13. Το τοπικό ηλεκτρικό πεδίο (local field)	562
14. Το ρεύμα πόλωσης	564

Κεφάλαιο 10: Μόνιμα Ηλεκτρικά Πεδία - Αγωγοί 565

1. Εισαγωγή	565
2. Ο νόμος του Ohm – μικροσκοπική μορφή	565
2.1 Εξάρτηση της ειδικής αγωγιμότητας και της ειδικής αντίστασης από τη θερμοκρασία	567
3. Αναλογίες μεταξύ μόνιμων ηλεκτρικών και ηλεκτροστατικών πεδίων	569
4. Ο νόμος του Ohm – Ηλεκτρική αντίσταση	571
4.1 Παραδείγματα	573
5. Σχέση αντίστασης – χωρητικότητας	578
6. Συντελεστές αντίστασης και συντελεστές αγωγιμότητας	581
7. Ο νόμος του Joule	583
8. Σημειακές, γραμμικές και επιφανειακές ρευματικές πηγές	584
9. Η αρχή της επαλληλίας	585
10. Η μέθοδος των ειδώλων	585
10.1 Σημειακή πηγή επάνω από επίπεδη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ δύο αγωγικών υλικών	585
10.2 Γραμμική πηγή παράλληλη σε απέραντο αγωγικό κύλινδρο	588
10.3 Γραμμική πηγή στο εσωτερικό αγωγικού κυλίνδρου	590
11. Ηλεκτρικά φορτία στα μόνιμα ηλεκτρικά πεδία	592
12. Γειωτές	595
12.1 Σφαιρικός γειωτής	596
12.2 Ημισφαιρικός γειωτής	598
12.3 Σφαιροειδής γειωτής	599
12.4 Ημισφαιροειδής γειωτής	600
12.5 Σωληνωτός γειωτής	601

Κεφάλαιο 11: Μαγνητοστατικά Πεδία 603

1. Εισαγωγή	603
2. Το διανυσματικό δυναμικό	603
2.1 Η διανυσματική εξίσωση Poisson και η λύση της	604
2.2 Υπολογισμός της μαγνητικής ροής με χρήση του διανυσματικού δυναμικού	607
2.3 Οριακές συνθήκες για το διανυσματικό δυναμικό	613
2.4 Διανυσματικό δυναμικό διοδιάστατων ρευματικών κατανομών	613
3. Ο νόμος των Biot – Savart	615

4. Το μαγνητικό δίπολο	621
5. Μαγνητική διπολική ροπή ρευματικών κατανομών	623
6. Το βαθμωτό μαγνητικό δυναμικό	625
6.1 Το βαθμωτό μαγνητικό δυναμικό είναι πλειότιμη συνάρτηση	625
6.2 Επιφάνεια ασυνέχειας του βαθμωτού μαγνητικού δυναμικού	626
6.4 Υπολογισμός της έντασης του μαγνητικού πεδίου ρευματοφόρου βρόχου	627
6.5 Οριακές συνθήκες για το βαθμωτό μαγνητικό δυναμικό	628
7. Η μέθοδος των ειδώλων	632
7.1 Ευθύγραμμος αγωγός επάνω από την επίπεδη επιφάνεια υλικού άπειρης μαγνητικής διαπερατότητας	632
7.2 Ευθύγραμμος αγωγός επάνω από τέλεια αγώγιμο επίπεδο	634
7.3 Ευθύγραμμος αγωγός παράλληλος σε κύλινδρο άπειρης διαπερατότητας	635
7.4 Ευθύγραμμος αγωγός παράλληλος σε τέλεια αγώγιμο κύλινδρο	636
7.5 Ευθύγραμμος αγωγός στο εσωτερικό κυλινδρικής κοιλότητας	637
7.6 Γραμμή δύο παράλληλων, τέλεια αγώγιμων κυλίνδρων, με ίσες ακτίνες και αντίθετα ρεύματα	638
8. Αυτεπαγωγή - Αλληλεπαγωγή	638
8.1 Αυτεπαγωγή	638
8.2 Αλληλεπαγωγή (Αμοιβαία επαγωγή)	643
9. Ενέργεια στο μαγνητοστατικό πεδίο	647
9.1 Μαγνητοστατική ενέργεια σε συστήματα νηματοειδών βρόχων ή πηνίων	648
9.2 Μαγνητοστατική ενέργεια σε σύστημα δύο βρόχων από αγωγούς πεπερασμένης διατομής	649
9.2.1 Εναλλακτικές εκφράσεις για την ενέργεια και τους συντελεστές αυτεπαγωγής και αλληλεπαγωγής	650
9.3 Σχέση μεταξύ των συντελεστών αυτεπαγωγής και αλληλεπαγωγής σε σύστημα δύο βρόχων (πηνίων)	651
Κεφάλαιο 12: Μαγνητικά Υλικά	653
1. Εισαγωγή	653
2. Διαμαγνητισμός	654
3. Παραμαγνητισμός	656
4. Σιδηρομαγνητισμός	658
4.1 Ο βρόχος μαγνητικής υστέρησης	660
4.2 Μαλακά και σκληρά σιδηρομαγνητικά υλικά	661
4.3 Μόνιμοι μαγνήτες	663
4.4 Απομαγνήτιση	664
5. Αντισιδηρομαγνητισμός	664
6. Σιδηρομαγνητισμός	664
7. Μαγνήτιση – Μαγνητικά ρεύματα και φορτία	665
7.1 Μοντέλο ρευμάτων μαγνήτισης	667
7.2 Μοντέλο μαγνητικών φορτίων	669
8. Οι πεδιακές εξισώσεις στα μαγνητικά υλικά	671
8.1 Μοντέλο ρευμάτων μαγνήτισης	671
8.1.1 Οι εξισώσεις για το \vec{B}	671
8.1.2 Οι εξισώσεις για το \vec{H}	672
8.1.3 Η μαγνήτιση και η μαγνητική διαπερατότητα στα συνηθισμένα μαγνητικά υλικά	673
8.1.4 Εξάρτηση της μαγνητικής δεκτικότητας από τη θερμοκρασία	675
8.1.5 Οι πεδιακές εξισώσεις στα συνηθισμένα μαγνητικά υλικά	676
8.2 Μοντέλο μαγνητικών φορτίων	677
9. Η μέθοδος των ειδώλων	695
9.1 Ευθύγραμμος αγωγός επάνω από επίπεδη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ δύο μαγνητικών υλικών	695
9.2 Ευθύγραμμος αγωγός παράλληλος σε απέραντο κύλινδρο από μαγνητικό υλικό	696
9.3 Ευθύγραμμος αγωγός στο εσωτερικό κυλίνδρου από μαγνητικό υλικό	696
10. Δυνάμεις στα μαγνητικά υλικά	697
11. Το τοπικό μαγνητικό πεδίο (local field)	700
12. Το ρεύμα των μαγνητικών φορτίων	701

Κεφάλαιο 13: Μαγνητικά Κυκλώματα	703
1. Γενικά	703
2. Αναλογίες μεταξύ ηλεκτρικών και μαγνητικών κυκλωμάτων	706
3. Το κυκλωματικό πρότυπο των μαγνητικών κυκλωμάτων	710
4. Διαφορές μεταξύ ηλεκτρικών και μαγνητικών κυκλωμάτων	712
5. Ανάλυση γραμμικών και μη γραμμικών μαγνητικών κυκλωμάτων	715
5.1 Οι νόμοι του Kirchhoff για τα μαγνητικά κυκλώματα	715
5.2 Διατύπωση του προβλήματος ανάλυσης των μαγνητικών κυκλωμάτων	716
5.3 Παράδειγματα	717
6. Μαγνητικά κυκλώματα μόνιμων μαγνητών	729
Κεφάλαιο 14: Λύση της εξίσωσης Laplace με τη μέθοδο χωρισμού των μεταβλητών	731
1. Εισαγωγή	731
Α. Καρτεσιανές συντεταγμένες	731
Β. Κυλινδρικές συντεταγμένες	756
Γ. Σφαιρικές συντεταγμένες	803
Ασκήσεις	833
Κεφάλαιο 1	833
Κεφάλαιο 2	837
Κεφάλαιο 3	839
Κεφάλαιο 4	842
Κεφάλαιο 5	848
Κεφάλαιο 6	850
Κεφάλαιο 7	855
Κεφάλαιο 8	859
Κεφάλαιο 9	864
Κεφάλαιο 10	869
Κεφάλαιο 11	875
Κεφάλαιο 12	880
Κεφάλαιο 13	886
Κεφάλαιο 14	889
Πίνακες συντεταγμένων	897
Βιβλιογραφία	902
Ευρετήριο	904