

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### 1 Το Ηλεκτρομαγνητικό Πρότυπο ..... 15

- 1-1 Εισαγωγή, 15
- 1-2 Το Ηλεκτρομαγνητικό Πρότυπο, 17
- 1-3 Μονάδες SI και Παγκόσμιες Σταθερές, 22
  - Ερωτήσεις Επανάληψης, 24

### 2 Διανυσματική Ανάλυση ..... 25

- 2-1 Εισαγωγή, 25
- 2-2 Πρόσθεση και Αφαίρεση Διανυσμάτων, 26
- 2-3 Γινόμενα Διανυσμάτων, 28
  - 2-3.1 Βαθμωτό ή Εσωτερικό Γινόμενο, 28
  - 2-3.2 Διανυσματικό ή Εξωτερικό γινόμενο, 31
  - 2-3.3 Γινόμενο Τριών Διανυσμάτων, 32
- 2-4 Ορθογώνια Καμπυλόγραμμα Συστήματα, 34
  - 2-4.1 Καρτεσιανές Συντεταγμένες, 38
  - 2-4.2 Κυλινδρικές Συντεταγμένες, 42
  - 2-5.2 Σφαιρικές Συντεταγμένες, 46
- 2-5 Ολοκληρώματα Διανυσματικών Συναρτήσεων, 51
- 2-6 Κλίση Βαθμωτού Πεδίου, 57
- 2-7 Απόκλιση Διανυσματικού Πεδίου, 61
- 2-8 Θεώρημα Απόκλισης, 66
- 2-9 Περιστροφή Διανυσματικού Πεδίου, 69
- 2-10 Θεώρημα Stokes, 74
- 2-11 Δύο Μηδενικές Ταυτότητες, 76
  - 2-11.1 Ταυτότητα I, 76
  - 2-11.2 Ταυτότητα II, 77
- 2-12 Θεώρημα Helmholtz, 78
  - Ερωτήσεις Επανάληψης, 82

Προβλήματα, 82

### **3 Στατικά Ηλεκτρικά Πεδία ..... 87**

- 3-1 Εισαγωγή, 87
- 3-2 Θεμελιώδη Αξιώματα της Ηλεκτροστατικής στο Κενό, 89
- 3-3 Ο Νόμος του Coulomb, 92
  - 3-3.1 Ηλεκτρικό Πεδίο από Σύστημα Διακριτών Φορτίων, 97
  - 3-3.2 Ηλεκτρικό Πεδίο από Συνεχή Κατανομή Φορτίου, 99
- 3-4 Νόμος Gauss και Εφαρμογές, 101
- 3-5 Ηλεκτρικό Δυναμικό, 106
  - 3-5.1 Ηλεκτρικό Δυναμικό από Κατανομές Φορτίου, 108
- 3-6 Αγωγοί σε Στατικά Ηλεκτρικά Πεδία, 115
- 3-7 Διηλεκτρικά σε Στατικά Ηλεκτρικά Πεδία, 119
  - 3-7.1 Ισοδύναμες Κατανομές Φορτίου για Πολώμένα Διηλεκτρικά, 120
- 3-8 Πυκνότητα Ηλεκτρικής Ροής και Διηλεκτρική Σταθερά, 123
  - 3-8.1 Διηλεκτρική Δύναμη, 127
- 3-9 Συνοριακές Συνθήκες για Ηλεκτροστατικά Πεδία, 129
- 3-10 Χωρητικότητα και Πυκνωτές, 135
  - 3-10.1 Πυκνωτές σε Σειρά και Παράλληλα, 139
  - 3-10.2 Χωρητικότητες σε Συστήματα Πολλαπλών Αγωγών, 142
  - 3-10.3 Ηλεκτροστατική Θωράκιση, 146
- 3-11 Ηλεκτροστατική Ενέργεια και Δυνάμεις, 146
  - 3-11.1 Ηλεκτροστατική Ενέργεια και Πεδιακές Ποσότητες, 150
  - 3-11.2 Ηλεκτροστατικές Δυνάμεις, 153
- Ερωτήσεις Επανάληψης, 156
- Προβλήματα, 157

### **4 Επίλυση Ηλεκτροστατικών Προβλημάτων ..... 164**

- 4-1 Εισαγωγή, 164
- 4-2 Εξισώσεις Poisson και Laplace, 165
- 4-3 Μοναδικότητα των Ηλεκτροστατικών Λύσεων, 150
- 4-4 Μέθοδος των Ειδώλων, 171
  - 4-4.1 Σημειακό Φορτίο και Αγωγή Επίπεδα, 173
  - 4-4.2 Γραμμικό Φορτίο και Παράλληλος Αγωγίμος Κύλινδρος, 175
  - 4-4.3 Σημειακό Φορτίο και Αγωγή Σφαίρα, 182
  - 4-4.4 Φορτισμένη Σφαίρα και Γειωμένο Επίπεδο, 185
- 4-5 Προβλήματα Συνοριακών Τιμών σε Καρτεσιανές Συντεταγμένες, 186
- 4-6 Προβλήματα Συνοριακών Τιμών σε Κυλινδρικές Συντεταγμένες, 195

4.7 Προβλήματα Συνοριακών Τιμών σε Σφαιρικές Συντεταγμένες, 200	
Ερωτήσεις Επανάληψης, 205	
Προβλήματα, 206	
<b>5 Στατικά Ηλεκτρικά Ρεύματα</b> .....	<b>210</b>
5-1 Εισαγωγή, 210	
5-2 Πυκνότητα Ρεύματος και Νόμος του Ohm, 211	
5-3 Ηλεκτρεγερτική Δύναμη και ο Νόμος Τάσεων Kirchhoff, 217	
5-4 Εξίσωση Συνέχειας και ο Νόμος Ρευμάτων Kirchhoff, 220	
5-5 Κατανάλωση Ισχύος και Νόμος του Joule, 221	
5-6 Συνοριακές Συνθήκες για την Πυκνότητα Ρεύματος, 222	
5-7 Υπολογισμοί Αντιστάσεων, 226	
Ερωτήσεις Επανάληψης, 230	
Προβλήματα, 230	
<b>6 Στατικά Μαγνητικά Πεδία</b> .....	<b>235</b>
6-1 Εισαγωγή, 235	
6-2 Θεμελιώδη Αξιώματα της Μαγνητοστατικής στον Ελεύθερο Χώρο, 236	
6-3 Διανυσματικό Μαγνητικό Δυναμικό, 242	
6-4 Νόμος Biot-Savart και Εφαρμογές, 244	
6-5 Το Μαγνητικό Δίπολο, 248	
6-5.1 Βαθμωτό Μαγνητικό Δυναμικό, 252	
6-6 Μαγνήτιση και Ισοδύναμες Ρευματικές Πυκνότητες, 253	
6-6.1 Ισοδύναμες Πυκνότητες Φορτίου Μαγνήτισης, 257	
6-7 Ένταση Μαγνητικού Πεδίου και Σχετική Διαπερατότητα, 259	
6-8 Μαγνητικά Κυκλώματα, 261	
6-9 Συμπεριφορά των Μαγνητικών Υλικών	
6-10 Συνοριακές Συνθήκες για Μαγνητοστατικά Πεδία, 272	
6-11 Επαγωγές και Πηνία, 277	
6-12 Μαγνητική Ενέργεια, 287	
6-12.1 Μαγνητική Ενέργεια σε Όρους Πεδιακών Ποσοτήτων, 289	
6-13 Μαγνητικές Δυνάμεις και Ροπές, 292	
6-13.1 Φαινόμενο Hall, 292	
6-13.2 Δυνάμεις και Ροπές σε Ρευματοφόρους Αγωγούς, 293	
6-13.3 Δυνάμεις και Ροπές σε Όρους Αποθηκευμένης Μαγνητικής Ενέργειας, 299	
6-13.4 Δυνάμεις και Ροπές σε Όρους Αμοιβαίας Επαγωγής, 302	
Ερωτήσεις Επανάληψης, 304	
Προβλήματα, 305	

## **7 Χρονομεταβλητά Πεδία και Εξισώσεις Maxwell ..... 317**

- 7-1 Εισαγωγή, 317
- 7-2 Ο Νόμος του Faraday για την Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή, 319
  - 7-2.1 Στατικό Κύκλωμα σε Χρονομεταβλητό Μαγνητικό Πεδίο, 319
  - 7-2.2 Μετασχηματιστές, 320
  - 7-2.3 Κινούμενος Αγωγός σε Στατικό Μαγνητικό Πεδίο, 324
  - 7-2.4 Κινούμενο Κύκλωμα σε Χρονομεταβλητό Πεδίο, 326
- 7-3 Οι Εξισώσεις του Maxwell, 331
  - 7-3.1 Ολοκληρωτική Μορφή των Εξισώσεων του Maxwell, 332
- 7-4 Συναρτήσεις Δυναμικού, 335
- 7-5 Ηλεκτρομαγνητικές Συνοριακές Συνθήκες, 338
  - 7-5.1 Διαχωριστική Επιφάνεια Δύο Αναπωλειακών Γραμμικών Μέσων, 340
  - 7-5.2 Διαχωριστική Επιφάνεια Μεταξύ Ενός Διηλεκτρικού και Ενός Τέλειου Αγωγού, 340
- 7-6 Οι Κυματικές Εξισώσεις και οι Λύσεις τους, 341
  - 7-6.1 Επίλυση των Κυματικών Εξισώσεων για Δυναμικά, 342
  - 7-6.2 Κυματικές Εξισώσεις Χωρίς Πηγές, 343
- 7-7 Πεδία Αρμονικά στο Χρόνο (Χρονο-Αρμονικά), 344
  - 7-7.1 Η Χρήση Φασιδεικτών – Επανάληψη, 345
  - 7-7.2 Χρονο -Αρμονικός Ηλεκτρομαγνητισμός, 347
  - 7-7.3 Πεδία Χωρίς Πηγές σε Απλά Μέσα, 349
  - 7-7.4 Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα, 352
- Ερωτήσεις Επανάληψης, 354
- Προβλήματα, 355

## **8 Επίπεδα Ηλεκτρομαγνητικά Κύματα ..... 362**

- 8-1 Εισαγωγή, 362
- 8-2 Επίπεδα Κύματα σε Μέσα Χωρίς Απώλειες, 363
  - 8-2.1 Το Φαινόμενο Doppler, 368
  - 8-2.2 Εγκάρσια Ηλεκτρομαγνητικά Κύματα, 369
  - 8-2.3 Πόλωση Επιπέδων Κυμάτων, 372
- 8-3 Επίπεδα Κύματα σε Μέσα Με Απώλειες, 375
  - 8-3.1 Διηλεκτρικά Χαμηλών Απωλειών, 376
  - 8-3.2 Καλοί Αγωγοί, 377
  - 8-3.3 Ιονισμένα Αέρια, 381
- 8-4 Ταχύτητα Ομάδας, 383
- 8-5 Ροή Ηλεκτρομαγνητικής Ισχύος και Διάνυσμα Poynting, 387
  - 8-5.1 Στιγμιαίες και Μέσες Πυκνότητες Ισχύος, 390

- 8-6 Κάθετη Πρόσπτωση σε Επίπεδο Αγώγιμο Σύνορο, 394
- 8-7 Πλάγια Πρόσπτωση σε Επίπεδο Αγώγιμο Σύνορο, 398
  - 8-7.1 Κάθετη Πόλωση, 399
  - 8-7.2 Παράλληλη Πόλωση, 403
- 8-8 Κάθετη Πρόσπτωση σε Επίπεδο Διηλεκτρικό Σύνορο, 405
- 8-9 Κάθετη Πρόσπτωση σε Πολλαπλές Διηλεκτρικές Διεπαφές, 409
  - 8-9.1 Κυματική Εμπέδηση του Συνολικού Πεδίου, 411
  - 8-9.2 Μετασχηματισμός Εμπέδησης με Πολλαπλά Διηλεκτρικά, 413
- 8-10 Πλάγια Πρόσπτωση σε Επίπεδο Διηλεκτρικό Σύνορο, 415
  - 8-10.1 Ολική Ανάκλαση, 416
  - 8-10.2 Κάθετη Πόλωση, 420
  - 8-10.3 Παράλληλη Πόλωση, 423
- Ερωτήσεις Επανάληψης, 426
- Προβλήματα, 427

## **9 Θεωρία και Εφαρμογές Γραμμών Μεταφοράς ..... 435**

- 9-1 Εισαγωγή, 435
- 9-2 Εγκάρσιο Ηλεκτρομαγνητικό Κύμα κατά μήκος μίας Γραμμής Μεταφοράς Παράλληλων Πλακών, 437
  - 9-2.1 Γραμμές Μεταφοράς Παράλληλων Πλακών Με Απώλειες, 440
  - 9-2.2 Γραμμές Μικροταινίας, 443
- 9-3 Γενικές Εξισώσεις Γραμμής Μεταφοράς, 445
  - 9-3.1 Χαρακτηριστικές Κύματος Πάνω Σε Μία Άπειρη Γραμμή Μεταφοράς, 447
  - 9-3.2 Παράμετροι Γραμμής Μεταφοράς, 452
  - 9-3.3 Σταθερά Εξασθένησης Από Σχέσεις Ισχύος, 454
- 9-4 Χαρακτηριστικά Κύματος σε Πεπερασμένες Γραμμές Μεταφοράς, 456
  - 9-4.1 Γραμμές Μεταφοράς Ως Στοιχεία Κυκλώματος, 461
  - 9-4.2 Γραμμές Με Τερματισμό Αντίστασης, 467
  - 9-4.3 Γραμμές Με Αυθαίρετο Τερματισμό, 472
  - 9-4.4 Κυκλώματα Γραμμών Μεταφοράς, 474
- 9-5 Μεταβατικά Φαινόμενα σε Γραμμές Μεταφοράς, 478
  - 9-5.1 Διάγραμμα Ανάκλασης, 481
  - 9-5.2 Διέγερση Παλμού, 485
  - 9-5.3 Αρχικά Φορτισμένη Γραμμή, 487
  - 9-5.4 Γραμμή Με Ενεργό Φορτίο, 489
- 9-6 Το Χαρτόγραμμα Smith, 492
  - 9-6.1 Υπολογισμοί σε Χαρτόγραμμα Smith για Γραμμές με Απώλειες, 502
- 9-7 Προσαρμογή Εμπέδησης Γραμμής Μεταφοράς, 503
  - 9-7.1 Προσαρμογή Αντίστασης με Τεταρτοκυματικό Μετασχηματιστή, 504

- 9-7.2 Προσαρμογή με Μεμονωμένο Στέλεχος, 507
- 9-7.3 Προσαρμογή με Διπλό Στέλεχος, 512
- Ερωτήσεις Επανάληψης, 516
- Προβλήματα, 518

## **10 Κυματοδηγοί και Συντονιστές Κοιλιοτήτων ..... 525**

- 10-1 Εισαγωγή, 525
- 10-2 Γενικές Κυματικές Συμπεριφορές,
  - Κατά Μήκος Ομοιόμορφων Δομών Οδήγησης, 526
  - 10-2.1 Εγκάρσια Ηλεκτρομαγνητικά Κύματα, 529
  - 10-2.2 Εγκάρσια Μαγνητικά Κύματα, 531
  - 10-2.3 Εγκάρσια Ηλεκτρικά Κύματα, 535
- 10-3 Κυματοδηγός Παραλλήλων Πλακών, 539
  - 10-3.1 TM Κύματα Μεταξύ Παραλλήλων Πλακών, 540
  - 10-3.2 TE Κύματα Μεταξύ Παραλλήλων Πλακών, 544
  - 10-3.3 Ταχύτητα Μεταφοράς Ενέργειας, 546
  - 10-3.4 Απόσβεση σε Κυματοδηγούς Παραλλήλων Πλακών, 549
- 10-4 Ορθογώνιοι Κυματοδηγοί, 552
  - 10-4.1 TM Κύματα σε Ορθογώνιους Κυματοδηγούς, 553
  - 10-4.2 TE Κύματα σε Ορθογώνιους Κυματοδηγούς, 557
  - 10-4.3 Εξασθένηση σε Ορθογώνιους Κυματοδηγούς, 561
  - 10-4.4 Ασυνέχειες σε Ορθογώνιους Κυματοδηγούς, 565
- 10-5 Κυκλικοί Κυματοδηγοί, 569
  - 10-5.1 Διαφορική Εξίσωση Bessel και Συναρτήσεις Bessel, 570
  - 10-5.2 TM Κύματα σε Κυκλικούς Κυματοδηγούς, 574
  - 10-5.3 TE Κύματα σε Κυκλικούς Κυματοδηγούς, 576
- 10-6 Κυματοδηγοί Διηλεκτρικού, 578
  - 10-6.1 TM Κύματα Κατά Μήκος Διηλεκτρικής Πλάκας, 579
  - 10-6.2 TE Κύματα Κατά Μήκος Διηλεκτρικής Πλάκας, 582
  - 10-6.3 Επιπλέον Σχόλια για Κυματοδηγούς Διηλεκτρικού, 586
- 10-7 Συντονιστές Κοιλότητας, 589
  - 10-7.1 Ορθογώνιοι Συντονιστές Κοιλότητας, 590
  - 10-7.2 Συντελεστής Ποιότητας Συντονιστών Κοιλότητας, 593
  - 10-7.3 Κυκλικοί Συντονιστές Κοιλότητας, 596
  - Ερωτήσεις Επανάληψης, 600
  - Προβλήματα, 601

## 11 Κεραίες και Συστήματα Ακτινοβολίας ..... 607

- 11-1 Εισαγωγή, 607
- 11-2 Πεδία Ακτινοβολίας και Στοιχειώδη Δίπολα, 609
  - 11-2.1 Το Στοιχειώδες Ηλεκτρικό Δίπολο, 609
  - 11-2.2 Το Στοιχειώδες Μαγνητικό Δίπολο, 613
- 11-3 Χαρακτηριστικές Κεραιών και Παράμετροι Κεραιών, 614
- 11-4 Λεπτές Γραμμικές Κεραίες, 622
  - 11-4.1 Το Δίπολο Ημικύματος, 624
  - 11-4.2 Ενεργό Μήκος Κεραίας, 627
- 11-5 Κεραιοσυστοιχίες, 629
  - 11-5.1 Συστοιχίες Δύο Στοιχείων, 630
  - 11-5.2 Γενικές Ομοιόμορφες Γραμμικές Συστοιχίες, 634
- 11-6 Κεραίες Λήψης, 640
  - 11-6.1 Εσωτερική Εμπέδηση και Κατευθυντική Χαρακτηριστική, 641
  - 11-6.2 Ενεργός Επιφάνεια, 643
  - 11-6.3 Διατομή Οπισθοσκέδασης, 645
- 11-7 Συστήματα Εκπομπής-Λήψης, 648
  - 11-7.1 Ο Τύπος Μετάδοσης του Friis και η Εξίσωση Ραντάρ, 648
  - 11-7.2 Διάδοση Κύματος Κοντά στην Επιφάνεια της Γης, 650
- 11-8 Μερικοί Άλλοι Τύποι Κεραιών, 652
  - 11-8.1 Κεραίες Οδεύοντος Κύματος, 652
  - 11-8.2 Ελικοειδείς Κεραίες, 654
  - 11-8.3 Κεραίες Yagi-Uda, 657
  - 11-8.4 Ευρυζωνικές Κεραίες, 659
- 11-9 Κεραίες (Ακτινοβολητές) Ανοίγματος, 664
  - Ερωτήσεις Επανάληψης, 670
  - Προβλήματα, 671

## Παραρτήματα ..... 675

### A Σύμβολα και Μονάδες ..... 675

- A-1 Θεμελιώδεις Μονάδες SI, 675
- A-2 Παράγωγες Ποσότητες, 675
- A-3 Πολλαπλάσια και Υποπολλαπλάσια Μονάδων, 677

### B Χρήσιμες Υλικές Σταθερές ..... 678

- B-1 Σταθερές Κενού Χώρου, 678

B-2	Φυσικές Σταθερές Ηλεκτρονίου και Πρωτονίου, 678
B-3	Σχετικές Επιτρεπτότητες (Διηλεκτρικές Σταθερές), 679
B-4	Αγωγιμότητες, 679
B-5	Σχετικές Διαπερατότητες, 680

## **C Ευρετήριο Πινάκων ..... 681**

Βιβλιογραφία, 682

Απαντήσεις σε Επιλεγμένα Προβλήματα, 683

Πίνακες Μετατροπής Μονάδων, 694

Τυπολόγιο, 696

Ευρετήριο Όρων, 699