SCHAUM'S

CIRCUITS ÉLECTRIQUES

MAHMOOD NAHVI • JOSEPH A. EDMINISTER

- Un cours concis et efficace pour toutes les filières
- Des méthodes pour apprendre vite et bien
- Plus de 350 exercices et problèmes résolus pour tester vos connaissances
- Le manuel qui permet d'optimiser vos résultats

4e édition

537-56.1

EdiScience

Dans cet ouvrage : ☑ Bases de l'électricité ☑ Étude des circuits ☑ Étude des signaux ☑ Régime sinusoïdal ☑ Circuits polyphasés ☑ Filtres et résonance ☑ Quadripôles ☑ SPICE et PSPICE

Sommaire

Préface XIII

Chapitre 1 **Introduction** 1
1.1 Grandeurs électriques et unités SI 1
1.2 Force, travail, et puissance 1
1.3 Charge électrique et courant 3
1.4 Potentiel électrique 4
1.5 Énergie et puissance électrique 5
1.6 Grandeurs constantes et grandeurs variables 5
Problèmes résolus 5
Problèmes supplémentaires 7

Chapitre 2 **Généralités sur les circuits** 9
2.1 Éléments actifs et passifs 9
2.2 Conventions de signe 10
2.3 Relations entre tension et courant 11
2.4 Résistance 12
2.5 Bobine 13
2.6 Condensateur 15
2.7 Schémas électriques 16
2.8 Les résistances non linéaires 16
Problèmes résolus 18
Problèmes supplémentaires 24

Chapitre 3 **Lois et théorèmes fondamentaux de l'électricité** 31
3.1 Introduction 31
3.2 Première loi de Kirchhoff ou loi des mailles 31

3.3 Deuxième loi de Kirchhoff ou loi des nœuds 32
3.4 Association de dipôles en série 33
3.5 Association de dipôles en parallèle 34
3.6 Principe du diviseur de tension 35
3.7 Principe du diviseur de courant 36
Problèmes résolus 37
Problèmes supplémentaires 42

Chapitre 4 **Méthodes d'étude des circuits** **47**
4.1 Méthode des courants de branche 47
4.2 Méthode des courants de maille 48
4.3 Représentation matricielle 49
4.4 Méthode des tensions de nœuds 51
4.5 Résistances d'entrée et de sortie 52
4.6 Résistance de transfert 53
4.7 Simplification des circuits 54
4.8 Principe de superposition 55
4.9 Théorèmes de Thévenin et de Norton 57
4.10 Théorème du transfert maximal de puissance 59
Problèmes résolus 60
Problèmes supplémentaires 71

Chapitre 5 **Amplificateurs et circuits à amplificateurs opérationnels** **81**
5.1 Modèle de l'amplificateur 81
5.2 Contre-réaction 83
5.3 Amplificateurs opérationnels 84
5.4 Étude des circuits comportant des amplificateurs opérationnels idéaux 88
5.5 Amplificateur inverseur 89
5.6 Montage sommateur 90
5.7 Amplificateur non inverseur 91
5.8 Suiveur de tension 92
5.9 Amplificateur de différence 93
5.10 Circuits comportant plusieurs amplificateurs opérationnels 95
5.11 Circuits intégrateur et dérivateur 96
5.12 Calculateurs analogiques 99
5.13 Filtre passe-bas 101
5.14 Comparateur 102

Problèmes résolus 103
Problèmes supplémentaires 121

Chapitre 6 **Les différents types de signaux** **125**
6.1 Introduction 125
6.2 Fonctions périodiques 125
6.3 Fonctions sinusoïdales 127
6.4 Décalage temporel et déphasage 127
6.5 Combinaisons de fonctions périodiques 130
6.6 Valeur moyenne et valeur efficace 131
6.7 Fonctions non périodiques 134
6.8 L'échelon unitaire 135
6.9 L'impulsion de Dirac 136
6.10 Fonction exponentielle 139
6.11 Sinusoïdes amorties 141
6.12 Signaux aléatoires 142
Problèmes résolus 143
Problèmes supplémentaires 153

Chapitre 7 **Circuits du premier ordre** **157**
7.1 Introduction 157
7.2 Décharge d'un condensateur dans une résistance 157
7.3 Charge d'un condensateur 159
7.4 Circuit RL 161
7.5 Alimentation d'un circuit RL 163
7.6 Retour sur la fonction exponentielle 164
7.7 Circuits du premier ordre complexes 165
7.8 Régime permanent dans les bobines et les condensateurs 167
7.9 Phénomènes de transition 168
7.10 Réponse des circuits du premier ordre à des impulsions 171
7.11 Réponse des circuits RC et RL à des impulsions de Dirac 173
7.12 Résumé des réponses à des échelons et à des impulsions 174
7.13 Réponses des circuits RC et RL à des excitations exponentielles 174
7.14 Réponses des circuits RC et RL à des excitations sinusoïdales 176
7.15 Résumé des réponses forcées des circuits du premier ordre 177
7.16 Circuits actifs du premier ordre 177
Problèmes résolus 179
Problèmes supplémentaires 192

Chapitre 8 **Circuits d'ordres élevés et fréquence complexe** **199**
8.1 Introduction 199
8.2 Circuit RLC série 199
8.3 Circuit RLC parallèle 203
8.4 Circuits du second ordre à deux mailles 206
8.5 Fréquence complexe 207
8.6 Impédance généralisée en s 208
8.7 Fonction de transfert d'un circuit et tracés des pôles et des zéros 210
8.8 Réponse forcée (ou particulière) 212
8.9 Réponse naturelle (ou homogène) 213
8.10 Propriétés de changement d'échelle 214
8.11 Circuits actifs d'ordres élevés 215
Problèmes résolus 217
Problèmes supplémentaires 226

Chapitre 9 **Étude des circuits en régime sinusoïdal permanent** **235**
9.1 Introduction 235
9.2 Comportement des dipôles élémentaires 235
9.3 Représentation vectorielle 238
9.4 Impédance et admittance 241
9.5 Principes des diviseurs de courant et de tension dans le domaine fréquentiel 244
9.6 Méthode des courants de mailles 244
9.7 Méthode des tensions de nœuds 247
9.8 Théorèmes de Thévenin et de Norton 248
9.9 Superposition de sources sinusoïdales 248
Problèmes résolus 249
Problèmes supplémentaires 261

Chapitre 10 **Puissance en régime sinusoïdal** **269**
10.1 Expression temporelle de la puissance 269
10.2 Puissance en régime sinusoïdal permanent 271
10.3 Puissance moyenne et puissance réelle 273
10.4 Puissance réactive 274
10.5 Résumé 274
10.6 Échange d'énergie entre un condensateur et une bobine 277
10.7 Puissance complexe, puissance apparente et diagramme de puissance 279

10.8 Circuits connectés en parallèle 282
10.9 Amélioration du facteur de puissance 284
10.10 Transfert maximal de puissance 286
10.11 Superposition des puissances moyennes 287
Problèmes résolus 288
Problèmes supplémentaires 299

Chapitre 11 **Circuits polyphasés** **305**
11.1 Introduction 305
11.2 Systèmes diphasés 305
11.3 Systèmes triphasés 307
11.4 Dispositifs étoiles et triangles 308
11.5 Représentation vectorielle 309
11.6 Charge triangle équilibrée 310
11.7 Charge étoile équilibrée alimentée par quatre lignes 311
11.8 Équivalence triangle-étoile 312
11.9 Schéma équivalent d'une charge triphasée équilibrée 313
11.10 Charge delta déséquilibrée 314
11.11 Charge étoile déséquilibrée 315
11.12 Puissance en régime triphasé 317
11.13 Mesure de puissance et méthode du double wattmètre 318
Problèmes résolus 320
Problèmes supplémentaires 331

Chapitre 12 **Comportement fréquentiel, filtres et phénomène de résonance** **337**
12.1 Fonction de transfert en fréquence 337
12.2 Filtres passe-haut et passe-bas 339
12.3 Pulsations de coupure 343
12.4 Quadripôles généralisés 343
12.5 Comportement fréquentiel et fonctions de transfert 344
12.6 Lieu des pôles et des zéros 345
12.7 Filtres idéaux et filtres réels 346
12.8 Filtres passifs et filtres actifs 348
12.9 Filtres passe-bande et phénomène de résonance 349
12.10 Fréquence propre et coefficient d'amortissement 350
12.11 Circuit RLC série et résonance série 351

12.12 Facteur de qualité 352
12.13 Circuit RLC parallèle et résonance parallèle 354
12.14 Circuit LC parallèle réel 355
12.15 Conversion série parallèle 356
12.16 Lieux complexes et diagrammes de Nyquist 357
12.17 Changement d'échelle dans un filtre 360
Problèmes résolus 361
Problèmes supplémentaires 374

Chapitre 13 **Quadripôles** **381**
13.1 Définition 381
13.2 Paramètre Z du quadripôle 381
13.3 Montages équivalents en T des quadripôles réciproques 383
13.4 Paramètres admittances 384
13.5 Montages équivalents en Pi des quadripôles réciproques 386
13.6 Application des équations caractéristiques 386
13.7 Transformation entre les paramètres Z et Y 387
13.8 Paramètres hybrides 389
13.9 Paramètres hybrides inverses 389
13.10 Paramètres de transfert 390
13.11 Association de quadripôles 391
13.12 Choix des paramètres 393
13.13 Résumé 393
Problèmes résolus 394
Problèmes supplémentaires 405

Chapitre 14 **Inductance mutuelle et transformateurs** **411**
14.1 Notion d'inductance mutuelle 411
14.2 Coefficient de couplage 413
14.3 Étude de bobines couplées 414
14.4 Règle des points 416
14.5 Aspect énergétique du couplage 416
14.6 Schéma équivalent 417
14.7 Transformateur linéaire 418
14.8 Transformateur idéal 421
14.9 Autotransformateur 423
14.10 Notion d'impédance réfléchie 424

Problèmes résolus 425
Problèmes supplémentaires 437

Chapitre 15 **Étude des circuits électriques à l'aide des logiciels Spice et PSpice** **445**
15.1 Spice et PSpice 445
15.2 Modélisation des circuits 445
15.3 Examen d'un fichier source Spice 446
15.4 Instructions de données et simulation en régime continu 448
15.5 Instructions de contrôle et de sortie en régime continu 453
15.6 Générateur équivalent de Thévenin 455
15.7 Circuits à amplificateurs opérationnels 456
15.8 Régime sinusoïdal permanent et réponse en fréquence 459
15.9 Inductances mutuelles et transformateur 461
15.10 Modélisation de dispositifs à paramètres variables 462
15.11 Étude temporelle et régime transitoire 465
15.12 Autres types de sources 466
15.13 Résumé 470
Problèmes résolus 472
Problèmes supplémentaires 487

Chapitre 16 **Transformation de Laplace** **489**
16.1 Introduction 489
16.2 Transformée de Laplace 489
16.3 Transformées de Laplace usuelles 490
16.4 Convergence de l'intégrale 492
16.5 Théorèmes de la valeur initiale et de la valeur finale 493
16.6 Décompositions de fractions rationnelles 494
16.7 Étude des circuits électriques dans le domaine laplacien 496
16.8 Fonction de transfert et transformée de Laplace 497
Problèmes résolus 498
Problèmes supplémentaires 508

Chapitre 17 **Analyse spectrale de Fourier** **515**
17.1 Introduction 515
17.2 Décomposition en séries trigonométriques 516
17.3 Décomposition en séries exponentielles 518

	17.4	Symétrie des signaux	519
	17.5	Notion de spectre	521
	17.6	Synthèse des signaux	522
	17.7	Valeurs efficaces et puissance	523
	17.8	Application à l'étude des circuits	524
	17.9	Transformée de Fourier des signaux non périodiques	527
	17.10	Propriétés de la transformée de Fourier	530
	17.11	Spectre des signaux non périodiques	531
	Problèmes résolus		532
	Problèmes supplémentaires		543
Annexe A	**Nombres complexes**		**551**
	A.1	Nombres complexes	551
	A.2	Plan complexe	551
	A.3	Opérateur vectoriel *j*	552
	A.4	Autres représentations des nombres complexes	552
	A.5	Somme et différence de nombres complexes	553
	A.6	Multiplication de nombres complexes	553
	A.7	Division de nombres complexes	553
	A.8	Conjugué d'un nombre complexe	554
Annexe B	**Matrices et déterminants**		**555**
	B.1	Systèmes d'équations et matrice caractéristique	555
	B.2	Différents types de matrices	556
	B.3	Opérations matricielles	557
	B.4	Déterminant d'une matrice carrée	559
	B.5	Valeurs propres d'une matrice carrée	561

Préface

Cet ouvrage est conçu comme un ouvrage de référence permettant à la fois de s'initier et de se perfectionner dans le domaine des circuits électriques. Il peut être utilisé aussi bien par des étudiants en génie électrique que par des étudiants d'autres spécialités. L'accent est mis sur les lois fondamentales, les théorèmes et les techniques de résolution de problèmes qui sont les bases communes à de nombreux cours.

L'ensemble est divisé en 17 chapitres couvrant l'ensemble de la théorie et de la pratique. Chaque chapitre débute par les définitions, principes et théorèmes essentiels, le tout étant illustré par de nombreux exemples. Suivent alors un grand nombre de problèmes résolus et supplémentaires. Ces problèmes sont de difficultés variées. Certains sont centrés sur des points précis du cours, permettant ainsi à l'étudiant d'asseoir ses connaissances et d'acquérir la confiance en soi nécessaire. Les problèmes supplémentaires sont en général plus nombreux et donnent au lecteur l'occasion de s'exercer afin de développer son savoir-faire. Chaque problème est assorti de ses réponses.

Ce livre débute par les définitions fondamentales, sur les lois générales des circuits électriques et sur les techniques d'étude. Ces principes de base sont d'abord étudiés en régime continu pour des circuits purement résistifs, puis étendus au cas des circuits RLC en invoquant les notions d'impédance et de fréquence complexe. Le chapitre 5, consacré aux amplificateurs opérationnels, est entièrement nouveau. Les exemples et les problèmes ont été choisis avec soin pour illustrer les dispositifs simples et concrets qui présentent un intérêt réel pour les futures études du lecteur. L'aspect signal est également traité dans un nouveau chapitre et ce, afin de guider l'étudiant vers des notions qui sont de plus en plus rencontrées.

Le comportement des circuits, que ce soit en régime permanent ou transitoire est étudié au chapitre 7 puis étendu à des circuits plus complexes au chapitre 8 où la notion de fréquence complexe est introduite. Les notions de représentation vectorielle, de réponse en fréquence, de filtres, de résonance, de quadripôles, d'inductance mutuelle et de transformateurs sont présentées dans tous leurs détails. Le chapitre 15 traite de l'utilisation de Spice et de Pspice dans l'étude des circuits électriques. Les équations de fonctionnement des circuits sont résolues à l'aide des techniques classiques de résolution d'équations différentielles, mais également à l'aide de la transformation de Laplace. La décomposition en série de Fourier et la transformée de Fourier sont présentées au chapitre 17. Pour finir, deux annexes proposent un résumé utile autour des notions de nombres complexes et de calcul matriciel.

Ce livre est dédié à tous nos étudiants desquels nous avons appris beaucoup, côté enseignement. Dans une large mesure, ils ont participé à nos carrières enrichissantes. Et pour finir, nous souhaitons remercier nos épouses, Zahra Nahvi et Nina Edminister pour leur soutien permanent et grâce à qui nos efforts ont été rendus supportables.

Mahmood NAHVI
Joseph A. EDMINISTER