

BTS ÉLECTROTECHNIQUE • IUT GÉNIE ÉLECTRIQUE

Physique appliquée

Précis d'électrotechnique

1^{RE} ANNÉE

COURS – EXERCICES

2^e édition

MICHEL PINARD

SOUS LA DIRECTION DE JEAN-LUC AZAN



$\frac{IV}{Z}$

ECT67IT1

SECTIONS DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
INSTITUTS UNIVERSITAIRES DE TECHNOLOGIE

Avant-propos

36050

②

PRÉCIS D'ÉLECTROTECHNIQUE

TOME 1



2^e édition

Sous la direction de Jean-Luc AZAN

Michel PINARD
Ancien élève de l'E.N.S. Cachan
Professeur au lycée Newton de Clichy
Agrégé de physique appliquée



1, rue de Rome – 93561 Rosny s/Bois Cedex

Sommaire

1 – CIRCUITS À RÉGIME DE COURANT CONTINU	11
I. Dipôles passifs	11
1. Dipôle linéaire : résistance électrique.....	11
2. Dipôle non linéaire : diode	11
II. Dipôles actifs	12
1. Source de tension.....	12
2. Source de courant	12
3. Diviseur de Tension : montage potentiométrique	13
4. Diviseur de courant	13
III. Lois des circuits électriques.....	13
1. Lois de Kirchhoff	13
2. Théorème de superposition	14
3. Théorème de Thévenin	15
4. Théorème de Norton.....	15
5. Théorème de Millman	15
IV. Lois des circuits magnétiques.....	16
1. Réluctance magnétique	16
2. Aimant permanent	17
3. Théorème d'Ampère dans un circuit magnétique	17
4. Cas de la présence d'un entrefer dans un circuit magnétique ...	19
Contrôle des connaissances.....	19
<i>Exercices résolus.....</i>	<i>21</i>
101 Adaptation de puissance	21
102 Potentiomètre chargé	21
103 Modèle de moteur.....	22
104 Capteur par effet Hall	24
<i>Exercices à résoudre</i>	<i>25</i>
105 Réseau R - 2R.....	25
106 Théorème de Kennely.....	25
107 Circuit magnétique	26
2 – CIRCUITS À RÉGIME VARIABLE : LE RÉGIME SINUSOÏDAL PERMANENT.....	27
I. Régime variable	27
1. Grandeurs instantanées.....	27
2. Énergie reçue par un dipôle.....	27
3. Régime sinusoïdal permanent.....	27
4. Notation complexe en régime sinusoïdal permanent.....	28
II. Dipôles passifs en régime variable	28
1. Dipôle linéaire sans énergie emmagasinée : résistance électrique.....	28
2. Dipôle linéaire avec énergie emmagasinée	29
3. Impédance et admittance complexes	31

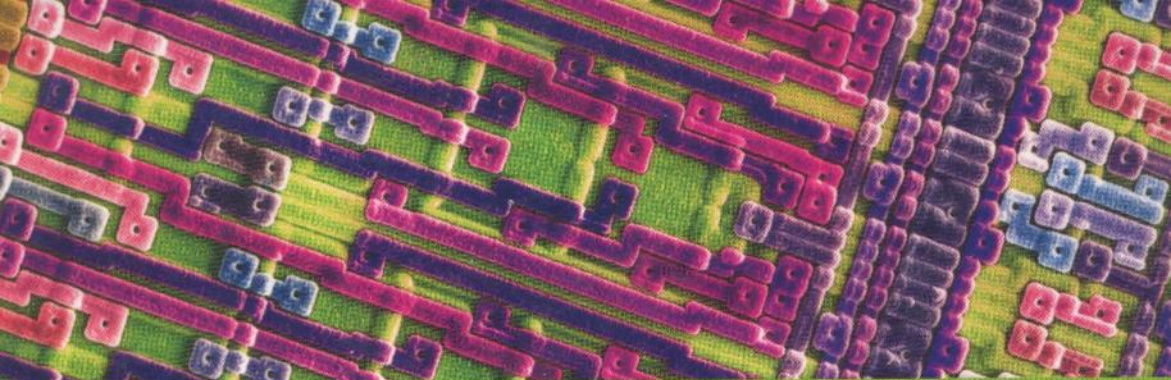
III. Lois des circuits électriques linéaires	31
1. Lois de Kirchhoff	31
2. Théorème de superposition.....	31
3. Théorèmes de Thévenin, de Norton et de Millman	32
4. Théorème de Boucherot	32
IV. Circuits magnétiques en régime variable	32
1. Théorème d'Ampère appliqué à un circuit magnétique	32
2. Loi d'induction dans le circuit magnétique : loi de Lenz	33
Contrôle des connaissances.....	35
<i>Exercices résolus</i>	37
201 Adaptation de puissance	37
202 Dipôle d'une bobine avec pertes fer.....	38
203 Dipôle d'une bobine avec pertes fer et pertes Joule	39
204 Amélioration du $\cos \varphi$	40
<i>Exercices à résoudre</i>	40
205 Circuit à deux sources en régime sinusoïdal	40
206 Circuit résonnant RLC.....	41
207 Théorème de Kennely.....	41
3 - CIRCUITS EN RÉGIME PÉRIODIQUE. UTILISATION DE LA SÉRIE DE FOURIER	43
I. Régime périodique	43
1. Grandeurs périodiques.....	43
2. Définitions	43
II. Théorème de Fourier	45
1. Expression générale.....	45
2. Expression plus pratique.....	45
3. Conséquences	45
III. Cas où l'une des grandeurs est sinusoïdale	46
1. La tension $v(t)$ est sinusoïdale, le courant est périodique et non sinusoïdal	46
2. La courant $i(t)$ est sinusoïdal, la tension est périodique et non sinusoïdale	46
IV. Exemples de signaux périodiques	47
Contrôle des connaissances.....	49
<i>Exercices résolus</i>	50
301 Développement de la fonction « créneau »	50
302 Source de tension périodique sur charge R-L.....	50
303 Développement d'une forme d'onde MLI.....	51
304 Développement d'une forme d'onde redressement.....	52
<i>Exercice à résoudre</i>	54
305 Utilisation d'une onde MLI.....	54
4 - TRANSFORMATEUR MONOPHASÉ	55
I. Circuit magnétique	55
1. Lignes de champ moyennes.....	55
2. Courant à vide	55

II. Transformateur à vide	56
1. La tension primaire est variable	56
2. La tension primaire est sinusoïdale	56
III. Transformateur en charge	57
1. Modèles parfait et idéal en régime variable	57
2. Modèle « idéal » en régime sinusoïdal	58
3. Modèle réel en régime variable	59
4. Modèle réel en régime sinusoïdal.....	60
5. Diagramme de Kapp en régime sinusoïdal.....	61
Contrôle des connaissances.....	62
<i>Exercices résolus</i>	63
401 Essai en court-circuit sur le transformateur	63
402 Transformateurs monophasés à vide et en charge	63
403 Transformateur monophasé en parallèle	64
404 Transformateur à noyau de ferrite en régime d'impulsions	67
<i>Exercice à résoudre</i>	69
405 Transformateur avec charge non linéaire	69
5 - CIRCUIT ET SYSTEME DU PREMIER ORDRE : RÉGIME TRANSITOIRE ET RÉGIME HARMONIQUE	71
I. Régime permanent et régime transitoire	71
1. Définitions	71
2. Établissement de l'équation différentielle	71
3. Étude énergétique	72
II. Résolution de l'équation différentielle linéaire du premier ordre	73
1. Équation différentielle possédant seulement un terme dérivé	73
2. Équation linéaire différentielle à deux termes.....	73
III. Réponse d'un système linéaire du premier ordre en régime harmonique	76
1. Notion de système linéaire	76
2. Réponse harmonique du système	76
Contrôle des connaissances.....	77
<i>Exercices résolus</i>	79
501 Réponse indicielle d'un circuit R-C	79
502 Sonde d'oscilloscope	80
503 Source de tension de forme d'onde rectangulaire sur charge L-R.....	82
504 Régime transitoire à travers un transformateur	84
<i>Exercice à résoudre</i>	87
505 Décharge d'un condensateur dans un circuit R-C	87
6 - MACHINE À COURANT CONTINU	89
I. Présentation	89
1. Définitions	89
2. Modes d'excitation	89
3. Grandeurs caractéristiques du fonctionnement d'un moteur électrique.....	90

II. Régime permanent et régimes transitoires	90
1. Définitions	90
2. Équations caractéristiques	90
III. Réglage de la vitesse	92
1. Présentation	92
2. Caractéristique de réglage par la tension d'induit	92
3. Fonctionnement en quatre quadrants	93
IV. Rendement	95
Contrôle des connaissances	95
<i>Exercices résolus</i>	97
601 Régimes transitoires d'un moteur à flux constant	97
602 Moteur à excitation série à charge et vitesse variable	99
603 Moteur à excitation séparée en fonctionnement multiquadrants	101
604 Machine à courant continu à excitation séparée en cycle robotique	103
<i>Exercice à résoudre</i>	106
605 Conception d'un moteur	106
7 - INTERRUPTEURS ÉLECTRONIQUES DE PUISSANCE	109
I. Électronique de puissance	109
1. Présentation	109
2. Échanges de puissance	109
II. Interrupteur dipôle idéal et réel	111
1. Définition	111
2. Commande d'un interrupteur	111
3. Propriétés des interrupteurs dipôles	111
4. Cas des composants réels	112
5. Échanges de puissance pour une cellule de commutation formée de composants réels	113
III. Composants électroniques réels	113
1. La diode	113
2. Le thyristor	114
3. Le triac	115
4. Le transistor MOS	116
5. Le transistor IGBT	117
Contrôle des connaissances	118
<i>Exercices résolus</i>	120
701 Commande d'un transistor « dual »	120
702 Montage interrupteur dipôle sur source sinusoïdale	122
<i>Exercice à résoudre</i>	125
703 Calcul des pertes	125
8 - CIRCUITS DE COMMANDE ÉLECTRONIQUES ANALOGIQUES ET NUMÉRIQUES	127
I. La commande électronique	127
1. Présentation	127
2. Propriétés des signaux de commande	128
3. Propriétés d'un circuit d'interface	128

II. Génération des signaux de commande	129
1. Circuit analogique	129
2. Circuit numérique	130
3. Commande numérique de type « arc cosinus »	131
III. Circuits d'interface	132
1. Déclencheurs à thyristors	132
2. Driver à transistor MOS ou IGBT	133
Contrôle des connaissances	134
<i>Exercices résolus</i>	135
801 Montage à amplificateur opérationnel générateur de tension triangulaire	135
802 Commande d'un thyristor par transformateur d'impulsions	136
<i>Exercice à résoudre</i>	139
803 Commande de deux transistors IGBT par deux drivers pilotés par DSP	139
9 - CONVERTISSEURS « ALTERNATIF CONTINU » À DIODES OU À THYRISTORS	143
I. Les connexions	143
1. Présentation	143
2. Schémas de connexion du convertisseur (commutateur de courant)	143
3. Définitions	144
II. Le transfert de puissance	145
1. Les grandeurs électriques relatives aux sources	145
2. Formulaire : les sources sont supposées parfaites	146
3. Cas où la source de courant continu est imparfaite	148
Contrôle des connaissances	149
<i>Exercices résolus</i>	150
901 Pont réversible à thyristors associé avec une machine à courant continu	150
902 Commande de ponts à thyristors en antiparallèle associés avec une machine à courant continu	155
903 Redresseurs débitant sur charge E-R et E-R-L	158
904 Machine à excitation série associée à un pont « tout thyristors »	160
<i>Exercice à résoudre</i>	163
905 Optimisation de la commande d'un moteur associé à un pont mixte	163
10 - LE HACHEUR : CONVERTISSEURS « CONTINU-CONTINU »	165
I. Les connexions	165
1. Présentation	165
2. Schémas de connexion du convertisseur	165
II. Le transfert de puissance	167
1. Les grandeurs électriques relatives aux sources	167
2. Formulaire : les interrupteurs et les sources sont supposés parfaits	168
3. Cas où les sources de tension et de courant continu sont imparfaites	169

Contrôle des connaissances.....	171
<i>Exercices résolus</i>	172
1001 Hacheur série pour alimenter le circuit d'excitation d'un alternateur	172
1002 Ondulations en tension et en courant d'un hacheur série.....	174
1003 Hacheur parallèle alimentant une batterie d'accumulateurs ..	177
1004 Machine en cycle robotique associée à un hacheur réversible	179
<i>Exercice à résoudre</i>	184
1005 Alimentation à découpage utilisant un hacheur réversible	184
<i>Solutions des exercices à résoudre</i>	187
<i>Réponses aux contrôles des connaissances</i>	192



Physique appliquée

Précis d'électrotechnique

Ce manuel présente par étapes les notions indispensables pour l'analyse et la compréhension du fonctionnement des machines utilisées en électrotechnique.

La première partie est consacrée aux fonctions de base : **circuits électriques et magnétiques en régime de courant continu, sinusoïdal et périodique**. Ces fonctions sont illustrées à l'aide de nombreux exemples.

La deuxième partie s'intéresse au fonctionnement des machines simples : **transformateurs et moteurs à courant continu, en régime permanent ou transitoire**.

Les convertisseurs de puissance sont étudiés selon une approche conforme aux méthodes actuellement en vigueur dans les milieux professionnels : les avancées technologiques les plus récentes sont intégrées. Des exemples de commandes numériques de redresseurs à thyristors et de hacheurs sont présentés.

Un **cours synthétique**, des **tests d'auto-évaluation** et de **nombreux exercices** avec solutions détaillées ou réponses succinctes, font de cet ouvrage un **outil efficace d'apprentissage, de révision et d'entraînement** pour tous les étudiants de première année de BTS électrotechnique (**nouveau programme**) et d'IUT de Génie électrique, ainsi que pour ceux des maîtrises EEA et des écoles d'ingénieurs.

Réf. : 514.2503 – ISBN : 2 7495 0583 6

www.editions-breal.fr

