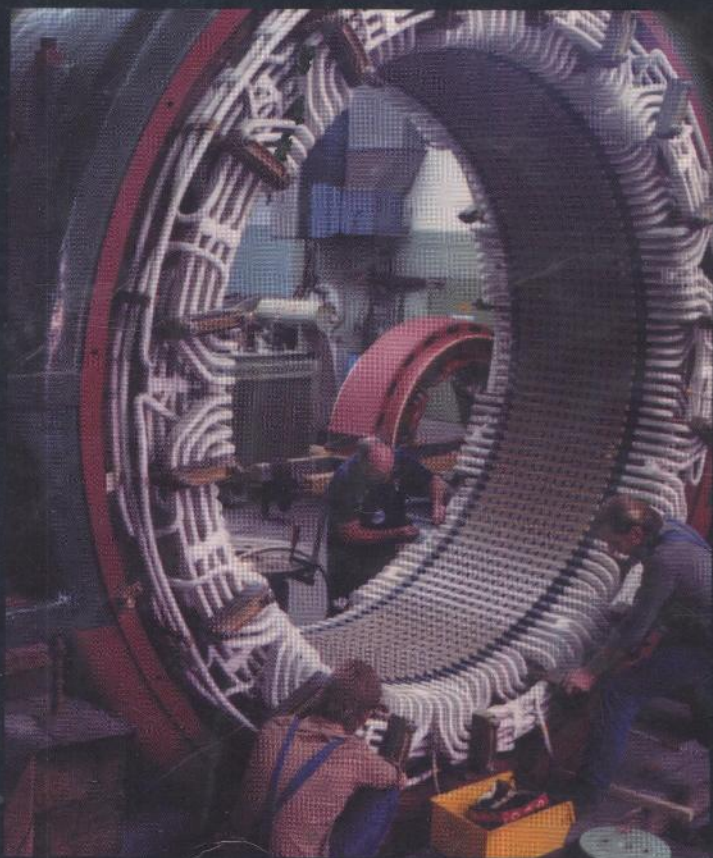


ÉLECTROTECHNIQUE

• WILDI • SYBILLE •

4^e édition



ECT59/1

ÉLECTROTECHNIQUE

31578
(3)

- Théodore WILDI •
- Gilbert SYBILLE •

4^e édition



TABLE DES MATIÈRES

PARTIE I NOTIONS FONDAMENTALES ET CIRCUITS ÉLECTRIQUES

1 NOTIONS DE MÉCANIQUE ET DE THERMODYNAMIQUE	1
1.1 Les unités SI	1
1.2 Multiples et sous-multiples des unités	2
1.3 Emploi des exposants	2
1.4 Utilisation des symboles (+) et (-)	2
1.5 Force	3
1.6 Couple	4
1.7 Travail	4
1.8 Puissance	5
1.9 Puissance d'un moteur	5
1.10 Énergie dans les corps en mouvement	6
1.11 Énergie dans les corps immobiles	7
1.12 Formes de l'énergie	7
1.13 Transformation de l'énergie	8
1.14 Principe de la conservation de l'énergie	8
1.15 Rendement d'une machine	8
1.16 Sources d'énergie primaire	9
1.17 Calcul du moment d'inertie et de l'énergie cinétique de rotation	10
1.18 Couple, inertie et variation de vitesse	12
1.19 Vitesse de rotation et charge d'un moteur	13
1.20 Échange de puissance mécanique dans un système d'entraînement	14
1.21 Changement de vitesse d'un moteur entraînant une charge	14
1.22 Moteurs et entraînements linéaires	14
THERMODYNAMIQUE	
1.23 Chaleur et température	15
1.24 Échelles de température	16
1.25 Chaleur requise pour chauffer un corps	16
1.26 Rendement d'une turbine à vapeur	17
1.27 Transport de la chaleur	17
1.28 Propagation de la chaleur par radiation	17
1.29 Calcul des pertes par radiation	18
1.30 Transport par conduction	18
1.31 Calcul des pertes par conduction	19
1.32 Transport de la chaleur par convection	20
1.33 Calcul des pertes par convection	20
1.34 Conversion des unités	21
1.35 Mesures en valeurs relatives, système p.u.	22
1.36 Système p.u. à base unique	22
1.37 Système de mesure p.u. à deux bases	23

1.38 Système de mesure p.u. à trois bases	23
1-39 Résumé	24
Problèmes - Chapitre 1	24
2 NATURE DE L'ÉLECTRICITÉ	27
2.1 Nature de la matière	27
2.2 Attraction entre atomes et molécules	27
2.3 Structure atomique	28
2.4 Dimensions de l'atome	28
2.5 Électrons libres	29
2.6 Conducteurs et isolants	29
2.7 Distribution des électrons libres	29
2.8 Sources d'électricité	30
2.9 Courant électrique	30
2.10 Sens du courant	31
2.11 Protons et neutrons	31
2.12 Résumé	31
Problèmes - Chapitre 2	33
3 LOI D'OHM	34
3.1 Production d'électricité, différence de potentiel	34
3.2 Unité de différence de potentiel	34
3.3 Polarité	35
3.4 Charges électriques	35
3.5 Courant dans un conducteur et dans une source	35
3.6 Analogie hydraulique	38
3.7 Unité d'intensité de courant	38
3.8 Mesures d'une intensité de courant et d'une tension	39
3.9 Loi d'Ohm	39
3.10 Unité de résistance	40
3.11 Application de la loi d'Ohm	40
3.12 Résumé	41
Problèmes - Chapitre 3	42
4 PUISSANCE ET ÉNERGIE ÉLECTRIQUE	44
4.1 Circuit électrique	44
4.2 Puissance électrique	44
4.3 Expression de la puissance	45
4.4 Puissance d'une génératrice	45
4.5 Puissance dissipée dans les fils conducteurs (effet Joule)	46
4.6 Pertes dans les lignes de transport	46
4.7 Chute de tension dans les lignes de transport	46

4.8	Puissance fournie à la charge	47	7.4	Graphique d'une tension alternative	71
4.9	Cas d'un court-circuit	47	7.5	Addition de tensions positives et négatives	72
4.10	Charges conçues pour produire de la chaleur	47	7.6	Courants positifs et courants négatifs	74
4.11	Distinction entre «source» et «charge»	48	7.7	Méthode des polarités	75
4.12	Énergie électrique	48 ¹	7.8	Taux de variation d'une tension	76
4.13	Emmagasinage de l'énergie	49	7.9	Expression du taux de variation	77
4.14	Résumé	49	7.10	Niveau de potentiel	78
Problèmes – Chapitre 4		50	7.11	Résumé	79
			Problèmes – Chapitre 7		80
5	CIRCUITS SIMPLES À COURANT CONTINU	51	8	SOLUTIONS DES CIRCUITS À COURANT CONTINU	81
5.1	Grouperment en série	51	8.1	Première loi de Kirchhoff (concernant les tensions)	81
5.2	Grouperment de résistances en série; résistance équivalente	52	8.2	Deuxième loi de Kirchhoff (concernant les courants)	84
5.3	Grouperment en parallèle	53	8.3	Application pratique aux circuits	85
5.4	Grouperment de deux résistances en parallèle	54	8.4	Théorème de Thévenin	86
5.5	Montage en parallèle; résistance équivalente	55	8.5	Courants de maille	88
5.6	Répartition du courant dans un grouperment parallèle	55	8.6	Théorème de superposition	89
5.7	Court-circuit	56	8.7	Utilisation de la méthode des deux indices	90
5.8	Grouperment de trois ou plusieurs résistances en parallèle	56	8.8	Tension entre deux points d'un circuit	92
5.9	Conductance	57	8.9	Utilisation de la notation hybride	92
5.10	Grouperment série-parallèle	57	8.10	Résumé	93
5.11	Résumé	58	Problèmes – Chapitre 8		93
Problèmes – Chapitre 5		59	9	ISOLANTS	96
6	APPAREILS DE MESURE À COURANT CONTINU	61	9.1	Conducteurs et isolants	96
6.1	Le mouvement d'Arsonval	61	9.2	Comparaison des résistivités	96
6.2	Mesure des courants intenses; ampèremètre	62	9.3	Types d'isolants	97
6.3	Remarques sur les shunts	63	9.4	Isolants solides	97
6.4	Voltmètre	64	9.5	Isolants liquides	99
6.5	Sensibilité d'un voltmètre	65	9.6	Isolants gazeux	99
6.6	Précision d'un voltmètre	66	9.7	Détérioration des isolants organiques	99
6.7	Ohmmètre	66	9.8	Durée de vie de l'équipement électrique	100
6.8	Mégohmmètre (Megger)	67	9.9	Classification thermique des isolants	100
6.9	Pont de Wheatstone	67	9.10	Résistivité électrique des isolants	100
6.10	Résumé	68	9.11	Rigidité diélectrique - phénomène de claquage	100
Problèmes – Chapitre 6		68	9.12	Ionisation d'un gaz	102
7	CONVENTIONS DE SIGNES POUR TENSIONS ET COURANTS	70	9.13	Conductivité thermique	104
7.1	Cas des distances	70	9.14	Résumé	105
7.2	Addition de distances négatives et positives	70	Problèmes – Chapitre 9		105
7.3	Méthode des deux indices	71	10	CONDUCTEURS ET RÉSISTANCES	106
			10.1	Bons conducteurs	106
			10.2	Conducteurs résistifs	106
			10.3	Formes des conducteurs	106
			10.4	Mils	107
			10.5	Circular mil, conducteurs ronds	107

13.5	Champ créé par plusieurs conducteurs	160	15.7	Produit énergétique	191
13.6	Champ produit par un courant dans une spire	161	15.8	Calcul d'un aimant permanent	192
13.7	Force magnétomotrice (FMM)	162	15.9	Variation du champ avec le temps et la température - point de Curie	193
13.8	Champ d'un solénoïde (bobine longue)	162	15.10	Aimantation et désaimantation d'un aimant permanent	193
13.9	Règle de la main droite pour un solénoïde	163	15.11	Conversion de l'énergie mécanique en énergie magnétique	193
13.10	Comparaison des champs produits par un aimant et un solénoïde à noyau d'air	163	15.12	Cycle d'hystérésis	194
13.11	Électro-aimants	163	15.13	Pertes par hystérésis	194
13.12	Applications des électro-aimants	164	15.14	Pertes par hystérésis dues à la rotation	196
13.13	Calcul des bobines pour électro-aimants	166	15.15	Résumé	196
13.14	Résumé	168	Problèmes - Chapitre 15		197
Problèmes - Chapitre 13		168			
14	CIRCUITS MAGNÉTIQUES	170	16	FORCES ÉLECTROMAGNÉTIQUES	198
14.1	Champ magnétique à l'intérieur d'un tore	170	16.1	Sens de la force agissant sur un conducteur rectiligne	198
14.2	Perméabilité magnétique	172	16.2	Intensité de la force	199
14.3	Explication de la perméabilité	172	16.3	Électrons et champ magnétique	200
14.4	Perméabilité relative	173	16.4	Force entre deux conducteurs	201
14.5	Courbe de saturation du fer	173	16.5	Cas d'un cadre rectangulaire	202
14.6	Densité de flux (B)	174	16.6	Conséquences des forces entre les courants	203
14.7	Champ magnétique (H)	175	16.7	Applications des forces électromagnétiques	204
14.8	Courbe d'aimantation $B-H$ du vide	175	16.8	Résumé	205
14.9	Courbe d'aimantation $B-H$ d'un matériau magnétique	176	Problèmes - Chapitre 16		205
14.10	Détermination de la perméabilité relative	176			
14.11	Analogie entre circuits électriques et circuits magnétiques	178	17	TENSION INDUITE DANS UN CONDUCTEUR	208
14.12	Solution des circuits magnétiques simples	178	17.1	Tension induite dans un conducteur	208
14.13	FMM de même sens et de sens contraires	182	17.2	Valeur de la tension induite	209
14.14	Flux de fuite	182	17.3	Tension induite dans un conducteur rectiligne	210
14.15	Le SI, le système CGS et le système anglais	183	17.4	Polarité de la tension induite	210
14.16	Résumé	183	17.5	Conducteur fermé sur une résistance	211
Problèmes - Chapitre 14		184	17.6	Forme d'onde de la tension induite	212
15	HYSTÉRÉSIS ET AIMANTS PERMANENTS	186	17.7	Tension induite dans un cadre	212
15.1	Énergie magnétique dans l'air	186	17.8	Courbe de la tension induite	214
15.2	Énergie magnétique dans un matériau magnétique	187	17.9	Courbe de la tension induite en fonction du temps	214
15.3	Force d'attraction agissant sur un matériau magnétique	187	17.10	Cycle et fréquence	214
15.4	Densité de flux rémanent et champ coercitif	188	17.11	Valeur de la tension induite	215
15.5	Types d'aimants permanents	189	17.12	Alternateur à cadre tournant	215
15.6	FMM et flux d'un aimant permanent	190	17.13	Génératrice à courant continu	216
			17.14	Amélioration de la forme d'onde	218
			17.15	Différence entre un alternateur et une dynamo	218
			17.16	Résumé	219
			Problèmes - Chapitre 17		219

18	INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE	220	20.7	Augmentation de la tension	252
18.1	Loi de l'induction électromagnétique	220	20.8	Transfert de charges par contact mécanique	252
18.2	Application 1 – Induction dans une bobine	221	20.9	Transfert de charges à l'aide d'une source de tension	253
18.3	Application 2 – Tension induite dans un cadre	221	20.10	Distribution des charges sur deux sphères conductrices	254
18.4	Application 3 – Induction mutuelle	222	20.11	Champ et lignes de force électriques	255
18.5	Application 4 – Générateur à réluctance variable	222	20.12	Spectres électriques	255
18.6	Champ magnétique et champ électrique	223	20.13	Ionisation – applications et inconvénients	256
18.7	Polarité de la tension induite – Loi de Lenz	224	20.14	Phénomènes atmosphériques	259
18.8	Méthode de mesure du flux	226	20.15	Paratonnerres	260
18.9	Tension appliquée et tension induite dans une bobine	227	20.16	Éclairs et lignes de transport	260
18.10	Résumé	229	20.17	Tension de tenue aux ondes de choc, BIL	261
Problèmes – Chapitre 18		229	20.18	Résumé	262
			Problèmes – Chapitre 20		262
19	INDUCTANCE	230	21	CAPACITANCE	264
19.1	Inductance mutuelle – le henry	230	21.1	Unité de capacitance – le farad	264
19.2	Self-inductance	231	21.2	Formes de condensateurs	265
19.3	Polarité de la tension induite	232	21.3	Constante diélectrique	266
19.4	Énergie emmagasinée dans le champ magnétique d'une bobine	233	21.4	Tension de service, capacitance et dimensions d'un condensateur	266
19.5	Fermeture d'un circuit inductif	234	21.5	Condensateurs en parallèle et en série	267
19.6	Constante de temps	235	21.6	Énergie dans un condensateur	268
19.7	Forme de la courbe exponentielle	237	21.7	Condensateurs au papier, au plastique et à l'huile	268
19.8	Ouverture d'un circuit inductif	238	21.8	Condensateurs au plastique métallisé	268
19.9	Méthodes de suppression des arcs	238	21.9	Condensateurs électrolytiques	269
19.10	Courant dans une inductance	240	21.10	Condensateurs électrolytiques à courant alternatif	270
FORMULES POUR CALCUL D'INDUCTANCES			21.11	Charge d'un condensateur	270
19.11	Bobine à noyau de fer ayant un entrefer	243	21.12	Décharge d'un condensateur	270
19.12	Bobine toroïdale à noyau d'air	243	21.13	Constante de temps	271
19.13	Bobine à noyau d'air	243	21.14	Courbes de charge et de décharge	271
19.14	Rouleau de fil à noyau d'air	244	21.15	Loi fondamentale pour un condensateur	272
19.15	Deux conducteurs parallèles	244	21.16	Tension variable sur un condensateur	274
19.16	Deux barres omnibus parallèles	244	21.17	Applications des condensateurs	274
19.17	Deux conducteurs concentriques	245	21.18	Condensateurs fonctionnant à courant alternatif	275
19.18	Résumé	245	FORMULES POUR CALCUL DE CAPACITANCES		
Problèmes – Chapitre 19		246	21.19	Capacitance de deux fils parallèles	276
20	PHÉNOMÈNES ÉLECTROSTATIQUES	250	21.20	Capacitance d'un câble coaxial	276
20.1	Le coulomb – unité de quantité d'électricité	250	21.21	Capacitance d'une sphère par rapport à une surface plane	277
20.2	Électrons libres dans un métal	250	21.22	Résumé	277
20.3	Transfert de charges et d.d.p.	250	Problèmes – Chapitre 21		279
20.4	Forces et énergie électrostatiques	251			
20.5	Décharge des corps	251			
20.6	Conversion de l'énergie mécanique en énergie électrostatique	252			

22	CIRCUITS SIMPLES À COURANT ALTERNATIF	280			
22.1	Forme d'onde sinusoïdale	280			
	CIRCUIT RÉSISTIF				
22.2	Circuit résistif	281			
22.3	Puissance dissipée dans une résistance	282			
22.4	Valeur efficace d'une tension ou d'un courant sinusoïdal	283			
	CIRCUIT CAPACITIF				
22.5	Circuit capacitif	285			
22.6	Réactance capacitive	286			
22.7	Puissance réactive dans un condensateur: le var capacitif	287			
	CIRCUIT INDUCTIF				
22.8	Circuit inductif	288			
22.9	Réactance inductive	289			
22.10	Puissance réactive dans une bobine: le var inductif	290			
22.11	Comparaison entre les circuits R, L et C	291			
22.12	Valeur moyenne d'un courant ou d'une tension périodique	291			
22.13	Valeur efficace d'un courant ou d'une tension périodique	293			
22.14	Temps, fréquence et l'angle θ	294			
22.15	Expressions généralisées d'une tension sinusoïdale	294			
22.16	Expressions avec angles en radians	296			
22.17	Résumé	296			
	Problèmes - Chapitre 22	296			
23	DIAGRAMMES VECTORIELS	299			
23.1	Somme de deux courants sinusoïdaux	299			
23.2	Concept de vecteur tournant	300			
23.3	Représentation d'une tension sinusoïdale	301			
23.4	Représentation de plusieurs vecteurs	303			
23.5	Addition de vecteurs	303			
23.6	Vecteurs négatifs et soustraction de vecteurs	304			
23.7	Vecteurs «détachés»	304			
23.8	Vecteurs et phaseurs	305			
	CALCUL VECTORIEL				
23.9	Représentation polaire d'un vecteur	306			
23.10	Représentation rectangulaire d'un vecteur	307			
23.11	Conversion polaire \Rightarrow rectangulaire	308			
23.12	Conversion rectangulaire \Rightarrow polaire	308			
23.13	Conjugué d'un vecteur	309			
23.14	Addition des vecteurs	309			
23.15	Multiplication des vecteurs	310			
23.16	Division de deux vecteurs	311			
23.17	Impédance d'un circuit	311			
23.18	Impédance vectorielle d'une résistance	312			
23.19	Impédance vectorielle d'une réactance inductive	312			
23.20	Impédance vectorielle d'une réactance capacitive	312			
23.21	Résumé	312			
	Problèmes - Chapitre 23	313			
24	SOLUTIONS DES CIRCUITS À COURANT ALTERNATIF	316			
24.1	Impédance d'un circuit	316			
24.2	Puissance apparente	317			
	SOLUTION DES CIRCUITS PAR LA MÉTHODE GRAPHIQUE (MÉTHODE 1)				
24.3	Solution graphique d'un circuit parallèle	317			
24.4	Solution graphique d'un circuit série	318			
24.5	Solution graphique d'un circuit mixte	319			
	SOLUTION DES CIRCUITS SIMPLES À L'AIDE DE FORMULES (MÉTHODE 2)				
24.6	Formules donnant l'impédance de deux éléments en série	319			
24.7	Formules donnant l'impédance de deux éléments en parallèle	321			
24.8	Circuits résonnants, fréquence de résonance	322			
24.9	Circuits résonnants série et parallèle	323			
	SOLUTION DES CIRCUITS PAR LE CALCUL VECTORIEL (MÉTHODE 3)				
24.10	Représentation vectorielle des éléments R, X_L , X_C	325			
24.11	Relation entre tension, courant et impédance	326			
24.12	Impédances des circuits série, parallèle et mixte	327			
24.13	Résolution de circuits quelconques	327			
24.14	Notation hybride	329			
24.15	Résumé	330			
	Problèmes - Chapitre 24	331			
25	PUISSANCE ACTIVE, RÉACTIVE ET APPARENTE	334			
25.1	Notions préliminaires	334			
25.2	Sources et charges actives	335			
25.3	Sources et charges réactives	335			
25.4	Mesure de la puissance active et réactive	337			
25.5	Charges active et réactive - puissance apparente	338			

25.6	Facteur de puissance	339	27.4	Enroulement imbriqué	380
25.7	Amélioration du facteur de puissance	340	27.5	Position des balais et zones neutres	382
25.8	Systèmes comprenant plusieurs charges	342	27.6	Génératrices multipolaires	382
25.9	Résolution des circuits par la méthode des puissances	343	PROPRIÉTÉS D'UNE GÉNÉRATRICE À C.C.		
25.10	Transport de puissances P et Q entre deux sources de tension	345	27.7	Valeur de la tension induite	384
25.11	Valeur de la puissance active	346	27.8	Réaction d'induit	384
25.12	Valeur de la puissance réactive	346	27.9	Pôles de commutation	386
25.13	Commande des puissances active et réactive	347	27.10	Génératrice à excitation séparée	387
CALCUL VECTORIEL			27.11	Fonctionnement à vide	387
25.14	Puissances sous forme vectorielle	350	27.12	Génératrice à excitation shunt	387
25.15	Sens arbitraires des courants: effet sur les diagrammes vectoriels	352	27.13	Réglage de la tension	388
25.16	Résumé	353	27.14	Génératrice en charge	389
Problèmes - Chapitre 25		353	27.15	Génératrice compound additive	390
26	CIRCUITS TRIPHASÉS	356	27.16	Génératrice compound différentielle	391
26.1	Alternateur diphasé	356	27.17	Caractéristiques en charge	391
26.2	Alternateur triphasé	357	27.18	Spécifications d'une génératrice	391
26.3	Montage en étoile	358	27.19	Commutation du courant de charge	391
26.4	Propriétés du montage en étoile	359	27.20	Résumé	393
26.5	Charges raccordées en étoile et en triangle	361	Problèmes - Chapitre 27		394
26.6	Puissance transportée par une ligne triphasée	363	28	MOTEURS À COURANT CONTINU	396
26.7	Résolution des circuits triphasés	364	28.1	Force contre-électromotrice	396
26.8	Charges industrielles	365	28.2	Accélération du moteur	397
26.9	Séquence des phases	367	28.3	Expression du couple	398
26.10	Détermination de la séquence des phases	369	28.4	Expression de la vitesse	401
26.11	Mesure de la puissance active (circuits triphasés à 3 fils)	369	28.5	Réglage de la vitesse par la tension de l'induit	401
26.12	Mesure de la puissance active (circuits triphasés à 4 fils)	371	28.6	Réglage de la vitesse par le flux de l'inducteur	403
26.13	Mesure de la puissance réactive	371	28.7	Marche du moteur shunt en charge	404
26.14	Puissance instantanée d'un circuit triphasé	371	28.8	Démarrage d'un moteur shunt	404
26.15	Mesure de la puissance instantanée	372	28.9	Démarrateur manuel pour moteur shunt	405
26.16	Résumé	372	28.10	Moteur série	405
Problèmes - Chapitre 26		373	28.11	Réglage de la vitesse d'un moteur série	406
PARTIE II MACHINES ÉLECTRIQUES ET TRANSFORMATEURS			28.12	Emploi du moteur série	407
27	GÉNÉRATRICES À COURANT CONTINU	377	28.13	Moteur compound	407
CONSTRUCTION D'UNE GÉNÉRATRICE À C.C.			28.14	Inversion du sens de rotation	408
27.1	Inducteur	377	28.15	Énergie cinétique de rotation et arrêt d'un moteur	408
27.2	Induit	378	28.16	Freinage dynamique	409
27.3	Collecteur et balais	379	28.17	Freinage par inversion	410
			28.18	Constante de temps mécanique d'un système de freinage	411
			28.19	Enroulement de compensation	412
			28-20	Moteurs à aimant permanent	413
			PRINCIPES FONDAMENTAUX DES ENTRAÎNEMENTS ÉLECTRIQUES		
			28.21	Les quatre quadrants de fonctionnement	414
			28.22	Courbe du couple en fonction de la vitesse	416

28.23	Courbes $T - n$ relatives	416			
28-24	Résumé	419			
	Problèmes - Chapitre 28	419			
29	PERTES, ÉCHAUFFEMENT ET RENDEMENT DES MACHINES ÉLECTRIQUES	422			
29.1	Pertes mécaniques	422			
29.2	Pertes électriques dans les conducteurs	422			
29.3	Pertes électriques dans le fer	423			
29.4	Courants de Foucault dans un noyau stationnaire	425			
29.5	Variation des pertes avec la charge	426			
29.6	Puissance et capacité de surcharge	426			
29.7	Courbe de rendement	426			
29.8	Normes d'échauffement	427			
29.9	Mesure de l'échauffement	430			
	FACTEURS AFFECTANT LA GROSSEUR ET LE RENDEMENT DES MACHINES ÉLECTRIQUES				
29.10	Impact de la tension nominale sur les dimensions	431			
29.11	Variation des dimensions et du rendement en fonction de la puissance nominale	431			
29.12	Variation des dimensions avec la vitesse nominale	434			
29.13	Couple nominal et dimensions d'une machine	435			
29.14	Résumé	436			
	Problèmes - Chapitre 29	437			
30	TRANSFORMATEURS	440			
30.1	Tension induite dans une bobine	440			
30.2	Tension appliquée et tension induite	441			
30.3	Transformateur élémentaire	442			
30.4	Marques de polarité d'un transformateur	443			
30.5	Propriétés des marques de polarité	443			
	LE TRANSFORMATEUR IDÉAL				
30.6	Le transformateur idéal à vide; rapport de transformation	444			
30.7	Transformateur idéal en charge; rapport des courants	445			
30.8	Conventions et représentation symbolique d'un transformateur idéal	446			
30.9	Rapport d'impédance	448			
30.10	Déplacement des impédances du secondaire au primaire et vice versa	449			
	TRANSFORMATEURS UTILISÉS EN PRATIQUE				
30.11	Transformateur idéal comportant un noyau réel	451			
30.12	Transformateur idéal à couplage partiel	453			
30.13	Réactances de fuite au primaire et au secondaire	454			
30.14	Circuit équivalent d'un transformateur	455			
30.15	Simplification du circuit équivalent	456			
30.16	Construction du transformateur	458			
30.17	Marques de polarité d'un transformateur de puissance	459			
30.18	Test de polarité	460			
30.19	Réglage de la tension; transformateur à rapport variable	461			
30.20	Courbe de saturation et tension d'utilisation	461			
30.21	Pertes, rendement et capacité d'un transformateur	462			
30.22	Refroidissement des transformateurs	465			
30.23	Application du système p.u. aux transformateurs	467			
30.24	Impédances d'un transformateur exprimées en p.u.	468			
30.25	Mesure des impédances d'un transformateur	470			
30.26	Transformateurs en parallèle	473			
30.27	Résumé	475			
	Problèmes - Chapitre 30	475			
31	TRANSFORMATEURS SPÉCIAUX	478			
31.1	Transformateur à secondaire double	478			
31.2	Autotransformateur	479			
31.3	Transformateur conventionnel monté en autotransformateur	480			
31.4	Transformateurs de tension	482			
31.5	Transformateurs de courant	483			
31.6	Transformateur de courant toroïdal	485			
31.7	Danger lorsque le secondaire d'un transformateur de courant est ouvert	486			
31.8	Autotransformateur variable	486			
31.9	Transformateurs à haute impédance	487			
31.10	Transformateurs pour fours à induction	489			
31.11	Transformateur à 3 enroulements	490			
31.12	Transformateurs ayant un courant magnétisant important	492			
31.13	Modèle de transformateur spécial	492			
31.14	Analyse d'un transformateur spécial lorsque le rapport des nombres de spires est inconnu	494			

31.15	Circuit couplé généralisé	496	33.15	Effet de la résistance du rotor	538
31.16	Transformateurs à haute fréquence	497	33.16	Moteur à rotor bobiné	542
31.17	Bloc d'alimentation conventionnel	498	33.17	Bobinages triphasés	543
31.18	Alimentation à découpage	498	33.18	Principe du moteur linéaire	546
31.19	Résumé	501	33.19	Moteur d'induction linéaire	547
Problèmes – Chapitre 31		501	33.20	Déplacement d'un champ magnétique linéaire	547
32	TRANSFORMATEURS TRIPHASÉS	504	33.21	Propriétés du moteur linéaire	548
32.1	Montage triangle-triangle	504	33.22	Sustentation magnétique	550
32.2	Montage triangle-étoile	505	33.23	Résumé	551
32.3	Montage étoile-triangle	507	Problèmes – Chapitre 33		551
32.4	Montage étoile-étoile	507	34	APPLICATIONS DES MACHINES ASYNCHRONES TRIPHASÉES	556
32.5	Montage en triangle ouvert	507	34.1	Standardisation et classification des moteurs asynchrones	556
32.6	Transformateurs triphasés	508	34.2	Classification selon les conditions environnementales	556
32.7	Autotransformateur survolteur – dévolteur et puissance intrinsèque	509	34.3	Classification selon les caractéristiques électriques et mécaniques	558
32.8	Déphasage des tensions des transformateurs	512	34.4	Grosseur des moteurs	559
32.9	Transformation triphasé-hexaphasée	513	34.5	Choix de la vitesse des moteurs asynchrones	559
32.10	Transformation triphasé-diphasé	513	34.6	Moteurs à deux vitesses	560
32.11	Transformateur à déphasage variable	515	34.7	Moteur asynchrone fonctionnant comme frein	562
32.12	Régulation de tension	517	34.8	Effets de l'inertie	563
32.13	Transformation d'une charge monophasée en triphasée	519	34.9	Freinage par courant continu	563
32.14	Marques de polarité des transformateurs triphasés	521	34.10	Conditions anormales de fonctionnement	564
32.15	Résumé	521	34.11	Surcharge mécanique	564
Problèmes – Chapitre 32		522	34.12	Variation de la tension d'alimentation	564
33	MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS	524	34.13	Rupture d'un fil d'alimentation	565
33.1	Parties principales	524	34.14	Variation de la fréquence	565
33.2	Principe de fonctionnement du moteur asynchrone	527	34.15	Moteur asynchrone fonctionnant comme génératrice	566
33.3	Champ tournant	527	34.16	Convertisseur de fréquence	568
33.4	Sens de rotation	530	34.17	Caractéristique couple/vitesse complète d'une machine asynchrone	570
33.5	Nombre de pôles – vitesse synchrone	530	34.18	Expression du couple en fonction de la vitesse	570
33.6	Démarrage du moteur à cage d'écureuil	531	LA MACHINE ASYNCHRONE À DOUBLE ALIMENTATION		
33.7	Accélération du rotor et glissement	532	34.19	Moteur asynchrone à double alimentation	574
33.8	Moteur en charge	532	34.20	Moteur à double alimentation en mode sous-synchrone	576
33.9	Glissement et vitesse de glissement	532	34.21	Moteur à double alimentation en mode hyper-synchrone	576
33.10	Tension et fréquence induites dans le rotor	533			
33.11	Caractéristiques des moteurs à cage d'écureuil	534			
33.12	Calcul approximatif des caractéristiques d'un moteur	535			
33.13	Cheminement de la puissance active	536			
33.14	Courbes du couple en fonction de la vitesse	539			

34.22	Générateur asynchrone à double alimentation	576	36	ALTERNATEURS TRIPHASÉS	616
34.23	Résumé	581	36.1	Principe des alternateurs de grande puissance	616
Problèmes – Chapitre 34		581	36.2	Nombre de pôles	617
35	LA MACHINE ASYNCHRONE: CIRCUIT ÉQUIVALENT ET VARIATION DE LA VITESSE	585	36.3	Stator	617
35.1	Le moteur à rotor bobiné	585	36.4	Rotor	619
35.2	Diagramme vectoriel d'un moteur asynchrone	588	36.5	Excitatrice	621
35.3	Puissances électrique, mécanique et thermique	589	36.6	Excitation sans balais	621
35.4	Puissance transmise au rotor et puissance mécanique	589	36.7	Facteurs affectant la grosseur des alternateurs	622
35.5	Couple et vitesse de décrochage et couple de démarrage	590	36.8	Marche à vide: courbe de saturation	624
35.6	Circuits équivalents de deux moteurs industriels	591	36.9	Circuit équivalent d'un alternateur: réactance synchrone	624
35.7	Moteur de 5 hp: calcul des grandeurs lors du décrochage	591	36.10	Détermination de la valeur de X_s	625
35.8	Courbe du couple en fonction de la vitesse	592	36.11	Impédance de base d'un alternateur: valeur relative de X_s	626
35.9	Propriétés d'une génératrice asynchrone	593	36.12	Rapport de court-circuit	627
35.10	Mesure des paramètres	595	36.13	Alternateur en charge	628
	VARIATION DE LA VITESSE D'UN MOTEUR ASYNCHRONE		36.14	Courbes de régulation	628
35.11	Moteur à vitesse variable et couple constant	597	36.15	Synchronisation des alternateurs	631
35.12	Couple et courant en fonction de la vitesse de glissement	598	36.16	Synchronisation au moyen de lampes	631
35.13	Modification du circuit équivalent selon la fréquence d'opération	602	36.17	Alternateur branché sur un réseau infini	632
35.14	Plage d'opération lorsque la tension et la fréquence sont variables	603	36.18	Interprétation physique du fonctionnement d'un alternateur	634
35.15	Flux du stator dans une machine asynchrone et le rapport volts/hertz	603	36.19	Puissance active débitée	635
35.16	Commande du couple et de la vitesse	604	36.20	Commande de la puissance débitée	636
35.17	Couple et vitesse lors du décrochage	606	36.21	Constante d'inertie H	636
35.18	Freinage par récupération d'énergie	607	36.22	Réactance transitoire	637
35.19	Fonctionnement en survitesse	609	36.23	Résumé	639
35.20	Fonctionnement en survitesse: aperçu préliminaire	609	Problèmes – Chapitre 36		640
35.21	Autres façons de présenter les caractéristiques du moteur	612	37	MOTEURS SYNCHRONES	643
35.22	Résumé	613	37.1	Construction	643
Problèmes – Chapitre 35		613	37.2	Démarrage du moteur synchrone	644
			37.3	Accrochage du rotor	645
			37.4	Moteur en charge – description	646
			37.5	Moteur en charge – puissance et couple	646
			37.6	Angles électrique et mécanique	648
			37.7	Caractéristiques générales d'un moteur synchrone	649
			37.8	Excitation et puissance réactive d'un moteur synchrone	650
			37.9	Facteur de puissance: courbes en V	650
			37.10	Compensateur synchrone	652
			37.11	Couple de réluctance	653
			37.12	Arrêt du moteur	655
			37.13	Usages du moteur synchrone, comparaison avec le moteur asynchrone	656
			37.14	Résumé	657
			Problèmes – Chapitre 37		657

38	MOTEURS MONOPHASÉS	660	39.14	Moteurs pas à pas et entraînements linéaires	701
38.1	Construction d'un moteur asynchrone monophasé	660	39.15	Résumé	702
38.2	Vitesse synchrone	662	Problèmes – Chapitre 39		702
38.3	Couple en fonction de la vitesse	663	PARTIE III ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE ET SYSTÈMES D'ENTRAÎNEMENT		
38.4	Principe de fonctionnement	663	40	COMMANDE INDUSTRIELLE DES MOTEURS	706
38.5	Démarrage par phase auxiliaire	664	40.1	Dispositifs de commande	706
38.6	Moteur à phase auxiliaire résistive	664	40.2	Contacts normalement ouverts et normalement fermés	711
38.7	Moteur à démarrage par condensateur	667	40.3	Courant d'excitation d'une bobine de maintien	711
38.8	Caractéristiques en charge des moteurs asynchrones	667	40.4	Diagrammes de commande	711
38.9	Vibration des moteurs monophasés	668	40.5	Procédés de démarrage	712
38.10	Moteur à condensateur permanent	670	40.6	Démarrateurs manuels	714
38.11	Inversion du sens de rotation	671	40.7	Démarrateurs magnétiques	714
38.12	Moteur à bagues de court-circuit («Shaded-pole motor»)	671	40.8	Marche par à-coups («jogging»)	718
38.13	Moteur série	672	40.9	Inversion du sens de rotation	719
38.14	Moteur à répulsion-induction	673	40.10	Freinage par inversion	720
38.15	Moteur à hystérésis	673	40.11	Démarrage à tension réduite	720
38.16	Moteur synchrone à réluctance variable	675	40.12	Démarrage par résistances	722
38.17	Choix des moteurs monophasés	675	40.13	Démarrage par autotransformateurs	725
38.18	Systèmes d'entraînement synchro	676	40.14	Autres méthodes de démarrage	727
	CIRCUIT ÉQUIVALENT D'UN MOTEUR MONOPHASÉ À CAGE		40.15	Commutateurs à cames	707
38.19	Répartition de la FMM	677	40.16	Systèmes d'entraînements spéciaux	728
38.20	FMM tournantes dans un moteur monophasé	678	AUTOMATES PROGRAMMABLES		
38.21	Déduction du circuit équivalent du moteur monophasé	679	40.17	Introduction	729
38.22	Résumé	681	40.18	Capacités des automates programmables industriels	729
Problèmes – Chapitre 38		682	40.19	Les éléments d'un système de commande	729
39	MOTEURS PAS À PAS	684	40.20	Exemples d'utilisation d'un automate programmable	732
39.1	Moteur pas à pas élémentaire	684	40.21	Parties d'un automate programmable industriel	734
39.2	Effet de l'inertie	685	40.22	L'unité centrale de traitement	734
39.3	Effet d'une charge mécanique	686	40.23	Console de programmation	734
39.4	Couple en fonction du courant	687	40.24	Les modules d'entrée/sortie	735
39.5	Mode de rotation pas à pas	687	40.25	Structure des modules d'entrée	736
39.6	Mode de rotation en survitesse	688	40.26	Structure des modules de sortie	736
39.7	Accélération et décélération progressive («ramping»)	689	40.27	Modularité des automates programmables industriels	737
39.8	Types de moteurs pas à pas	689	40.28	Les entrées et sorties à distance	738
39.9	Enroulements et systèmes d'excitation	693	40.29	Circuits conventionnels et circuits d'automate programmable	738
39.10	Fonctionnement à haute vitesse	697	40.30	Règle de sécurité	739
39.11	Méthodes pour réduire la constante de temps	698	40.31	La programmation	739
39.12	Système d'excitation à deux niveaux de tension («bilevel drive»)	698			
39.13	Instabilité et résonance	701			

40.32	Les langages de programmation	740	42	ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE	784
40.33	Le diagramme en échelle	740	42.1	Différence de potentiel entre les bornes des éléments de base	784
40.34	Le langage booléen	741	42.2	La diode	785
40.35	Le Grafcet	741	42.3	Caractéristiques principales d'une diode	786
40.36	Avantages et inconvénients des automates programmables	741		CIRCUITS UTILISANT DES DIODES	
	MODERNISATION D'UNE INDUSTRIE GRÂCE AU API		42.4	Chargeur d'accumulateur avec résistance	787
40.37	Planification du changement	743	42.5	Chargeur d'accumulateur avec inductance	788
40.38	Le personnel apprend à maîtriser les API	744	42.6	Redresseur en pont monophasé	789
40.39	Liaisons entre les API	744	42.7	Filtres	790
40.40	Programmation des API	745	42.8	Redresseur triphasé à 3 pulsations	792
40.41	Évolutions vers une entreprise virtuelle	747	42.9	Redresseur en pont triphasé	795
40.42	Résumé	747	42.10	Courant efficace, courant fondamental et harmoniques	799
	Problèmes - Chapitre 40	748	42.11	Propriétés du thyristor	800
41	LES HARMONIQUES	751	42.12	Principe d'amorçage	802
41.1	Composition d'une onde distorsionnée	751	42.13	Puissance de commande	803
41.2	Harmoniques et diagrammes vectoriels	753	42.14	Principe de blocage	803
41.3	Valeurs efficaces d'une onde distorsionnée	753		CIRCUITS DE BASE UTILISANT DES THYRISTORS	
41.4	Facteur crête et facteur de distorsion (THD)	754	42.15	Circuit 1 - Redresseur contrôlé alimentant une charge passive	805
41.5	Harmoniques et circuits	755	42.16	Circuit 2 - Redresseur contrôlé alimentant une charge active	806
41.6	FP total et FP de déplacement	756	42.17	Circuit 3 - Onduleur non autonome	807
41.7	Charges non linéaires	756	42.18	Circuit 4 - Contacteur électronique et gradateur	809
41.8	Génération des harmoniques	758	42.19	Circuit 5 - Cycloconvertisseur	809
41.9	Génération d'une puissance réactive	760	42.20	Circuit 6 - Onduleur autonome	810
	EFFET DES HARMONIQUES		42.21	Circuit 7 - Hacheur	812
41.10	Courant harmonique dans un condensateur	761		CONVERTISSEUR TRIPHASÉ CONTROLÉ À THYRISTORS	
41.11	Courants harmoniques dans un conducteur	762	42.22	Convertisseur triphasé en pont	812
41.12	Tension harmonique et flux dans une bobine	763	42.23	Principe de fonctionnement en mode redresseur contrôlé	812
41.13	Courants harmoniques dans une ligne triphasée avec neutre	764	42.24	Principe de fonctionnement en mode onduleur	814
41.14	Harmoniques et résonance	765	42.25	Convertisseur triphasé contrôlé alimentant une charge active	815
41.15	Filtres harmoniques	770	42.26	Commutation retardée - mode redresseur	816
41.16	Harmoniques dans les réseaux publics	772	42.27	Commutation retardée - mode onduleur	818
41.17	Courants harmoniques dans les transformateurs: le facteur K	774	42.28	Plage de commutation	818
	ANALYSE HARMONIQUE		42.29	Circuit équivalent d'un convertisseur	818
41.18	Procédure pour analyser une onde périodique	776	42.30	Courants dans un convertisseur triphasé en pont	820
41.19	Résumé	780	42.31	Facteur de puissance	821
	Problèmes - Chapitre 41	781			

42.32	Période de commutation	822	42.62	Convertisseur monophasé à deux niveaux en demi-pont	858			
42.33	Commutation naturelle	823	42.63	Convertisseur monophasé à trois niveaux	859			
42.34	Angle de marge	825	42.64	Réalisation d'un convertisseur à trois niveaux	860			
42.35	Encoches de commutation	827	42.65	Commande de la tension générée par un convertisseur à trois niveaux à onde carrée	861			
HACHEURS CONTINU-CONTINU								
42.36	Thyristor et GTO – caractéristiques	827	42.66	Réduction des harmoniques générées par un convertisseur à trois niveaux	861			
42.37	Le BJT – caractéristiques	828	42.67	Convertisseur triphasé à trois niveaux	861			
42.38	Le MOSFET – caractéristiques	828	42.68	Convertisseur à trois niveaux à MLI	864			
42.39	L'IGBT – caractéristiques	829	42.69	Convertisseur continu-triphasé à MLI à trois niveaux	864			
42.40	Applications du hacheur	829	42.70	Résumé	866			
42.41	Hacheur continu-continu à deux quadrants	829	Problèmes – Chapitre 42		868			
42.42	Le hacheur vu comme un transformateur à c.c.	832	43 ENTRAÎNEMENT ÉLECTRONIQUE DES MOTEURS À COURANT CONTINU 873					
42.43	Ondulation du courant continu	832						
42.44	Courant I_H débité par la source	833						
42.45	Hacheur électronique continu-continu	836						
42.46	Hacheurs dévolteur et survolteur	837						
42.47	Hacheur à 4 quadrants	837						
42.48	Pertes dues à la commutation	839						
CONVERTISSEURS CONTINU-ALTERNATIF								
42.49	Convertisseur continu-alternatif à onde carrée	841				43.1	Entraînement limité au quadrant 1	873
42.50	Convertisseur continu-continu à modulation de la largeur d'impulsion (MLI)	841				43.2	Entraînement dans les quadrants 1 et 4 par inversion du champ	876
42.51	Création de formes d'ondes alternatives quelconques	842	43.3	Entraînement dans les quadrants 1 et 4 par inversion de l'induit	877			
42.52	Convertisseur continu-alternatif à onde sinusoïdale	844	43.4	Entraînement dans les quadrants 1 et 4 utilisant deux convertisseurs	877			
42.53	Génération d'une tension sinusoïdale	845	43.5	Entraînement avec courant de circulation	878			
42.54	Tensions MLI et volts-secondes	846	43.6	Entraînement électronique dans les quadrants 1 et 2	880			
42.55	Autres méthodes de commutation	846	43.7	Fonctionnement dans les 4 quadrants	881			
42.56	Réalisation graphique de la MLI pour convertisseur à 2 quadrants	847	43.8	Redresseur en pont avec diode de roue libre	882			
42.57	Réalisation graphique de la MLI pour convertisseur à 4 quadrants (mode bipolaire)	848	43.9	Redresseur mixte	885			
42.58	Réalisation graphique de la MLI pour convertisseur à 4 quadrants (mode unipolaire)	850	43.10	Hacheurs et machines à c.c.	887			
42.59	Convertisseur continu-triphasé	850	43.11	Application des hacheurs aux systèmes de traction	888			
42.60	Convertisseur triphasé: MLI par le calcul de trois rapports cycliques	855	43.12	Entraînement d'un moteur shunt utilisant un convertisseur c.c. - c.c.	891			
CONVERTISSEURS À TROIS NIVEAUX								
42.61	Convertisseur monophasé à deux niveaux en pont	857	43.13	Introduction aux moteurs sans balais	896			
			43.14	Remplacement du collecteur	897			
			43.15	Moteur synchrone fonctionnant en machine à c.c.	898			
			43.16	Distinction entre un moteur synchrone et un moteur synchrone autopiloté	899			
			43.17	Application d'un moteur à c.c. sans balais	900			
			43.18	Résumé	902			
			Problèmes – Chapitre 43		902			

CENTRALES HYDRAULIQUES		PRODUCTION DÉCENTRALISÉE		
45.8	Puissance disponible	989	45.38 Émergence de la production décentralisée	1018
45.9	Types de centrales hydrauliques	989	45.39 Cogénération	1019
45.10	Parties principales d'une centrale hydraulique	991	45.40 Technologies utilisées pour la génération décentralisée	1019
45.11	Centrales à réserve pompée	992	45.41 Exemple de microturbine avec cogénération	1020
CENTRALES THERMIQUES			45.42 Résumé	1022
45.12	La combustion	994	Problèmes – Chapitre 45	1024
45.13	Les éléments combustibles	994		
45.14	Produits de la combustion	995		
45.15	Organisation d'une centrale thermique	995	46 TRANSPORT DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE	1026
45.16	Turbines	997	46.1 Organisation d'un réseau de transport d'énergie	1026
45.17	Condenseur	997	46.2 Types de lignes	1027
45.18	Tours de refroidissement	998	46.3 Tensions normalisées	1028
45.19	Pompe d'alimentation en eau	998		
45.20	Diagramme énergétique d'une centrale thermique	998		
CENTRALES NUCLÉAIRES			RÉALISATION PRATIQUE D'UNE LIGNE AÉRIENNE	
45.21	Composition du noyau atomique	1000	46.4 Composants d'une ligne	1028
45.22	Énergie libérée par la fission atomique	1000	46.5 Construction d'une ligne	1031
45.23	Source de l'uranium	1001	46.6 Lignes galopantes	1031
45.24	Réaction en chaîne	1001	46.7 Effet couronne – interférences radiophoniques	1031
45.25	Types de réacteurs	1002	46.8 Pollution	1031
45.26	Exemple de réacteur à eau lourde: réacteur CANDU	1003	46.9 Fils de garde	1031
45.27	Exemple de réacteur à eau légère	1005	46.10 Mise à la terre des pylônes	1031
45.28	Principe du réacteur surrégénérateur	1006		
45.29	Réaction nucléaire par fusion	1007	PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES DES LIGNES DE TRANSPORT	
PARCS D'ÉOLIENNES			46.11 Circuit équivalent d'une ligne	1032
45.30	Propriétés du vent	1007	46.12 Simplification du circuit équivalent	1033
45.31	Technologies de production d'électricité à partir de l'énergie éolienne	1009	46.13 Valeurs des impédances de ligne	1034
45.32	Turbine éolienne entraînant une génératrice à c.c.	1009	46.14 Variation de la tension et puissance maximale transportable	1032
45.33	Turbine éolienne entraînant une génératrice asynchrone à vitesse constante	1009	46.15 Ligne résistive	1035
45.34	Turbine éolienne entraînant une génératrice asynchrone à vitesse variable	1010	46.16 Ligne inductive	1036
45.35	Turbine éolienne entraînant une génératrice asynchrone à double alimentation	1011	46.17 Ligne inductive avec compensation	1037
45.36	Turbine éolienne et génératrice à aimants permanents à couplage direct	1012	46.18 Ligne inductive reliant deux réseaux	1038
45.37	Exemples de parcs éoliens	1013	46.19 Récapitulation de la puissance transportée	1039
			46.20 Choix de la tension de ligne	1040
			46.21 Méthodes pour augmenter la puissance transportable	1041
			46.22 Transport de l'énergie à très haute tension	1044
			46.23 Échanges de puissance	1046
			46.24 Puissances d'une ligne souterraine	1048
			46.25 Résumé	1049
			Problèmes – Chapitre 46	1049

47	DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE	1053	48	COÛT DE L'ÉLECTRICITÉ – TARIFICATION	1089
	POSTES DE TRANSFORMATION ET D'INTERCONNEXION HT ET MT		48.1	Tarification basée sur l'énergie	1089
47.1	Appareillage d'un poste de transformation	1053	48.2	Tarification basée sur l'appel de puissance	1089
47.2	Disjoncteurs	1053	48.3	Indicateur d'appel de puissance	1090
47.3	Interrupteurs à cornes	1056	48.4	Tarification basée sur la puissance apparente	1093
47.4	Sectionneurs	1059	48.5	Tarification basée sur la catégorie de client	1094
47.5	Sectionneurs de mise à la terre	1059	48.6	Facture d'un abonné régulier	1094
47.6	Parafoudres	1059	48.7	Facture d'un abonné de moyenne puissance	1096
47.7	Réactances	1062	48.8	Détermination de la puissance à facturer	1096
47.8	Exemple de poste de transformation – le poste La Suète	1064	48.9	Facture d'un abonné de grande puissance	1096
47.9	La Suète – Distribution MT	1067	48.10	Correction globale du <i>FP</i> d'une usine	1097
47.10	Réseau souterrain de centre-ville	1068	48.11	Cas d'un four à induction	1098
47.11	Sainte-Foy – Distribution BT	1068	48.12	Compteur d'énergie ou wattheuremètre	1099
	LIGNES DE DISTRIBUTION MT		48.13	Fonctionnement du wattheuremètre	1100
47.12	Coordination de la protection	1069	48.14	Interprétation de la plaque signalétique, lecture du compteur	1101
47.13	Coupe-circuit à expulsion dirigée	1070	48.15	Mesure de l'énergie triphasée	1102
47.14	Disjoncteur à réenclenchement automatique («recloser»)	1071	48.16	Résumé	1102
47.15	Autosectionneur («sectionalizer»)	1071		Problèmes – Chapitre 48	1103
47.16	Résumé de la protection MT	1072			
	SYSTÈMES DE DISTRIBUTION BT		49	TRANSPORT DE L'ÉNERGIE À COURANT CONTINU	1107
47.17	Systèmes de distribution BT	1072	49.1	Particularités du transport à c.c.	1107
47.18	Mise à la terre (MALT) des installations électriques	1074	49.2	Principe fondamental d'un système de transport à c.c.	1108
47.19	Choc électrique	1074	49.3	Relations entre tension, courant et puissance	1110
47.20	Mise à la terre des systèmes de distribution à 120 V et à 120/240 V	1075	49.4	Fluctuations de la puissance	1111
47.21	Mise à la terre de l'équipement électrique	1076	49.5	Caractéristiques <i>E-I</i> des convertisseurs	1112
47.22	Disjoncteur différentiel de courant de fuite	1078	49.6	Contrôle de la puissance	1113
	INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES À L'INTÉRIEUR DES BÂTIMENTS		49.7	Effet des fluctuations de tension	1114
47.23	Éléments principaux d'une installation électrique	1080	49.8	Inversion de la puissance	1114
47.24	Appareillage dans une maison	1082	49.9	Ligne bipolaire	1115
47.25	Commutateurs à trois et à quatre directions	1082	49.10	Composants d'une ligne de transport à c.c.	1116
47.26	Installations commerciales et industrielles	1084	49.11	Inductances et filtres du côté c.c.	1116
47.27	Alimentation d'un moteur	1084	49.12	Transformateurs de convertisseur	1116
47.28	Résumé	1086	49.13	Source de puissance réactive	1117
Problèmes – Chapitre 47		1086	49.14	Filtres harmoniques du côté c.a.	1117
			49.15	Liaison de communication	1117
			49.16	Électrode de mise à la terre	1117
			49.17	Exemple d'un convertisseur monopolaire	1117

49.18	Poste de conversion à 12 pulsations	1118	CONVERTISSEURS STATIQUES POUR	
49.19	Types d'installations	1121	RÉSEAUX DE DISTRIBUTION	
49.20	Ligne multiterminale de la Baie James à la Nouvelle-Angleterre	1124	50.12	Perturbations et qualité de l'onde 1158
	MLI APPLIQUÉE AU TRANSPORT D'ÉNERGIE À COURANT CONTINU		50.13	Pourquoi utiliser des convertisseurs MLI ? 1161
49.21	Transport d'énergie à c.c. aux sites isolés	1130	50.14	Réseau de distribution 1162
49.22	Composition d'une génératrice statique	1132	50.15	Compensateurs et analyse du circuit 1163
49.23	Vue d'ensemble du système de transport	1132	50.16	Le compensateur shunt: principe de fonctionnement 1163
49.24	Commande de la puissance active	1134	50.17	Le compensateur série: principe de fonctionnement 1170
49.25	Exemple de système c.c. à MLI alimentant un site éloigné	1134		RÉGULATEUR DE PUISSANCE INTERPHASE
49.26	Résumé	1136	50.18	Transfert de puissance entre deux régions 1174
Problèmes – Chapitre 49		1137	50.19	Régulateur de puissance interphase 1174
			50.20	Résumé 1176
				Problèmes – Chapitre 50 1177
50	CONTRÔLEURS STATIQUES DE RÉSEAUX	1139	APPENDICES	1179
	CONTRÔLEURS POUR RÉSEAUX DE TRANSPORT		A-1	CONVERSION DES UNITÉS DE MESURE 1180
50.1	Le compensateur statique (SVC)	1140	A-2	PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX ISOLANTS 1183
50.2	Caractéristique V-I d'un compensateur statique	1141	A-3	PROPRIÉTÉS DES CONDUCTEURS (ET ISOLANTS) USUELS 1184
50.3	Fonctionnement de l'inductance commandée par thyristors	1142	A-4	PROPRIÉTÉS DES CONDUCTEURS ROND EN CUIVRE 1185
50.4	Composante efficace du courant fondamental	1143	A-5	LA MACHINE ASYNCHRONE: RELATIONS FONDAMENTALES 1186
50.5	Système de commande et temps de réponse du convertisseur statique	1144	RÉPONSES AUX PROBLÈMES	1193
50.6	Capacitance série commandée par thyristors (TCSC)	1144	INDEX	1199
50.7	TCSC à contrôle continu	1146	QUELQUES TABLEAUX DE RÉFÉRENCE	1208
50.8	Compensateur statique synchrone (STATCOM)	1148	FORMULES LES PLUS COURANTES	1210
50.9	Élimination des harmoniques	1151	LISTE DE SITES WEB	1214
50.10	Contrôleur de puissance universel (UPFC)	1152		
50.11	Convertisseur statique de fréquence	1156		

ÉLECTROTECHNIQUE

• WILDI • SYBILLE •

La quatrième édition de *Électrotechnique* donne au lecteur une vue d'ensemble de l'électrotechnique moderne. Au fil des 50 chapitres entièrement révisés, sont traités les lois fondamentales de l'électricité, des circuits électriques, des machines électriques, de l'électronique de puissance, les harmoniques, de même que la production, le transport et la distribution de l'énergie électrique. Le livre est structuré en quatre parties :

1. Notions fondamentales et circuits
2. Machines électriques et transformateurs
3. Électronique de puissance
4. Réseaux électriques.

Cette nouvelle édition présente également plusieurs sujets nouveaux, tels que la génération de l'électricité par des éoliennes, la production décentralisée de l'énergie électrique, le dimensionnement des machines électriques, le convertisseur à trois niveaux, et l'utilité des transformateurs à haute fréquence.

Fidèle à sa vocation première, cet ouvrage traite les différents sujets en termes simples et toujours appuyés par les principes de base, en suivant une progression graduelle.

Par son caractère multidisciplinaire et pratique, l'ouvrage s'adresse en premier lieu aux étudiants de l'enseignement secondaire technologique et l'enseignement supérieur (BTS, IUT). Il constitue une référence pour les électriciens et les ingénieurs, qui ont besoin de former un jugement technique rationnel.

Le lecteur trouvera aussi des renseignements intéressants en visitant le site www.wildi-theo.com.

Théodore Wildi est professeur émérite de l'Université Laval et membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec. Ses réalisations lui ont valu plusieurs distinctions honorifiques. En 1987, l'*Institute of Electrical and Electronic Engineers* lui décernait le *General A.G.L. McNaughton Award* pour sa contribution exceptionnelle comme inventeur, industriel et éducateur. En 1999, il a été nommé au grade de Membre de l'Ordre du Canada.

Gilbert Sybille, coauteur de cet ouvrage, détient une maîtrise en génie électrique de l'Université Laval. Depuis 1978, il occupe un poste d'ingénieur à l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ) où il a développé une expertise en simulation de réseaux ainsi que dans l'étude et la conception de systèmes de commande des contrôleurs statiques. Il est membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec, et auteur de plusieurs publications scientifiques.

Pierre Lavoie, professeur au Département de technologie du génie électrique du Collège de Jonquière. Il possède plusieurs années d'expérience dans différents types d'entreprises, tels que l'industrie alimentaire, pétrolière, des pâtes et papiers, ainsi que dans les centrales hydroélectriques. Ses domaines d'expertise sont les suivants : électrodynamique et entraînement de moteurs, automatisme, instrumentation et électronique industrielle. Il est membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec.

Karl Wildi est dessinateur et spécialiste en programmation pour l'édition de livres. Il a effectué la totalité des dessins, tableaux et photographies du présent ouvrage, ainsi que sa composition par ordinateur.



9 782804 148928

WILDI

ISBN 2-8041-4892-0