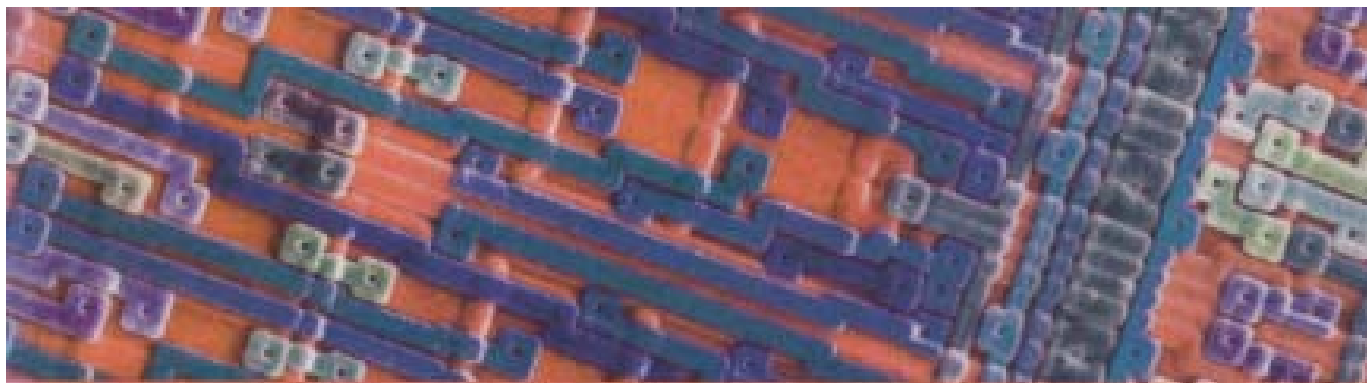




BTS MÉCANIQUE ET AUTOMATISMES INDUSTRIELS • IUT GÉNIE MÉCANIQUE

Physique appliquée

Précis de physique et électricité appliquées

COURS - EXERCICES CORRIGÉS

1^{RE} ET 2^E ANNÉES

ALBERT TERRAS

SOUS LA DIRECTION DE JEAN-LUC AZAN



Sommaire

I LOIS GÉNÉRALES DE L'ÉLECTRICITÉ	15
I. Définitions	15
II. Circuits électriques linéaires	16
1. La résistance	16
2. Le condensateur	17
3. Inductance	17
4. Générateurs de tension et de courant idéaux (ou parfaits)	18
III. Théorèmes généraux	18
1. Loi des nœuds	18
2. Loi des mailles	19
3. Diviseur de tension	19
4. Théorème de Millman	19
Contrôle des connaissances	20
Exercices résolus	21
Exercices à résoudre	25
 2 CIRCUITS LINÉAIRES EN RÉGIME TRANSITOIRE	 29
I. Présentation	29
1. Définitions et notations	29
2. Durée du régime transitoire : temps de réponse	29
II. Circuits du premier ordre en régime transitoire	29
1. Charge d'un condensateur	30
a) Allure de la tension aux bornes du condensateur lors de la charge	30
b) Forme canonique des équations différentielles du premier ordre	31
c) Équation différentielle correspondant à la charge d'un condensateur	31
d) Allure de la tension aux bornes du condensateur lors de la charge	32
2. Décharge d'un condensateur	32
a) Équation différentielle correspondant à la décharge du condensateur.	33
b) Allure de la tension la tension aux bornes du condensateur lors de la décharge	33
3. Établissement du courant dans une bobine	33
a) Équation différentielle correspondant à l'établissement du courant dans la bobine	33
b) Allure de l'intensité lors de l'établissement du courant	34
4. Extinction du courant dans une bobine	34

III. Circuits du second ordre en Régime transitoire	34
1. Résultats expérimentaux	34
2. Équation différentielle correspondant à un circuit RLC série	35
3. Forme canonique des équations différentielles du second ordre	35
4. Identification des paramètres du circuit RLC série	35
IV. Moteur à courant continu soumis à un échelon de tension	37
1. Rappels sur les moteurs à courant continu à excitation séparée	37
2. Étude de la vitesse de rotation du moteur	37
a) Équation différentielle correspondant au démarrage du moteur	37
b) Représentation de $\Omega(t)$	38
Contrôle des connaissances	39
Exercices résolus	40
Exercices à résoudre	43

3 REPRÉSENTATION DES SIGNAUX PÉRIODIQUES **47**

I. Caractéristiques des grandeurs périodiques	47
1. Période et fréquence	47
2. Valeur moyenne d'un signal périodique	47
3. Valeur efficace d'un signal périodique	48
II. Représentations des signaux sinusoïdaux	49
1. Représentation temporelle d'un signal alternatif sinusoïdal	49
2. Représentation vectorielle (représentation de Fresnel)	50
3. Représentation complexe	51
III. Représentation spectrale des signaux périodiques	51
1. Décomposition des signaux périodiques en séries de Fourier	52
2. Représentation spectrale d'un signal périodique	53
3. Recomposition d'un signal périodique	54
4. Lien entre les représentations temporelle et spectrale	54
5. Généralisation pour les signaux non périodiques	55
6. Causes et effets des perturbations harmoniques	55
Contrôle des connaissances	56
Exercices résolus	57
Exercices à résoudre	60

4 CIRCUITS LINÉAIRES EN RÉGIME SINUSOÏDAL **61**

I. Loi d'Ohm en régime sinusoïdal pour les dipôles linéaires	61
1. Déphasage (ou Différence de phases)	61
2. Impédance d'un dipôle	61
3. Impédance complexe d'un dipôle	62
4. Impédance complexe des dipôles linéaires élémentaires	62
a) Résistance	62
b) Inductance	62
c) Condensateur	63
5. Lois de l'électricité en régime sinusoïdal	63

II. Caractéristiques générales des filtres	64
1. Présentation	64
2. Courbe de gain	64
a) Amplification	64
b) Gain	65
c) Courbe de gain	65
d) Bande passante et fréquence de coupure	65
3. Courbe de phase	65
4. Fonction de transfert (ou transmittance)	66
a) Calcul du gain à partir de la fonction de transfert	66
b) Calcul du déphasage à partir de la fonction de transfert	66
III. Circuits linéaires du premier ordre en régime sinusoïdal permanent	66
1. Filtre passe-bas du premier ordre	66
a) Forme canonique	67
b) Courbe de gain	67
c) Courbe de phase	68
d) Calcul de la fonction de transfert des filtres	69
2. Filtre passe-haut du premier ordre	70
a) Forme canonique	70
b) Courbe de gain	71
c) Courbe de phase	71
IV. Étude des filtres du second ordre	71
1. Filtre passe-bas du second ordre	71
2. Filtre passe-haut du second ordre	72
3. Filtre passe-bande du second ordre	73
Contrôle des connaissances	74
Exercices résolus	75
Exercices à résoudre	80

5 ACQUISITION ET TRAITEMENT DU SIGNAL **83**

I. Capteurs	83
1. Présentation	83
2. Différents types de capteurs	84
a) Capteurs de température	84
b) Capteurs de position et de déplacement	85
c) Capteurs optiques	86
d) Capteurs magnétiques	86
e) Capteur de courant	86
f) Capteurs de pression	87
g) Capteurs de vitesse angulaire	87
h) Capteur de force	87
3. Caractéristiques d'un capteur	88
a) Caractéristique entrée-sortie	88
b) Sensibilité	88
c) Résolution	88
d) Fidélité	88
e) Temps de réponse	88

II. Amplificateurs opérationnels	89
1. Présentation de l'amplificateur opérationnel idéal	89
a) Symbole et notations	89
b) Caractéristiques de l'amplificateur opérationnel idéal	89
c) Régimes de fonctionnement	90
2. Applications de l'A.O. en régime linéaire	90
a) Montages amplificateurs	90
b) Montage sommateur (ou additionneur) inverseur	92
c) Montage soustracteur ou amplificateur de différence	92
d) Montage suiveur de tension	93
3. Applications de l'A.O. en régime non linéaire	94
a) Comparateur à un seuil	94
b) Comparateur à hystérésis ou à deux seuils	95
Contrôle des connaissances	97
Exercices résolus	98
Exercices à résoudre	107

6 PUISSANCES EN RÉGIME SINUSOÏDAL 113

I. Puissances en régime sinusoïdal monophasé	113
1. Puissance instantanée	113
2. Puissance active	113
3. Puissance réactive	114
4. Puissance apparente	114
5. Facteur de puissance	115
6. Puissances active et réactive des dipôles élémentaires	115
7. Théorème de Boucherot	115
II. Puissances en régime sinusoïdal triphasé équilibré	116
1. Systèmes triphasés équilibrés	116
a) Tensions simples	116
b) Tensions composées	117
2. Couplage des récepteurs triphasés équilibrés	117
a) Couplage étoile	117
b) Couplage triangle	118
3. Puissances en triphasé	118
a) Expression des différentes puissances	118
b) Mesure de la puissance active	118
III. Relèvement du facteur de puissance	119
1. Relèvement du facteur de puissance d'une installation monophasée	119
2. Relèvement du facteur de puissance d'une installation triphasée	120
Contrôle des connaissances	120
Exercices résolus	121
Exercices à résoudre	123

7 TRANSFORMATEURS MONOPHASÉS 125

I. Présentation	125
1. Constitution	125
a) Circuit magnétique	126
b) Enroulements	126
2. Conventions	126
II. Transformateur parfait	127
1. Définition	127
2. Relation entre les tensions	127
3. Relation entre les courants	128
4. Puissances	128
III. Transformateur réel	128
1. Caractéristiques	128
2. Bilan énergétique	129
3. Chute de tension	129
4. Rendement	129
a) Détermination des pertes fer : essai à vide	129
b) Détermination des pertes Joule : essai en court-circuit	130
c) Rendement pour le fonctionnement nominal	130
IV. Modèle de Thévenin du transformateur réel	131
1. Modèle de Thévenin	131
2. Obtention des éléments du modèle	131
a) Détermination de E_s : essai à vide	131
b) Essai en court-circuit : détermination de Z_s , R_s , et $L_s\omega$	131
3. Calcul de la chute de tension	132
a) Diagramme de Kapp	132
b) Valeur approchée de la chute de tension	132
Contrôle des connaissances	133
Exercices résolus	134
Exercices à résoudre	136

8 MOTEURS À COURANT CONTINU 139

I. Présentation	139
II. Constitution et principe de fonctionnement	139
1. Constitution	139
2. Principe de fonctionnement	140
a) Force de Laplace	140
b) Principe de la création d'un couple moteur	140
c) Force électromotrice (f.é.m.)	141

III. Moteur à excitation indépendante	141
1. Caractéristiques du moteur à excitation séparée	142
a) Modèle électrique de l'induit	142
b) Force électromotrice	142
c) Couple	142
2. Démarrage des moteurs à excitation séparée	142
3. Caractéristique de vitesse $\Omega = f(I)$ du moteur à excitation séparée	143
4. Caractéristique mécanique $T_e = f(\Omega)$ du moteur à excitation séparée	143
5. Bilan des puissances	144
a) Point de fonctionnement	144
b) Origine des différentes pertes	144
c) Diagramme des puissances	144
d) Rendement	145
6. Variation de vitesse du moteur à excitation séparée	145
Contrôle des connaissances	146
Exercices résolus	146
Exercices à résoudre	149

9 REDRESSEMENT **151**

I. Redressement non commandé	151
1. Définitions	151
2. Composants utilisés	151
3. Principe : redressement mono-alternance	151
a) Montage	151
b) Analyse du fonctionnement	152
c) Oscillogrammes	152
d) Grandeurs caractéristiques	152
4. Redressement double alternance	153
a) Pont de Graëtz	153
b) Analyse du fonctionnement et oscillogrammes pour une charge résistive	153
c) Grandeurs caractéristiques	154
d) Filtrage par condensateur : lissage de la tension	155
e) Débit sur charge inductive : lissage du courant	155
f) Alimentation d'un moteur à courant continu	156
II. Redressement commandé	157
1. Présentation du thyristor	157
2. Circuit de commande	157
3. Principe : redressement simple alternance monophasé sur charge résistive	157
4. Redressement double alternance monophasé	158
a) Pont redresseur « tout thyristor » sur charge inductive	158
b) Pont mixte	159
Contrôle des connaissances	160
Exercices résolus	161
Exercices à résoudre	167

10 HACHEURS

I. Présentation

171

171

II. Hacheur série

171

1. Principe du hacheur série

171

2. Fonctionnement sur charge inductive

172

a) Continuité de courant

172

b) Structure du hacheur série

172

c) Analyse du fonctionnement

172

d) Tension moyenne

173

e) Courant moyen

174

3. Application : alimentation d'un moteur à courant continu

174

4. Interrupteur commandé : réalisation à l'aide d'un transistor bipolaire

175

a) Constitution et symboles

175

b) Caractéristiques

175

c) Relations entre les courants

175

d) Réseau de caractéristiques

175

III. Hacheur 4 quadrants

176

1. Réversibilité

176

2. Montage

177

3. Commande des interrupteurs

177

4. Réversibilité du hacheur 4 quadrants

177

Contrôle des connaissances

178

Exercices résolus

179

Exercices à résoudre

186

11 MOTEURS À COURANT ALTERNATIF

193

I. Moteurs synchrones triphasés

193

1. Présentation

193

2. Champ magnétique tournant

193

3. Vitesse de synchronisme

193

4. Principe du moteur synchrone

194

5. Constitution

194

6. Modélisation simplifiée

195

a) F.é.m. synchrone

195

b) Modélisation d'un enroulement du moteur synchrone

195

II. Moteurs asynchrones triphasés

195

1. Présentation

195

2. Principe du moteur asynchrone

196

3. Glissement

196

4. Constitution

196

a) Stator (inducteur)

196

b) Rotor (induit)

196

5. Caractéristiques du moteur asynchrone

197

a) Caractéristique de couple

197

b) Caractéristique de courant

197

6 Bilan des puissances	197
a) Point de fonctionnement	197
b) Différentes puissances et origine des pertes	197
c) Diagramme des puissances	198
7. Démarrage du moteur asynchrone	198
a) Démarrage direct	198
b) Démarrage étoile-triangle	199
c) Démarrage par résistances statoriques	200
8. Variation de vitesse des moteurs asynchrones	201
a) Action sur les pôles	201
b) Action sur le glissement	201
c) Action sur la fréquence	201
Contrôle des connaissances	202
Exercices résolus	203
Exercices à résoudre	209

12 ONDULEURS 211

<i>I. Présentation</i>	211
<i>II. Onduleur monophasé pleine onde</i>	211
1. Schéma de l'onduleur de tension monophasé	211
2. Commande pleine onde (ou symétrique)	212
3. Spectre de la tension fournie par un onduleur monophasé en pont à commande symétrique	212
<i>III. Effets des harmoniques</i>	212
1. Effets immédiats	212
2. Effets à terme	213
<i>IV. Stratégies de commande des onduleurs</i>	213
1. Le problème du filtrage	213
2. Modulation de largeur d'impulsions (MLI)	214
a) Principe : commande décalée	214
b) Commande MLI calculée	214
c) Commande MLI calculée surmodulée	215
d) Commande MLI « temps réel » (ou « sinus-triangle »)	215
<i>V. Variateurs de vitesse pour moteurs asynchrones triphasés</i>	216
1. Loi de commande $U/f = \text{cte}$	216
2. Structure des convertisseurs de fréquence	216
Contrôle des connaissances	217
Exercices résolus	218
Exercice à résoudre	227

13 SYSTÈMES ASSERVIS	229
<i>I. Présentation</i>	229
1. Notion de système	229
2. Système asservi	229
3. Structure d'un système asservi	229
a) Notion de bouclage	229
b) Structure	230
c) Définition des constituants	231
4. Classification des asservissements	231
a) Suivant le type d'entrée de référence	231
b) Suivant le type de grandeur physique asservie	231
c) Suivant le type de régulateur	231
<i>II. Fonction de transfert (FT)</i>	232
1. Définition	232
2. Mise en cascade de fonctions de transfert	232
3. Fonctions de transfert d'un système asservi	232
a) Schéma et définitions	232
b) Fonction de transfert en boucle fermée (FTBF)	232
c) Fonction de transfert en boucle ouverte (FTBO)	233
4. Représentation graphique des fonctions de transfert	234
a) Lieu de Bode	234
b) Lieu de Black (ou de Nichols)	234
c) Lieu de Nyquist	234
<i>III. Qualités des systèmes asservis</i>	234
1. Stabilité	234
a) Définition	234
b) Critères graphiques de stabilité	235
2. Erreur et précision	236
3. Rapidité	236
<i>IV. Correction des systèmes asservis</i>	237
Contrôle des connaissances	238
Exercices résolus	239
Exercice à résoudre	242
Réponses aux contrôles des connaissances	245
Solutions des exercices à résoudre	247