

Pierre Mayé



# LES ALIMENTATIONS ÉLECTRONIQUES

Alimentations linéaires et à découpage •  
Piles et accumulateurs • Récolte d'énergie

**3<sup>e</sup> ÉDITION**



**DUNOD**



# TABLE DES MATIÈRES

<b>CHAPITRE 1 - PRÉSENTATION</b> .....	<b>1</b>
1.1 Rôle de l'alimentation .....	1
1.2 Alimentation à partir du réseau .....	2
1.2.1 Caractéristiques du réseau .....	2
1.2.2 Pollution harmonique .....	3
1.2.3 Alimentation non stabilisée .....	3
1.2.4 Alimentation stabilisée ou régulée .....	4
1.2.5 Alimentation haute tension .....	5
1.2.6 Alimentation sans isolement .....	5
1.3 Alimentation à partir d'un générateur électrochimique .....	5
1.3.1 Types de générateur électrochimique .....	5
1.3.2 Convertisseur de tension linéaire .....	5
1.3.3 Convertisseur de tension à découpage .....	6
1.3.4 Convertisseur de tension sans bobinage .....	6
1.4 Alimentation par récolte d'énergie .....	6
1.4.1 Principes utilisés .....	6
1.4.2 Convertisseur de tension continue sans bobinage .....	6
1.4.3 Redresseur élévateur .....	6
<b>CHAPITRE 2 - TRANSFORMATEUR</b> .....	<b>7</b>
2.1 Principe .....	7
2.2 Transformateur idéal .....	10
2.3 Transformateur réel .....	13
2.4 Transformateur en charge sur redresseur .....	17
2.5 Mise sous tension d'un transformateur .....	23
2.6 Configuration des enroulements .....	25
2.6.1 Transformateur à plusieurs secondaires .....	25
2.6.2 Transformateur à secondaires à prises intermédiaires .....	26
2.7 Caractéristiques technologiques .....	27
<b>CHAPITRE 3 - REDRESSEURS ET FILTRES CAPACITIFS</b> .....	<b>28</b>
3.1 Diode .....	28
3.1.1 Diode idéale .....	28
3.1.2 Diode à jonction .....	29
3.1.3 Modélisation .....	30
3.1.4 Limites d'utilisation .....	31
3.1.5 Caractéristiques électriques .....	32

3.2	Types de redresseurs . . . . .	33
3.2.1	Redresseur monophasé . . . . .	33
3.2.2	Redresseur biphasé à simple voie . . . . .	34
3.2.3	Redresseur biphasé à double voie . . . . .	36
3.3	Caractéristiques d'un redresseur monophasé. . . . .	37
3.3.1	Principe. . . . .	37
3.3.2	Influence des imperfections des composants . . . . .	46
3.3.3	Cas particulier d'une faible ondulation . . . . .	50
3.3.4	Calculs approchés . . . . .	54
3.3.5	Surintensité à la mise sous tension. . . . .	58
3.3.6	Choix des composants. . . . .	59
3.3.7	Courbes de Schade. . . . .	61
3.4	Caractéristiques d'un redresseur biphasé. . . . .	65
3.4.1	Principe. . . . .	65
3.4.2	Influence des imperfections des composants . . . . .	68
3.4.3	Cas particulier d'une faible ondulation . . . . .	69
3.4.4	Calculs approchés . . . . .	71
3.4.5	Surintensité à la mise sous tension. . . . .	72
3.4.6	Choix des composants. . . . .	76
3.4.7	Courbes de Schade. . . . .	80
3.4.8	Simulation numérique . . . . .	84
3.5	Comparaison des trois montages. . . . .	86
3.6	Pollution harmonique. . . . .	87
3.6.1	Phénomène . . . . .	87
3.6.2	Norme . . . . .	90
3.7	Redresseur à appel de courant sinusoïdal . . . . .	91
<b>CHAPITRE 4 - STABILISATEURS ET RÉGULATEURS – GÉNÉRALITÉS . . . . .</b>		<b>93</b>
4.1	Classification . . . . .	93
4.1.1	Stabilisateur et régulateur . . . . .	93
4.1.2	Régulateur de tension et régulateur de courant . . . . .	93
4.1.3	Régulateur linéaire et régulateur à découpage . . . . .	94
4.1.4	Régulateur de tension positive ou négative . . . . .	96
4.1.5	Régulateur abaisseur, éleveur ou inverseur. . . . .	96
4.2	Grandeurs caractéristiques . . . . .	97
<b>CHAPITRE 5 - STABILISATEURS DE TENSION . . . . .</b>		<b>100</b>
5.1	Propriétés de la diode Zener . . . . .	100
5.1.1	Caractéristique. . . . .	100
5.1.2	Modélisation . . . . .	103
5.1.3	Influence de la température . . . . .	104
5.1.4	Association de diodes Zener. . . . .	107
5.1.5	Association d'une diode Zener et de diodes ordinaires . . . . .	107
5.1.6	Bruit . . . . .	108
5.2	Stabilisateur parallèle à diode Zener . . . . .	108
5.2.1	Principe. . . . .	108
5.2.2	Choix des composants. . . . .	109
5.2.3	Coefficients de stabilisation . . . . .	111

5.3	Stabilisateur parallèle à diode Zener et transistor . . . . .	114
5.3.1	Principe . . . . .	114
5.3.2	Choix des composants . . . . .	115
5.3.3	Coefficients de stabilisation . . . . .	116
5.3.4	Avantages et inconvénients . . . . .	119
5.4	Stabilisateur série à diode et transistor . . . . .	119
5.4.1	Principe . . . . .	119
5.4.2	Choix des composants . . . . .	120
5.4.3	Coefficients de stabilisation . . . . .	122
5.4.4	Augmentation de la puissance . . . . .	124
5.4.5	Avantages et inconvénients . . . . .	126
<hr/>		
CHAPITRE 6 - RÉGULATEURS DE TENSION LINÉAIRES . . . . .		127
<hr/>		
6.1	Régulateur à amplificateur opérationnel . . . . .	127
6.1.1	Principe . . . . .	127
6.1.2	Coefficients de régulation . . . . .	128
6.1.3	Réglage de la tension . . . . .	132
6.1.4	Augmentation du courant de sortie . . . . .	134
6.1.5	Régulateur double . . . . .	134
6.1.6	Influence des imperfections de l'amplificateur opérationnel . . . . .	135
6.1.7	Choix des composants . . . . .	137
6.2	Régulateur intégré à usage multiple . . . . .	140
6.2.1	Caractéristiques . . . . .	140
6.2.2	Régulateur série . . . . .	142
6.2.3	Augmentation du courant de sortie . . . . .	146
6.2.4	Régulateur parallèle . . . . .	149
6.3	Régulateur de tension fixe à trois bornes . . . . .	150
6.3.1	Caractéristiques . . . . .	151
6.3.2	Montage de base (régulateur de tension positive) . . . . .	152
6.3.3	Montage de base (régulateur de tension négative) . . . . .	156
6.3.4	Augmentation du courant de sortie . . . . .	158
6.3.5	Modification de la tension de sortie . . . . .	162
6.3.6	Régulateur pour tension d'entrée élevée . . . . .	168
6.3.7	Inhibition d'un régulateur . . . . .	169
6.3.8	Obtention de deux tensions différentes . . . . .	170
6.3.9	Régulateur double . . . . .	171
6.3.10	Régulateur double à tension réglable . . . . .	172
6.4	Régulateur de tension réglable à trois bornes . . . . .	174
6.4.1	Caractéristiques . . . . .	175
6.4.2	Montage de base (régulateur de tension positive) . . . . .	178
6.4.3	Montage de base (régulateur de tension négative) . . . . .	182
6.4.4	Réglage de la tension . . . . .	183
6.4.5	Commutation de la tension de sortie . . . . .	185
6.4.6	Amélioration de la stabilité . . . . .	187
6.4.7	Augmentation du courant de sortie . . . . .	189
6.4.8	Inhibition . . . . .	192
6.4.9	Mise sous tension progressive . . . . .	192
6.4.10	Régulateur double . . . . .	193

6.5	Autres régulateurs intégrés . . . . .	194
6.5.1	Régulateur de tension et de courant réglable . . . . .	194
6.5.2	Régulateur haute tension . . . . .	201
6.5.3	Régulateur à faible chute de tension . . . . .	202
6.5.4	Régulateur à faible consommation . . . . .	205
6.5.5	Régulateur parallèle . . . . .	207
<hr/>		
<b>CHAPITRE 7 - STRUCTURES DES CONVERTISSEURS À DÉCOUPAGE . . . . .</b>		<b>213</b>
<hr/>		
7.1	Convertisseurs à bobines . . . . .	213
7.1.1	Convertisseur abaisseur . . . . .	213
7.1.2	Convertisseur élévateur . . . . .	228
7.1.3	Convertisseur inverseur . . . . .	239
7.2	Convertisseurs à transformateur . . . . .	247
7.2.1	Convertisseur à récupération d'énergie . . . . .	247
7.2.2	Convertisseur à transfert direct . . . . .	252
7.2.3	Convertisseur en demi-pont . . . . .	256
7.2.4	Convertisseur en pont . . . . .	258
7.2.5	Convertisseur symétrique . . . . .	258
7.3	Modélisation du comportement dynamique . . . . .	259
7.3.1	Schéma équivalent moyen . . . . .	259
7.3.2	Fonctions de transfert . . . . .	260
7.3.3	Généralisation . . . . .	261
7.4	Choix des composants . . . . .	262
7.4.1	Interrupteurs . . . . .	262
7.4.2	Diodes de roue libre . . . . .	263
7.4.3	Bobines et transformateurs . . . . .	263
7.4.4	Condensateurs de filtrage . . . . .	268
7.5	Redresseur synchrone . . . . .	269
<hr/>		
<b>CHAPITRE 8 - RÉGULATEURS DE TENSION À DÉCOUPAGE . . . . .</b>		<b>271</b>
<hr/>		
8.1	Principes . . . . .	271
8.1.1	Circuits en mode tension . . . . .	271
8.1.2	Circuits en mode courant . . . . .	276
8.2	Circuits intégrés spécialisés . . . . .	277
8.3	Exemples de régulateurs abaisseurs . . . . .	285
8.3.1	Montage utilisant un circuit intégré SG3524 . . . . .	285
8.3.2	Montage utilisant un circuit intégré LM3578 . . . . .	289
8.3.3	Montage utilisant un circuit intégré TL497 . . . . .	293
8.3.4	Montage utilisant un circuit intégré $\mu$ A78S40 . . . . .	297
8.4	Exemples de régulateurs élévateurs . . . . .	302
8.4.1	Montage utilisant un circuit intégré LM3578 . . . . .	302
8.4.2	Montage utilisant un circuit intégré TL497 . . . . .	305
8.4.3	Montage utilisant un circuit intégré $\mu$ A78S40 . . . . .	308
8.5	Exemples de régulateurs inverseurs . . . . .	312
8.5.1	Montage utilisant un circuit intégré LM3578 . . . . .	312
8.5.2	Montage utilisant un circuit intégré TL497 . . . . .	317
8.5.3	Montage utilisant un circuit intégré $\mu$ A78S40 . . . . .	320

8.6	Exemples de régulateurs à transformateur . . . . .	325
8.6.1	Régulateur à récupération d'énergie sans isolement de la commande . . . . .	325
8.6.2	Procédés d'isolement de la commande . . . . .	326
8.6.3	Alimentation à découpage branchée sur le secteur . . . . .	328
8.7	Modélisation des régulateurs à découpage . . . . .	332
8.7.1	Schéma-bloc . . . . .	332
8.7.2	Stabilité . . . . .	333
8.8	Logiciel spécialisé . . . . .	334
8.8.1	Présentation . . . . .	335
8.8.2	Exemple d'utilisation . . . . .	335
<hr/>		
<b>CHAPITRE 9 - STABILISATEURS ET RÉGULATEURS DE COURANT . . . . .</b>		<b>337</b>
9.1	Stabilisateur de courant à transistor et diode Zener . . . . .	337
9.1.1	Principe . . . . .	337
9.1.2	Choix des composants . . . . .	338
9.1.3	Coefficients de stabilisation . . . . .	340
9.2	Régulateur de courant à amplificateur opérationnel . . . . .	342
9.2.1	Principe . . . . .	342
9.2.2	Coefficients de régulation . . . . .	343
9.3	Régulateur de courant utilisant un régulateur de tension à trois bornes . . . . .	345
9.3.1	Montage avec un régulateur de tension fixe . . . . .	345
9.3.2	Montage avec un régulateur de tension réglable . . . . .	346
9.3.3	Réglage du courant de sortie . . . . .	347
9.3.4	Montage avec un régulateur de tension et de courant réglable . . . . .	350
9.4	Régulateur de tension et de courant . . . . .	350
9.4.1	Principe . . . . .	350
9.4.2	Montage utilisant deux régulateurs intégrés . . . . .	351
9.4.3	Montage avec un régulateur de tension et de courant réglable . . . . .	353
<hr/>		
<b>CHAPITRE 10 - PROTECTION ET SURVEILLANCE DES ALIMENTATIONS . . . . .</b>		<b>354</b>
10.1	Protections contre les surintensités . . . . .	354
10.1.1	Fusible . . . . .	354
10.1.2	Protection par limitation de courant . . . . .	355
10.1.3	Limiteur à courant constant . . . . .	355
10.1.4	Limiteur par délestage . . . . .	357
10.2	Protections contre les surtensions . . . . .	360
10.2.1	Principe . . . . .	361
10.2.2	Détecteur à diode Zener . . . . .	362
10.2.3	Détecteur à diode Zener et amplificateur opérationnel . . . . .	362
10.2.4	Circuit intégré spécialisé . . . . .	364
10.3	Surveillance . . . . .	367

<b>CHAPITRE 11 - CONVERTISSEURS CONTINU-CONTINU</b>		
<b>SANS BOBINAGE</b> .....		<b>369</b>
11.1	Transferts de charges dans les condensateurs .....	369
11.1.1	Charge d'un condensateur par une source de tension .....	369
11.1.2	Transfert de charges entre deux condensateurs .....	375
11.1.3	Explication .....	378
11.1.4	Amélioration du rendement énergétique de la charge d'un condensateur .....	379
11.1.5	Conditions d'un bon rendement pour un convertisseur continu-continu sans bobinage .....	381
11.2	Principe d'une pompe de charges .....	383
11.2.1	Structure .....	383
11.2.2	Régime transitoire à vide .....	384
11.2.3	Régime permanent à vide .....	386
11.2.4	Régime permanent en charge .....	387
11.2.5	Convertisseur avec ou sans régulation .....	388
11.2.6	Réalisation des convertisseurs continu-continu sans bobinage .....	388
11.3	Convertisseurs à diodes .....	388
11.3.1	Obtention du signal carré .....	388
11.3.2	Convertisseur inverseur .....	393
11.3.3	Convertisseur élévateur .....	396
11.3.4	Convertisseur inverseur élévateur .....	398
11.4	Circuits intégrés spécialisés .....	399
11.4.1	Description .....	399
11.4.2	Convertisseur inverseur .....	402
11.4.3	Convertisseur élévateur .....	408
11.4.4	Choix des condensateurs .....	410
11.5	Pompe de charge de Dickson .....	410
<b>CHAPITRE 12 - REDRESSEURS ÉLÉVATEURS DE TENSION</b> .....		<b>414</b>
12.1	Généralités .....	414
12.1.1	Définition .....	414
12.1.2	Grandeurs caractéristiques .....	414
12.1.3	Terminologie .....	415
12.1.4	Ordres de grandeur .....	415
12.1.5	Applications .....	415
12.2	Redresseurs doubleurs de tension .....	416
12.2.1	Doubleur de Schenkel .....	416
12.2.2	Doubleur de Latour .....	426
12.2.3	Doubleur en pont .....	434
12.3	Redresseurs multiplicateurs .....	439
12.3.1	Tripleur .....	439
12.3.2	Quadrupleur .....	440
12.3.3	Multiplicateur de Greinacher .....	441
12.3.4	Multiplicateur symétrique .....	448
12.3.5	Multiplicateur hybride .....	450

<b>CHAPITRE 13 - ALIMENTATIONS SANS ISOLEMENT</b> .....	<b>452</b>
13.1 Alimentation d'une diode électroluminescente à partir du secteur. . .	452
13.2 Alimentation d'une charge quelconque .....	457
13.3 Quelques variantes .....	461
13.3.1 Simplification .....	461
13.3.2 Alimentation symétrique .....	461
13.3.3 Redressement en pont .....	462
13.3.4 Stabilisation ou régulation de la tension de sortie .....	463
13.4 Lampes à LED .....	466
<b>CHAPITRE 14 - ÉCHAUFFEMENT DES COMPOSANTS</b> .....	<b>468</b>
14.1 Étude générale des échanges thermiques. ....	468
14.1.1 Lois de base. ....	468
14.1.2 Analogie électrique. ....	470
14.1.3 Échauffement en régime continu .....	471
14.1.4 Échauffement en régime variable .....	472
14.2 Application aux composants électroniques .....	474
14.2.1 Puissance dissipée .....	474
14.2.2 Échauffement d'un composant seul .....	475
14.2.3 Échauffement d'un composant muni d'un dissipateur thermique .....	477
<b>CHAPITRE 15 - ALIMENTATIONS COMPLÈTES</b> .....	<b>480</b>
15.1 Alimentations d'équipements .....	480
15.1.1 Différents types. ....	480
15.1.2 Critères de choix. ....	481
15.2 Alimentations de laboratoire .....	484
15.3 Mesures et tests .....	485
15.3.1 Caractéristique statique .....	485
15.3.2 Ondulation .....	486
15.3.3 Qualité de la régulation. ....	487
<b>CHAPITRE 16 - GÉNÉRATEURS ÉLECTROCHIMIQUES</b> .....	<b>488</b>
16.1 Généralités .....	488
16.1.1 Définition .....	488
16.1.2 Classification .....	488
16.1.3 Types de générateurs électrochimiques utilisés. ....	489
16.2 Circuits électroniques associés .....	489
16.2.1 Types de circuits utilisés .....	489
16.2.2 Exemples de régulateurs linéaires .....	490
16.2.3 Exemples de régulateurs à découpage. ....	491
16.2.4 Exemples de régulateurs à pompe de charge .....	492

452	CHAPITRE 17 - RÉCOLTE D'ÉNERGIE .....	494
452	17.1 Présentation .....	494
457	17.1.1 Définition .....	494
461	17.1.2 Utilisation .....	494
461	17.1.3 Principes mis en jeu .....	494
461	17.2 Récolte d'énergie mécanique de vibrations par transducteur piézoélectrique .....	495
461	17.2.1 Énergie disponible .....	495
461	17.2.2 Effet piézoélectrique .....	495
461	17.2.3 Dispositif de récolte .....	495
461	17.2.4 Circuit électronique associé .....	496
461	17.3 Récolte d'énergie de rayonnement lumineux par cellule photovoltaïque .....	497
461	17.3.1 Énergie disponible .....	497
461	17.3.2 Effet photovoltaïque .....	497
461	17.3.3 Dispositif de récolte .....	497
461	17.3.4 Circuit électronique associé .....	499
461	17.4 Récolte d'énergie électromagnétique par antenne redresseuse .....	500
461	17.4.1 Énergie disponible .....	500
461	17.4.2 Dispositif de récolte .....	501
461	17.4.3 Circuit électronique associé .....	501
461	BIBLIOGRAPHIE .....	503
461	DOCUMENTATION DES CONSTRUCTEURS .....	505
461	BIOGRAPHIES .....	507
461	INDEX .....	511