LES ALIMENTATIONS ÉLECTRONIQUES

Pierre Mayé

LES ALIMENTATIONS ÉLECTRONIQUES

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

3e édition

DUNOD

Illustration de couverture : cobracz – fotolia.com

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.
Le Code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.
Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

DANGER
LE PHOTOCOPILLAGE TUE LE LIVRE

© Dunod, 2018
11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com
ISBN 978-2-10-078103-4

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).
Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE 1 - PRÉSENTATION 1

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

CHAPITRE 2 - TRANSFORMATEUR 7

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

CHAPITRE 3 - REDRESSEURS ET FILTRES CAPACITIFS 28

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

© Dunod. Toute reproduction non autorisée est un délit.

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

CHAPITRE 4 - STABILISATEURS ET RÉGULATEURS – GÉNÉRALITÉS 93

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, élévateur ou inverseur 96
4.2 Grandeurs caractéristiques 97

CHAPITRE 5 - STABILISATEURS DE TENSION 100

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

CHAPITRE 6 - RÉGULATEURS DE TENSION LINÉAIRES 127

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

© Dunod. Toute reproduction non autorisée est un délit.

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

CHAPITRE 7 - STRUCTURES DES CONVERTISSEURS À DÉCOUPAGE 213

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

CHAPITRE 8 - RÉGULATEURS DE TENSION À DÉCOUPAGE 271

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 µA78S40 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 µA78S40 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 µA78S40 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

CHAPITRE 9 - STABILISATEURS ET RÉGULATEURS DE COURANT . . 337

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

CHAPITRE 10 - PROTECTION ET SURVEILLANCE DES ALIMENTATIONS 354

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

© Dunod. Toute reproduction non autorisée est un délit.

CHAPITRE 11 - CONVERTISSEURS CONTINU-CONTINU SANS BOBINAGE 369

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

CHAPITRE 12 - REDRESSEURS ÉLÉVATEURS DE TENSION 414

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

CHAPITRE 13 - ALIMENTATIONS SANS ISOLEMENT 452

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

CHAPITRE 14 - ÉCHAUFFEMENT DES COMPOSANTS 468

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

CHAPITRE 15 - ALIMENTATIONS COMPLÈTES 480

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

CHAPITRE 16 - GÉNÉRATEURS ÉLECTROCHIMIQUES 488

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

© Dunod. Toute reproduction non autorisée est un délit.

CHAPITRE 17 - RÉCOLTE D'ÉNERGIE 494

17.1 Présentation 494
17.1.1 Définition 494
17.1.2 Utilisation 494
17.1.3 Principes mis en jeu 494

17.2 Récolte d'énergie mécanique de vibrations par transducteur piézoélectrique 495
17.2.1 Énergie disponible 495
17.2.2 Effet piézoélectrique 495
17.2.3 Dispositif de récolte 495
17.2.4 Circuit électronique associé 496

17.3 Récolte d'énergie de rayonnement lumineux par cellule photovoltaïque 497
17.3.1 Énergie disponible 497
17.3.2 Effet photovoltaïque 497
17.3.3 Dispositif de récolte 497
17.3.4 Circuit électronique associé 499

17.4 Récolte d'énergie électromagnétique par antenne redresseuse 500
17.4.1 Énergie disponible 500
17.4.2 Dispositif de récolte 501
17.4.3 Circuit électronique associé 501

BIBLIOGRAPHIE 503

DOCUMENTATION DES CONSTRUCTEURS 505

BIOGRAPHIES 507

INDEX 511