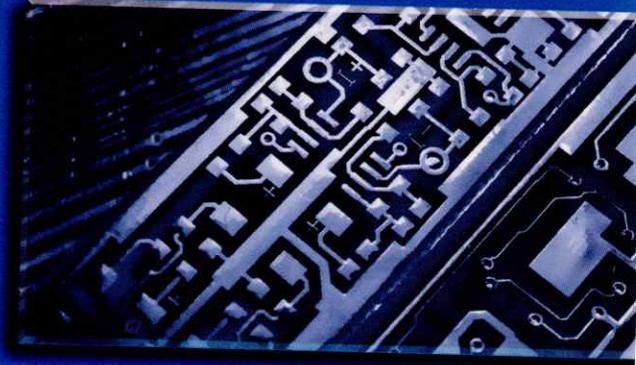


Bogdan Grabowski  
Christian Ripoll *et coll.*

L'USINE NOUVELLE

# Aide-mémoire Électronique

5<sup>e</sup> édition



DUNOD

# TABLE DES MATIÈRES

<b>A GRANDEURS PHYSIQUES ET ÉLECTRIQUES</b>	<b>1</b>
<b>1 • Lois fondamentales et définitions</b>	<b>1</b>
1.1 Bref historique	1
1.2 Unités géométriques, cinématiques, mécaniques	1
1.3 Unités électriques et électromagnétiques	3
1.4 Lois fondamentales en électricité	3
1.5 Température. Chaleur. Circuit thermique	8
1.6 Photométrie	10
1.7 Unités anglo-saxonnes et américaines courantes	11
<b>2 • Notions de mathématiques</b>	<b>12</b>
2.1 Grandeurs complexes	12
2.2 Signal périodique. Série de Fourier	17
2.3 Calcul opérationnel	19
2.4 Erreurs et imprécisions	22
2.5 Loi de Laplace-Gauss	26
<b>B MATÉRIAUX ET COMPOSANTS PASSIFS</b>	<b>29</b>
<b>1 • Électron et matériaux. Milieu conducteur et semi-conducteur</b>	<b>29</b>
1.1 Milieu conducteur et isolant	29
1.2 Semi-conducteur	30
1.3 Matériau magnétique	34
1.4 Conducteur	36
<b>2 • Fiabilité des composants. Généralités</b>	<b>38</b>
2.1 Définitions	38
2.2 Relations fondamentales	39
2.3 Courbe en baignoire	40
	IX

<b>3 • Résistances linéaires</b>	<b>41</b>
3.1 Caractéristiques générales	41
3.2 Performances comparées	44
3.3 Normes et codes pour résistances fixes	46
<b>4 • Potentiomètres</b>	<b>47</b>
4.1 Généralités	47
4.2 Variétés et normes applicables	49
<b>5 • Condensateurs fixes et variables</b>	<b>49</b>
5.1 Caractéristiques générales	49
5.2 Variétés technologiques. Condensateurs non polarisés	52
5.3 Variétés technologiques. Condensateurs polarisés	53
5.4 Condensateurs en microélectronique	54
5.5 Condensateurs variables	55
<b>6 • Bobines</b>	<b>55</b>
6.1 Caractéristiques générales	55
6.2 Calcul de $L$ pour des bobinages simples	57
6.3 $Q$ et pertes dans les bobinages	59
6.4 Variétés de noyaux-ferrites	60
<b>7 • Le quartz</b>	<b>61</b>
7.1 Le cristal	61
7.2 Réseau équivalent	63
7.3 Variétés technologiques principales et normes	65
<b>C RÉSEAUX ET FILTRES</b>	<b>67</b>
<b>1 • Réseaux élémentaires</b>	<b>67</b>
1.1 Dipôles générateurs. Associations avec la charge	67
1.2 Réseaux élémentaires passe-bas et passe-haut	69
1.3 Tracés asymptotiques	74
1.4 Semi-intégrateur et semi-dérivateur	76
1.5 Résonateurs simples	77

<b>2 • Analyse d'un réseau</b>	<b>80</b>
2.1 Théorèmes de base	80
2.2 Éléments d'un réseau et définitions	86
<b>3 • Quadripôles passifs</b>	<b>88</b>
3.1 Matrice $[Z]$ et $[Y]$	88
3.2 Matrice $[h]$ et $[g]$	90
3.3 Matrice de chaîne	91
3.4 Combinaison de quadripôles	91
3.5 Impédances-images et impédance caractéristique	92
3.6 Tableau de conversion des différentes matrices	93
<b>4 • Réseaux à résistances</b>	<b>95</b>
4.1 Réseau $R/2R$	95
4.2 Réseaux atténuateurs non adaptés	96
4.3 Réseaux atténuateurs adaptés	98
4.4 Précisions	98
4.5 Pont à résistances	98
<b>5 • Filtres du second ordre ou d'ordre supérieur</b>	<b>99</b>
5.1 Transmittances et réponses typiques	99
5.2 Propriétés mathématiques	102
5.3 Filtres usuels passifs	104
<b>6 • Circuits couplés</b>	<b>110</b>
6.1 Couplage par inductance mutuelle	110
6.2 Couplage dans le cas général	112
<b>D DIPÔLES NON LINÉAIRES</b>	<b>113</b>
<b>1 • Les différents modèles</b>	<b>113</b>
1.1 Variétés fondamentales	113
1.2 Association d'un dipôle générateur et d'un dipôle de charge	113

<b>2 • La diode-jonction</b>	<b>115</b>
2.1 Modèle physique simplifié. Régime statique	115
2.2 La diode en régime dynamique. Les charges accumulées	117
2.3 Régime transitoire	119
2.4 Caractéristiques linéaires par parties	121
2.5 Modèles équivalents utilisables	122
<b>3 • Variétés technologiques</b>	<b>123</b>
3.1 Diodes de redressement	124
3.2 Diodes varicap	126
3.2 Diodes Zener	127
<b>4 • Éléments à résistance négative et dipôles commandés</b>	<b>128</b>
4.1 Diode-tunnel	128
4.2 Thyristor	129
4.3 Triac et diac	131
4.4 Diodes spéciales et diodes à haute fréquence	133
<b>E CAPTEURS</b>	<b>135</b>
<b>1 • Capteurs de température</b>	<b>135</b>
1.1 Comportement des diodes en température	135
1.2 Détecteur de température à diodes	136
1.3 Capteurs de température spécialisés	137
<b>2 • Capteurs de pression de fluides</b>	<b>139</b>
<b>3 • Capteurs d'humidité</b>	<b>140</b>
<b>4 • Capteurs d'éclairement</b>	<b>141</b>
4.1 Photodiodes et photopiles	141
4.2 Phototransistors	143
<b>5 • Capteurs de force ou de pression</b>	<b>144</b>
5.1 Capteurs de force piézoélectrique	144
<b>6 • Capteurs d'accélération</b>	<b>146</b>

<b>7 • Capteurs magnétiques</b>	<b>148</b>
7.1 Effet Hall	149
7.2 Magnétorésistance anisotropique (AMR)	151
7.3 Magnétorésistance géante	153
<b>8 • Capteurs acoustiques</b>	<b>155</b>
8.1 Microphones à condensateur	155
8.2 Microphones à bobine mobile	157
8.3 Diagramme de directivité	157
<b>F DIODES ET TRANSISTORS</b>	<b>159</b>
<b>F1 Tripoles actifs</b>	<b>159</b>
<b>1 • Modèles idéaux</b>	<b>159</b>
1.1 Le transistor bipolaire	159
1.2 Modèle statique général	161
1.3 Polarisation en courant et en tension	163
1.4 Variétés de tripôles actifs	166
1.5 Régime dynamique	168
1.6 Les trois configurations d'utilisation	169
1.7 La configuration de base type ( <i>G</i> )	171
<b>2 • Modèles réels</b>	<b>171</b>
2.1 Modèles statiques	171
2.2 Régime dynamique	173
2.3 Matrice indéfinie pour différentes variétés	175
<b>3 • Valeurs limites et paramètres</b>	<b>176</b>
3.1 Régime statique. Transistor bipolaire	176
3.2 Régime statique. Transistor FET	177
3.3 Régime dynamique. Transistor bipolaire	178
3.4 Régime dynamique. Transistor FET	179
3.5 Paramètres en régime transitoire	180

<b>4 • Caractéristiques statiques des transistors FET</b>	<b>181</b>
4.1 Transistors FET à canal <i>N</i>	181
4.2 Transistors FET à canal <i>P</i>	184
4.3 Le transistor FET utilisé comme source de courant	186
4.4 Le transistor FET utilisé comme résistance variable commandée en tension	187
<b>F2 Circuits à diode</b>	<b>189</b>
<b>5 • Redressement et détection d'amplitude</b>	<b>189</b>
5.1 Mise en série. Mise en parallèle	189
5.2 Emballément thermique	191
5.3 Redressement simple alternance et détection d'amplitude	192
5.4 Montages redresseurs	194
5.5 Surcharge en courant et tension inverse	196
<b>6 • Dispositifs à seuil</b>	<b>197</b>
6.1 Circuits logiques à diodes	197
6.2 Ébavage. Écrêtage. Limitation	199
<b>7 • Montages stabilisateurs</b>	<b>202</b>
7.1 Stabilisateur compensé en température	203
<b>G ÉLÉMENTS AMPLIFICATEURS</b>	<b>205</b>
<b>1 • Les différents types et variétés de base</b>	<b>205</b>
1.1 Classification par types et variétés	205
1.2 Règles d'association	215
<b>2 • Montages élémentaires</b>	<b>219</b>
2.1 Polarisation d'un triplot actif	219
2.2 Stabilité statique	224
2.3 Montage type <i>G</i>	227
2.4 Montage type ( <i>R</i> ) ou à transrétroaction	229
2.5 Source de courant et charge active	232
2.6 Les structures différentielles	236

<b>3 • Association de montages élémentaires</b>	<b>238</b>
3.1 Réalisation d'amplificateurs type ( <i>V</i> )	238
3.2 Réalisation d'un amplificateur en courant ou à transrétroaction (montage Darlington avec <i>R</i> résistance de réaction)	240
3.3 Structure cascode	243
3.4 Double structure différentielle utilisant la configuration cascode	245
<b>H RÉTROACTION</b>	<b>247</b>
<b>1 • Généralités</b>	<b>247</b>
1.1 Éléments constitutifs	247
1.2 Graphe de fluence	248
<b>2 • Rétroaction négative</b>	<b>249</b>
2.1 Principe	249
2.2 Sommatation et distribution	250
<b>3 • Les quatre variétés de contre-réaction</b>	<b>254</b>
3.1 Les schémas de base	254
3.2 Formules essentielles	257
<b>4 • Établissement des expressions</b>	<b>258</b>
4.1 Transformation des types d'opérateurs	258
4.2 Réseaux passifs	260
4.3 Chaîne tension-courant	261
<b>I AMPLIFICATEURS OPÉRATIONNELS</b>	<b>265</b>
<b>1 • Caractéristiques en boucle ouverte et fermée</b>	<b>265</b>
1.1 Caractéristiques en boucle ouverte	265
1.2 Caractéristiques en boucle fermée	270
<b>2 • Montages amplificateurs</b>	<b>272</b>
2.1 Opérateur type ( <i>R</i> ) et type ( <i>V</i> )	272
2.2 Transconductance	275
2.3 Montage différentiel	277
2.4 Comportement dynamique en boucle fermée	278

<b>3 • Convertisseurs d'impédances</b>	<b>281</b>
3.1 Convertisseur d'impédance négative <i>NI/C</i>	281
3.2 Girateur	282
<b>4 • Filtrés actifs</b>	<b>284</b>
4.1 Structure de Rauch	284
4.2 Structure de Sallen et Kay	287
4.3 Filtre réjecteur ou coupe-bande	288
4.4 Filtre passe-tout ou déphasé	288
4.5 Filtrés correcteurs, intégrateurs et dérivateurs	291
<b>5 • Variétés et normes applicables</b>	<b>294</b>
5.1 Normes <i>NE C</i>	294
5.2 Performances comparatives de quelques modèles spécifiés	294
5.3 Brochages et boîtiers	295
<b>6 • Caractéristiques de commutation à fort niveau</b>	<b>296</b>
6.1 Montage de mesure	296
6.2 Paramètres mesurables	297
6.3 Exemples à hautes performances	298
<b>J DISPOSITIFS À SEUIL</b>	<b>299</b>
<b>1 • Les principales variétés</b>	<b>299</b>
<b>2 • Limiteur symétrique</b>	<b>301</b>
2.1 Caractéristiques. Limiteur à sortie courant	301
2.2 Mise en œuvre	302
<b>3 • Comparateur</b>	<b>303</b>
3.1 Structure générale d'un comparateur	303
3.2 Caractéristiques et variétés	305
3.3 Applications	306
<b>4 • Association d'amplificateurs opérationnels et de diodes</b>	<b>307</b>
4.1 Utilisation de la transrésistance négative	307
4.2 Redressement sans seuil	308

4.3 Détecteur crête	309
4.4 Circuit de <i>clamping</i>	310
<b>K MULTIPLICATEUR ET FONCTION-PRODUIT</b>	<b>313</b>
<b>1 • Caractéristiques générales</b>	<b>313</b>
<b>2 • Applications. Modulateurs et mélangeurs</b>	<b>314</b>
2.1 Modulateur Motorola MC 1496 B	314
2.2 Modulation d'amplitude analogique	316
2.3 Mélangeur	317
2.4 Modulateur d'angle	318
<b>3 • Démodulateurs et détecteurs</b>	<b>320</b>
3.1 Détecteurs	320
3.2 Démodulateur de phase	321
3.3 Démodulateur de fréquence en quadrature	322
<b>4 • Applications au calcul analogique</b>	<b>325</b>
4.1 Inversion de fonction	325
4.2 Division	326
<b>5 • Contrôle d'amplitude et de gain</b>	<b>326</b>
5.1 Schéma	326
5.2 Équations	327
5.3 Utilisation de structures différentielles	328
5.4 Structure à MOSFET	329
<b>L GÉNÉRATEURS DE FRÉQUENCES</b>	<b>331</b>
<b>1 • Généralités et structure de base</b>	<b>331</b>
1.1 Caractéristiques à considérer	331
1.2 Méthode du premier harmonique	332
1.3 Structure à réaction	332
1.4 Structure utilisant une résistance négative	334

<b>2 • Montages oscillateurs à résistances-capacités</b>	<b>336</b>
2.1 Oscillateur à pont de Wien	336
2.2 Oscillateur phase-shift	337
<b>3 • Montages oscillateurs à inductances et capacités</b>	<b>338</b>
3.1 Montages Colpitts et Hartley	338
3.2 Montage Clapp	339
<b>4 • Oscillateur contrôlé</b>	<b>340</b>
<b>5 • Exemple de microstructure pour VCO (Voltage Controlled Oscillator)</b>	<b>341</b>
<b>6 • Oscillateur à quartz</b>	<b>342</b>
<b>7 • Boucles à verrouillage de phase</b>	<b>343</b>
7.1 Principe de fonctionnement	343
7.2 Caractéristiques de la PLL	346
<b>8 • Bibliographie</b>	<b>356</b>
<b>M RELAIS ET INTERRUPTEURS ANALOGIQUES</b>	<b>357</b>
<b>1 • Relais statiques à transistors bipolaires</b>	<b>358</b>
1.1 Fonctionnement en régime saturé	358
1.2 Attaque en courant et en tension	358
<b>2 • Portes analogiques avec transistors à effet de champ</b>	<b>360</b>
2.1 Commutateur à J-FET	360
2.2 Commutateur à MOS-FET	361
2.3 Multiplexeur à MOS. Multiplexage en tension	362
2.4 Interrupteur analogique à technologie CMOS	362
2.5 Circuit de prélèvement	363
<b>N ALIMENTATION À DÉCOUPAGE RÉGULATEUR DE TENSION ET AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE</b>	<b>365</b>
<b>1 • Régulateur de tension</b>	<b>365</b>
1.1 Généralités	365
1.2 Caractéristiques essentielles. Plage de régulation	365

1.3 Paramètres essentiels mesurables	366
1.4 Principe des alimentations stabilisée et régulée	367
1.5 Régulateur de tension. Schémas de principe	368
1.6 Régulateur intégré	371
1.7 Alimentation à découpage ou convertisseur DC-DC	373
<b>2 • Amplificateurs de puissance</b>	<b>379</b>
2.1 Les différentes classes de fonctionnement	379
2.2 Puissance utile et rendement	381
2.3 Rendement optimum	382
2.4 Amplificateurs de puissance symétrique, classe B	384
2.5 Montage classe B avec amplificateur opérationnel	385
2.6 Puissance dissipée	386
<b>O TRANSISTORS À BASE D'ARSENÛRE DE GALLIUM. APPLICATIONS DANS LE DOMAINE DES MICRO-ONDES</b>	<b>387</b>
<b>1 • Introduction</b>	<b>387</b>
<b>2 • Lignes de transmission et matrice de distribution</b>	<b>387</b>
2.1 Lignes de transmission. Propriétés principales	387
2.2 Lignes de transmission. Facteurs de réflexion	390
2.3 Matrice de répartition	391
2.4 Gain en puissance du quadripôle actif	392
2.5 Stabilité	394
<b>3 • Transistors à arsénure de gallium</b>	<b>394</b>
3.1 MESFET. Structure succinte	394
3.2 MESFET. Caractéristiques statiques	395
3.3 Schéma équivalent simplifié	397
3.4 Gain en puissance	397
3.5 Adaptation	399
3.6 Facteur de bruit	401
<b>4 • Bibliographie</b>	<b>402</b>

## P ÉLÉMENTS DE CIRCUITS LOGIQUES

### 1 • Logique combinatoire

- 1.1 Représentation et codage
- 1.2 Les opérateurs logiques
- 1.3 Généralités sur les fonctions combinatoires
- 1.4 Les principales fonctions combinatoires
- 1.5 Extraits de la norme de représentation des circuits logiques
- 1.6 Exemple de fonction combinatoire

### 2 • Logique séquentielle

- 2.1 Système séquentiel
- 2.2 Bascule D
- 2.3 Bascule D *latch*
- 2.4 Autres bascules
- 2.5 Registre D
- 2.6 Registre tampon
- 2.7 Registre à décalage (RAD)
- 2.8 Compteurs synchrones
- 2.9 Compteur asynchrone
- 2.10 Exemple : construction d'un compteur binaire synchrone modulo 8

### 3 • Le langage VHDL synthétisable

- 3.1 Introduction
- 3.2 Méthodologie de conception (simplifiée)
- 3.3 Structure d'un code source VHDL
- 3.4 Les types de données
- 3.5 Fonctions rising\_edge et falling\_edge
- 3.6 Instructions concurrentes
- 3.7 Instructions séquentielles
- 3.8 Description hiérarchique
- 3.9 Exemple de description séquentielle
- 3.10 VHDL pour la simulation
- 3.11 Exemple complet : étude d'une cellule cascadeable BCD

XX

### 4 • Paramètres caractéristiques

- 4.1 Paramètres statiques
- 4.2 Paramètres dynamiques

### 5 • Circuits intégrés numériques

- 5.1 Composants standard
- 5.2 ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*)
- 5.3 Composants programmables

### 6 • Conversion numérique-analogique et analogique-numérique

- 6.1 Échantillonnage
- 6.2 Convertisseur analogique-numérique et numérique-analogique à réseau R-2R
- 6.3 Convertisseur à approximations successives
- 6.4 Convertisseur parallèle ou flash
- 6.5 Convertisseur double rampe
- 6.6 Caractéristiques et définitions

## ANNEXES

### 1 • Exemples de boîtiers

### 2 • Extrait du document 60748-5 : Dispositifs à semiconducteurs – circuits intégrés

### 3 • Sites Internet utiles

## INDEX

XXI

# AIDE-MÉMOIRE DE L'INGÉNIEUR

Bogdan Grabowski  
Christian Ripoll *et coll.*

## ÉLECTRONIQUE

Cet aide-mémoire rassemble toutes les connaissances fondamentales et les données techniques utiles de l'électronique :

Grandeurs physiques et électriques • Matériaux et composants passifs • Réseaux et filtres • Dipôles non linéaires • Capteurs • Diodes et transistors • Éléments amplificateurs • Rétroaction • Amplificateurs opérationnels • Dispositifs à seuil • Multiplicateur et fonction-produit • Générateurs de fréquences • Relais et interrupteurs analogiques • Alimentation à découpage, régulateurs de tension et amplificateurs de puissance • Transistors GaAs • Éléments de circuits logiques.

Cette 5<sup>e</sup> édition, entièrement revue et mise à jour, a été enrichie de nouveaux chapitres sur les capteurs, les oscillateurs à quartz, les boucles à verrouillage de phase, la logique combinatoire et séquentielle, le langage VHDL et les circuits intégrés numériques.

C'est l'outil de travail indispensable des ingénieurs, techniciens et étudiants en électronique.

### 5<sup>e</sup> édition

BOGDAN GRABOWSKI

Ancien ingénieur de Thomson-CSF et ancien directeur du département Électronique de l'ENSTA.

Cette 5<sup>e</sup> édition a été mise à jour par une équipe d'enseignants-chercheurs de l'ESIEE :

CHRISTIAN RIPOLL  
CHRISTOPHE DELABIE  
ANTOINE D'HERMIES  
BERNARD LATORRE  
PATRICK POULICHET



9 782100 525430

6672505

ISBN 978-2-10-052543-0

L'USINE NOUVELLE

[www.dunod.com](http://www.dunod.com)

