

Dominique Nicolas

Recueil d'analyses de circuits électroniques étonnants

Une poésie des électrons



PLUS DE
400
FIGURES

ellipses

Table des matières

1 Synthèse des connaissances et outils prérequis	17
1.1 Théorèmes de l'électricité	17
1.2 Termes	17
1.2.1 Masse, potentiel et tension	17
1.2.2 Mode différentiel et mode commun	17
1.2.3 Point statique	18
1.2.4 Régime dynamique	18
1.2.5 Analyse transitoire	18
1.2.6 Simulation	19
1.2.7 Réactions négative et positive	19
1.2.8 Taux de réaction	20
1.2.9 Électronique en composants discrets et électronique intégrée	20
1.3 Modélisation des composants semiconducteurs	21
1.3.1 Appairage ou appariement	21
1.3.2 Diodes	21
1.3.3 Transistors bipolaires (BJT)	21
1.3.4 Transistors à effet de champ à jonction (JFET)	24
1.3.5 Transistors à effet de champ métal-oxyde-semiconducteur (MOS-FET)	26
1.3.6 Technologie BiCMOS	28
1.3.7 Amplificateurs opérationnels de tension	28
1.3.8 Amplificateurs opérationnels à transconductance	29
1.4 Outils mathématiques	29
1.4.1 Transformées de Laplace continue et discrète	29
1.4.2 Transformée de Fourier	29
1.4.3 Fonction W de Lambert	29
1.5 Le logiciel de simulation électronique Qucs	30
2 Fonctions analogiques à base de transistors	31
2.1 Paires de Darlington et Sziklai en BiCMOS	31
2.1.1 Paires de type Darlington	32
2.1.2 Paires de type Sziklai	34
2.1.3 Simulations	37
2.2 Circuits d'autopolarisation	41
2.2.1 Prédiction de la tension grille-source d'une source de courant à base de CMOS	41
2.2.2 Circuit d'autopolarisation à base de MOS et de BJT	44
2.2.3 Circuit d'autopolarisation à base de MOS	47
2.2.4 Source de courant indépendant de la tension d'alimentation	51

2.3	Convertisseur logarithmique à base de transistors	60
2.3.1	Schéma et fonction	60
2.3.2	Démonstration	60
2.3.3	Simulation	61
2.4	Paire différentielle élémentaire en technologie bipolaire	62
2.4.1	Régime de polarisation	62
2.4.2	Régime de petits signaux	66
2.4.3	Simulation	72
2.5	Détecteur de passage par zéro	76
2.5.1	Schéma et fonction	76
2.5.2	Démonstration	77
2.5.3	Simulation	79
2.6	Convertisseur tension-courant exponentiel indépendant de la température	83
2.6.1	Schéma et fonction	83
2.6.2	Démonstration	83
2.7	Mesureur de gain en courant de transistors bipolaires intégrés	85
2.7.1	Schéma et fonction	85
2.7.2	Démonstration	87
2.7.3	Simulation	87
2.8	Amplificateur à transconductance à sortie différentielle en technologie bipolaire	90
2.8.1	Schéma et fonction	90
2.8.2	Démonstration	90
2.8.3	Simulation	93
2.9	Loi au carré à base de transistors MOS	96
2.9.1	Schéma et fonction	96
2.9.2	Démonstration	96
2.9.3	Simulation	98
2.10	Multiplieur 4 cadrans en technologie MOS	101
2.10.1	Schéma et fonction	101
2.10.2	Démonstration	101
2.10.3	Simulation	107
2.11	Déphaseur réglable de 0° à 360° en technologie JFET	111
2.11.1	Schéma et fonction	111
2.11.2	Démonstration	111
2.11.3	Simulation	117
2.11.4	Avec des MOSFET	120
2.12	Doubleur de fréquence en technologie BJT	121
2.12.1	Schéma et fonction	121
2.12.2	Démonstration	121
2.12.3	Simulation	125
2.13	Diode « Lambda »	127
2.13.1	Fonction et utilisation	127
2.13.2	Diode à transistors JFET	127
2.13.3	Diode hybride à transistors JFET et bipolaire	130
2.13.4	Diode Lambda commandable à transistors JFET	134

3	Circuits à capacités commutées	141
3.1	Circuits à capacités commutées	141
3.2	Résistance pilotable	141
3.2.1	Schéma et fonction	141
3.2.2	Démonstration	142
3.2.3	Simulation	143
3.3	Filtre passe-bas du premier ordre pilotable	145
3.3.1	Schéma et fonction	145
3.3.2	Démonstration	145
3.3.3	Simulation	145
3.4	Intégrateur non-inverseur du premier ordre	148
3.4.1	Schéma et fonction	148
3.4.2	Démonstration à l'aide de la transformée en z	149
3.4.3	Simulation	151
3.5	Intégrateur inverseur du premier ordre	152
3.5.1	Schéma et fonction	152
3.5.2	Démonstration	153
3.5.3	Simulation	153
4	Résistances commandables	155
4.1	Schéma CMOS n°1	155
4.1.1	Schéma et fonction	155
4.1.2	Démonstration	155
4.1.3	Simulation	160
4.2	Schéma CMOS n°2	164
4.2.1	Schéma et fonction	164
4.2.2	Démonstration	165
4.2.3	Simulation	166
4.3	Schéma CMOS n°3	170
4.3.1	Schéma et fonction	170
4.3.2	Démonstration	170
4.3.3	Simulation	173
5	Convertisseurs analogiques à base d'amplificateurs opérationnels	177
5.1	Résistance négative et/ou non-linéaire	177
5.1.1	Fonction et schéma	177
5.1.2	Démonstration	177
5.1.3	Simulation	181
5.2	Amplificateur contenant une résistance négative	183
5.2.1	Schéma et fonction	183
5.2.2	Démonstration	184
5.2.3	Simulation	185
5.3	Amplificateur à résistance d'entrée élevée	186
5.3.1	Schéma et fonction	186
5.3.2	Démonstration	186
5.3.3	Simulation	187
5.4	Inverseurs et diviseurs	188

5.4.1	Généralités	188
5.4.2	Inverseur statique n°1	188
5.4.3	Inverseur statique n°2	191
5.4.4	Inverseur statique n°3	194
5.4.5	Inverseur dynamique	196
5.5	Convertisseurs de valeur absolue	200
5.5.1	Généralités	200
5.5.2	Circuit n°1	200
5.5.3	Circuit n°2 : cas particulier du schéma précédent	204
5.5.4	Schéma n°3	209
5.6	Convertisseurs logarithmiques	215
5.6.1	Amplificateur logarithmique pour fonctions $\ln(x)$ et $\ln(1/x)$ n°1	215
5.6.2	Amplificateur logarithmique pour fonctions $\ln(x)$ et $\ln(1/x)$ n°2	218
5.6.3	Multiplieur/diviseur « un cadran » exploitant la loi de Shockley (n°1)	220
5.6.4	Multiplieur/diviseur « un cadran » exploitant la loi de Shockley (n°2)	223
5.7	Amplificateur faible bruit à gain positif	228
5.7.1	Schéma et fonction	228
5.7.2	Démonstration	229
5.7.3	Montage alternatif	230
5.8	Fonction $\operatorname{arctanh}(x)$	232
5.8.1	Schémas et fonctions	232
5.8.2	Démonstration	237
5.8.3	Simulation	238
5.9	Intégrateurs	240
5.9.1	Généralités	240
5.9.2	Intégrateur simple inverseur ou intégrateur de Miller	242
5.9.3	Intégrateur de Miller non-inverseur	246
5.9.4	Intégrateur de Miller avec suiveur de tension	249
5.9.5	Intégrateur de Miller non-inverseur utilisant le <i>feedforward</i>	252
5.9.6	Intégrateur de Deboo non-inverseur	256
5.9.7	Intégrateur à avance de phase non-inverseur	262
5.9.8	Intégrateur à constante de temps équilibrée	265
6	Circuits d'imitation à base d'amplificateurs opérationnels	271
6.1	Simulateurs et multiplieurs de capacité	271
6.1.1	Simulateur de capacité n°1	271
6.1.2	Simulateur de capacité n°2	275
6.1.3	Simulateur de capacité n°3	277
6.1.4	Simulateur de capacité n°4	279
6.1.5	Simulateur de capacité n°5 (capacité négative)	281
6.1.6	Simulateur de capacité n°6 (capacité négative)	283
6.2	Simulateurs d'inductance (gyrateurs)	285
6.2.1	Généralités	285
6.2.2	Simulateur d'inductance n°1	285
6.2.3	Simulateur d'inductance n°2	288

6.2.4	Simulateur d'inductance n°3. Application à un filtre passe-haut du second ordre	290
6.2.5	Simulateur d'inductance n°4	296
6.3	Autre multiplieur d'impédance	298
6.3.1	Schéma et fonction	298
6.3.2	Démonstration	298
6.3.3	Simulation	300
6.4	Simulateur d'inductance avec amplificateur à transconductance	302
6.4.1	Schéma et fonction	302
6.4.2	Démonstration	302
6.4.3	Simulation	303
6.5	Filtre passe-tout à amplificateur à transconductance produisant un décalage de phase de 90°	304
6.5.1	Schéma et fonction	304
6.5.2	Démonstration	305
6.5.3	Simulation	305
7	Sources et miroirs de courant	309
7.1	Études statique et dynamique d'une famille de sources et miroirs de courant constitués de transistors bipolaires	309
7.1.1	Généralités	309
7.1.2	Source de courant généralisée	309
7.1.3	Miroir de courant élémentaire	313
7.1.4	Source de courant de Widlar	314
7.1.5	Source de courant inverse de Widlar	319
7.1.6	Source de courant de Nagata	321
7.1.7	Source de courant « R_1 nulle »	324
7.1.8	Source de courant de « Nagata / Widlar inverse »	330
7.1.9	Source de courant « dernière configuration »	331
7.2	Diminution de l'erreur de recopie des miroirs de courant élémentaires constitués de transistors bipolaires	333
7.2.1	Miroir de courant de gain ≥ 1 à erreur $2/\beta$	333
7.2.2	Miroir de courant « à compensation du courant de base » à erreur de recopie $\sim 2/\beta^2$	337
7.2.3	Miroir de courant à gain unitaire et à faible erreur de recopie ($\sim 2/\beta^2$)	339
7.2.4	Miroir de courant à gain ≥ 1 et à faible erreur de recopie ($\sim 2/\beta^2$)	341
7.3	Sources de courant à base d'amplificateurs opérationnels	343
7.3.1	Source de courant de Howland	343
7.3.2	Source de courant contrôlée en tension (VCCS) utilisant des transistors bipolaires	350
8	Références Bandgap	353
8.1	Généralités	353
8.2	Référence Bandgap de Widlar	353
8.2.1	Schéma et fonction	353
8.2.2	Démonstration	354

8.2.3	Simulation	355
8.3	Référence Bandgap de Brokaw	358
8.3.1	Schéma et fonction	358
8.3.2	Démonstration	359
8.3.3	Simulation	360
8.3.4	Version dépourvue de Q_3	361
8.3.5	Version à amplificateur opérationnel	361
9	Attracteurs étranges (oscillateurs chaotiques)	363
9.1	Attracteur de Chua	363
9.1.1	Schéma et fonction	363
9.1.2	Démonstration	364
9.1.3	Simulation	367
9.2	Attracteur de Rössler	370
9.2.1	Schéma et fonction	370
9.2.2	Démonstration	371
9.2.3	Simulation	373
9.3	Attracteur de Lorenz	375
9.3.1	Schéma et fonction	375
9.3.2	Simulation	376
9.4	Attracteur de Rikitake	379
9.4.1	Schéma et fonction	379
9.4.2	Démonstration	380
9.4.3	Simulation	382
10	Circuits pour les radiofréquences (RF)	385
10.1	Condensateurs variables à capacités commutées	385
10.1.1	Schéma et fonction	385
10.1.2	Caractéristiques	386
10.1.3	Architectures	389
10.1.4	Démonstration de l'évolution de la capacité en fonction de l'état binaire	393
10.1.5	Démonstration de la raison géométrique q entre deux branches successives	394
10.1.6	Facteur de mérite	395
10.1.7	Dimensionnement	396
10.1.8	Démonstration du facteur de qualité	398
10.1.9	Simulations	413
10.2	Coupleur directionnel de Bruene	426
10.2.1	Schéma et fonction	426
10.2.2	Démonstration	427
10.2.3	Simulation	429
10.3	Détecteurs d'amplitude	434
10.3.1	Détecteur d'amplitude de Meyer en technologie BJT	434
10.3.2	Détecteur d'amplitude de Meyer en technologie CMOS	438

10.4 Détecteurs de phase	444
10.4.1 Détecteur de phase 0° - 180°	444
10.4.2 Détecteur de phase « gamme complète » 0° - 360°	447
Bibliographie	453
Index	458