

Table des matières

1	Théorie des systèmes linéaires invariants dans le temps	13
1.1	Définition des filtres linéaires	13
1.2	Transformés de Laplace dans l'étude des filtres	17
1.3	Transformés de Fourier dans l'étude des filtres	19
1.3.1	Interprétation physique de $H(j\omega)$	20
1.3.2	Mise en cascade de filtres linéaires	21
1.4	Représentations de la fonction de transfert	22
1.4.1	Diagramme de Bode	22
1.4.2	Diagramme de Nyquist	28
1.5	Les différents types de filtrage	28
2	Amplificateurs opérationnels	33
2.1	Modèles d'amplificateurs en électronique	33
2.1.1	Modélisation d'un amplificateur de tension	34
2.1.2	Autres types d'amplificateurs	35
2.2	Amplificateur opérationnel	37
2.2.1	Introduction	37
2.2.2	Régime linéaire-régime saturé	38
2.2.3	Introduction à la rétroaction	39
2.2.4	Modélisation de l'amplificateur opérationnel réel	41

2.2.5	Simplification du modèle	42
2.2.6	Principaux montages	43
2.2.7	Influence des défauts statiques	46
3	Notion sur la stabilité des systèmes linéaires	51
3.1	Stabilité d'un système linéaire	51
3.2	Cas des systèmes bouclés	53
3.3	Exemple d'application des critères de stabilité	55
3.3.1	Montage dérivateur idéal	55
3.3.2	Compensation du dérivateur	58
3.4	Systèmes bouclés en électronique	60
3.4.1	Gain et bande passante	61
3.4.2	Calculs des impédances d'entrée et de sortie du montage	62
4	Oscillateurs quasi-sinusoïdaux et de relaxation	65
4.1	Principe de fonctionnement	65
4.2	Définition d'un oscillateur	67
4.3	Un exemple: le pont de Wien	68
4.3.1	Condition de démarrage	69
4.3.2	Etude temporelle du démarrage	69
4.3.3	Régime permanent	70
4.4	Réalisation d'oscillateurs quasi-sinusoïdaux	71
4.4.1	Qualité de l'oscillateur-stabilité en fréquence	71
4.4.2	Chaîne directe	73
4.4.3	Oscillateurs hautes fréquences	73
4.5	Oscillateurs de relaxation	75
5	Diodes à jonction	81
5.1	La jonction à l'équilibre	81
5.1.1	Analyse qualitative	81
5.1.2	Hypothèses de calcul	82
5.1.3	Calcul de la barrière de potentiel	83
5.1.4	Calcul du champ électrique	84
5.1.5	Calcul de la largeur de la ZCE	85
5.1.6	Ordres de grandeur	86
5.1.7	Diagramme des bandes d'énergie	86
5.2	Jonction hors équilibre - polarisation directe	87
5.2.1	Hypothèses de calcul	87

5.2.2	Calcul de la concentration des porteurs à la limite de la ZCE	88
5.2.3	Concentrations des porteurs dans les ZDR	89
5.2.4	Calcul du courant traversant la jonction	91
5.2.5	Limite de ce résultat	92
5.3	Jonction hors équilibre - polarisation inverse	92
5.3.1	Analyse qualitative	92
5.3.2	Claquage de la jonction en polarisation inverse	93
5.4	Caractéristique courant-tension de la diode	94
6	Transistors bipolaires	95
6.1	Réalisation	95
6.2	Effet transistor	96
6.3	Bilan des courants circulant dans un transistor bipolaire	97
6.4	Remarque sur le coefficient bêta du transistor	99
6.5	Caractéristiques statiques du transistor en régime normal	99
6.5.1	Caractéristique d'entrée: $I_B = f(V_{BE})$ à $V_{CE} = cste$	100
6.5.2	Caractéristique de sortie: $I_C = f(V_{CE})$ à $I_B = cste$	101
6.5.3	Conditions maximales d'utilisation	102
7	Etude d'amplificateurs à transistor bipolaire	103
7.1	Polarisation du transistor	104
7.1.1	Polarisation du circuit de sortie	104
7.1.2	Caractéristique de transfert	105
7.1.3	Polarisation du circuit d'entrée	106
7.2	Principe de l'amplification de petits signaux sinusoïdaux	107
7.2.1	Solution graphique	109
7.2.2	Schéma équivalent du transistor	110
7.3	Modélisation du transistor bipolaire pour "petits signaux"	110
7.3.1	Schéma équivalent "petits signaux-basse fréquence"	111
7.3.2	Schéma équivalent "petits signaux - hautes fréquences"	113
7.4	Remarques générales sur les amplificateurs de petits signaux	114
7.5	Quelques exemples de circuits amplificateurs à émetteur commun	115
7.5.1	Montage émetteur commun - polarisation de base	115
7.5.2	La polarisation	117

7.5.3	Calcul du gain en tension	117
7.5.4	Impédances d'entrée et de sortie de l'amplificateur	118
7.5.5	Position du point de polarisation - amplificateur de classe A	118
7.5.6	Stabilité du point de polarisation	121
7.6	Montage émetteur commun - polarisation par diviseur de tension	122
7.6.1	La polarisation	123
7.6.2	Calcul du gain en tension	125
7.6.3	Impédances d'entrée et de sortie de l'amplificateur	126
7.6.4	Position du point de polarisation - amplificateur de classe A	126
7.6.5	Compromis valeur du gain en tension - stabilité de l'amplificateur	127
7.6.6	Exemple	128
8	Amplificateurs de puissance	131
8.1	Amplificateurs de classe A	131
8.1.1	Choix du point de polarisation optimum pour la classe A	132
8.1.2	Gain et impédances en signaux forts d'une classe A	132
8.1.3	Rendement d'une classe A	133
8.2	Amplificateur de classe B	135
8.2.1	Polarisation en classe B	136
8.2.2	Montage Push-Pull	137
9	Utilisation des oscilloscopes	141
9.1	Introduction	141
9.2	Principe de fonctionnement	143
9.2.1	Bande passante	143
9.2.2	Oscilloscope analogique - oscilloscope numérique	143
9.2.3	Système vertical	143
9.2.4	Système horizontal-Trigger	145
9.2.5	Protocole de réglage	146
9.3	Manipulations à effectuer	146
9.3.1	Synchronisation de l'oscilloscope	147
9.3.2	Couplages d'entrée de l'oscilloscope	147
9.3.3	Mesures des amplitudes, des durées et des déphasages	147

9.3.4	Influence de l'impédance d'entrée de l'oscilloscope	150
9.3.5	Utilisation du mode X-Y	151
10	Etude d'un circuit à diode	153
10.1	Caractérisation d'un générateur basse fréquence	154
10.1.1	Mesure de l'impédance interne par la méthode de la 1/2 tension	154
10.1.2	Mesure de l'impédance interne via un ohmmètre	154
10.1.3	Saturation en tension du GBF	156
10.1.4	Saturation en courant du GBF	156
10.2	Circuit détecteur de crête	158
10.2.1	Principe	158
10.2.2	Ondulation résiduelle de la tension de sortie . . .	160
10.2.3	Calcul des courants traversant le détecteur et précautions d'emploi	161
10.2.4	Modélisation de la diode	163
10.2.5	Allure expérimentale de la tension de sortie . . .	165
10.2.6	Mesure expérimentale des courants traversant le détecteur	166
10.2.7	Manipulations	167
10.3	Application à la visualisation du module d'une fonction de transfert	169
10.3.1	Position du problème	169
10.3.2	Utilisation du GBF en modulateur de fréquence .	170
10.3.3	Filtre passe-bande étudié	170
10.3.4	Manipulations	171
10.3.5	Principe du réglage du détecteur de crête	172
11	Filtrage	179
11.1	Filtre passe-bas du 1er ordre	179
11.1.1	Fonction de transfert - Préparation	180
11.1.2	Fonction de transfert - Manipulations	180
11.1.3	Régimes transitoires - préparation	181
11.1.4	Régimes transitoires - manipulations	181
11.1.5	Réponse à une excitation périodique - préparation	183
11.1.6	Réponse à une excitation périodique - manipulations	183
11.1.7	Réponse impulsionnelle - Préparation	184

11.1.8 Réponse impulsionnelle - Manipulations	185
11.2 Filtres actifs - filtres passifs	186
11.2.1 Manipulations	186
11.3 Filtre passe-bande du 2ème ordre	187
11.3.1 Pourquoi une structure active?	187
11.3.2 Fonction de transfert - Préparation	188
11.3.3 Fonction de transfert - Manipulation	189
11.3.4 Régimes transitoires - préparation	190
11.3.5 Réponse à un échelon - Manipulation	191
11.3.6 Réponse à un échelon - suite	192
11.3.7 Réponse à un train de sinusoïde - Manipulation	193
11.3.8 Réponse à une excitation périodique	195
11.4 Application à la réalisation d'un analyseur de spectre	197
11.4.1 Principe	197
11.4.2 Filtre sélectif à fréquence centrale commandable	198
11.4.3 Utilisation du circuit MF 10	199
11.4.4 Manipulations	200
12 Etude expérimentale des amplificateurs opérationnels	203
12.1 Tension de décalage	204
12.1.1 Préparation	204
12.1.2 Manipulations	204
12.1.3 Compensation de la tension de décalage	205
12.2 Courants de polarisation	206
12.2.1 Préparation	206
12.2.2 Méthodes de détermination des courants	207
12.2.3 Manipulations	207
12.3 Produit gain $\times$ bande passante	209
12.3.1 Préparation	209
12.3.2 Manipulations	209
12.4 Vitesse limite de balayage (slew-rate)	209
12.5 Courant de saturation de sortie	210
12.6 Montage intégrateur	211
12.6.1 Préparation	211
12.6.2 Compensation de l'intégrateur	212
12.6.3 Manipulations	212
12.7 Montage dérivateur	214
12.7.1 Préparation	214
12.7.2 Compensation du dérivateur	215

12.7.3 Manipulations	216
12.8 Diode sans seuil	218
12.8.1 Préparation	218
12.8.2 Manipulation	219
12.9 Comparateur à hystérésis	219
12.9.1 Préparation	219
12.9.2 Manipulations	220
13 Etude expérimentale des oscillateurs en électronique	221
13.1 Oscillateur à pont de Wien	221
13.1.1 Aspect théorique	221
13.1.2 Etude de la chaîne active à amplificateur opérationnel	224
13.1.3 Etude de la boucle ouverte de l'oscillateur	224
13.1.4 Condition de démarrage	225
13.1.5 Démarrage des oscillations	227
13.1.6 Démarrage dans le plan de phase	228
13.1.7 Amplitude des oscillations	229
13.2 Oscillateurs de relaxation	231
13.2.1 Préparation	232
13.2.2 Expérience	234
13.2.3 Passage aux oscillations quasi-sinusoïdales	235
13.3 Générateur de signaux	237
13.3.1 Préparation	237
13.3.2 Expérience	238
14 Effets des non-linéarités sur le comportement d'un oscillateur	239
14.1 Réalisation d'une non-linéarité polynomiale cubique	239
14.1.1 Circuit de réalisation	239
14.1.2 Analyse du circuit	240
14.1.3 Caractéristique $s=f(e)$	241
14.1.4 Détermination expérimentale de $s = f(e)$	242
14.2 Oscillateur de Van der Pol	244
14.2.1 Rappels	244
14.2.2 Analyse de la réalisation pratique	244
14.2.3 Partie expérimentale	246
14.3 Oscillateur anharmonique en régime libre	249
14.3.1 Rappels	249

14.3.2	Réalisation expérimentale du potentiel à deux puits	252
14.3.3	Plan de phase	253
14.3.4	Analyse fréquentielle	254
14.4	Oscillateur anharmonique en régime forcé	256
14.4.1	Rappels	256
14.4.2	Réalisation expérimentale	257
14.4.3	Comparaison des courbes de résonance	259
14.5	Oscillateur anharmonique: transition vers le chaos	260
14.5.1	Explications	260
14.5.2	Réalisation pratique	262
15	Amplifications en électronique	265
15.1	Caractéristiques d'un transistor bipolaire 2N2222	266
15.1.1	Caractéristique $I_b = f(V_{be})$ à $V_{ce} = cste$	266
15.1.2	Caractéristique $I_c = f(V_{ce})$ à $I_b = cste$	266
15.1.3	Visualisation d'une caractéristique à l'oscilloscope	267
15.2	Montage à émetteur commun polarisé par la base	267
15.2.1	Préparation	267
15.2.2	Partie expérimentale	270
15.3	Montage émetteur commun polarisé par pont	271
15.3.1	Préparation	271
15.3.2	Partie expérimentale	274
15.3.3	Découplage de la résistance d'émetteur	275
15.4	Amplificateurs de puissance	277
15.4.1	Préparation	277
15.4.2	Réalisation expérimentale	278
15.5	Application des transistors	279
15.5.1	Fonction interrupteur	279
15.5.2	Oscillateur Colpits	280
16	Conversions en électronique de puissance	283
16.1	Conversion alternatif-continu	284
16.1.1	But	284
16.1.2	Redressement monoalternance	285
16.1.3	Redressement double alternance	287
16.1.4	Filtrage par capacité	288
16.1.5	Stabilisation par diode Zener	291
16.1.6	Amplifications	297
16.2	Conversion continu-alternatif	300

16.2.1	Introduction	300
16.2.2	Montage à deux interrupteurs	300
16.2.3	Réalisation pratique	301
16.2.4	Montage à quatre interrupteurs	302
16.2.5	Réalisation pratique	304
17	Transducteurs électromécaniques	307
17.1	Rappel des équations du moteur à courant continu	307
17.1.1	Mise en équation	307
17.1.2	Dynamique et fonction de transfert	308
17.2	Mesure des paramètres électriques	311
17.2.1	Mesure de l'inductance du rotor	311
17.2.2	Mesure de la résistance du rotor	312
17.3	Mesure des paramètres mécaniques	313
17.3.1	Mesure de la constante de couple	313
17.3.2	Mesure des coefficients de frottements secs et visqueux	313
17.3.3	Mesure du moment d'inertie du rotor	314
17.4	Validation du modèle	315
17.4.1	Comparaison avec les données du constructeur	315
17.4.2	Détermination expérimentale directe de la fonction de transfert	315
18	Acquisition et traitement des données	321
18.1	Position du problème	322
18.2	Filtre du premier ordre: la cellule R-C	324
18.2.1	Obtention de la réponse impulsionnelle	325
18.2.2	Identification de la fonction de transfert	328
18.3	Filtre du second ordre: le circuit R-L-C série	332
18.3.1	Obtention de la réponse impulsionnelle	333
18.3.2	Identification de la fonction de transfert	337
18.3.3	Réponse indicielle	340
18.3.4	Comparaison des méthodes	343
18.4	Analyse spectrale de signaux transitoires	343
18.4.1	Durée d'observation - période d'échantillonnage	344
18.4.2	Position des instants d'échantillonnage - estimation de la phase	345
18.4.3	Programmation dans le cas du filtre passe-bas	347
18.4.4	Réponse impulsionnelle du filtre passe-bas	347

18.4.5 Réponse impulsionnelle du filtre passe-bande . .	348
18.4.6 Réponse indicielle du filtre passe-bande	349
18.5 Conclusion	350
19 Modélisation d'un dipôle électrique	351
19.1 Position du problème	351
19.1.1 Circuit	351
19.1.2 Conditions initiales	352
19.1.3 Evolution du circuit	352
19.2 Protocole expérimental	353
19.2.1 Dipôles utilisés	353
19.2.2 Mesures de la résistance totale du circuit et de son inductance	354
19.2.3 Les moindres carrés	355
19.2.4 Mesure de la puissance dissipée dans le circuit .	356
19.2.5 Mesures des conditions initiales	357
19.3 Expérimentation	357
19.3.1 Mesures préliminaires	357
19.3.2 Acquisition de la tension aux bornes de la résistance	358
19.3.3 Identification du modèle	358
19.3.4 Estimation de la puissance dissipée	359
19.3.5 Comparaison et critique des résultats	359
19.3.6 Résistance totale du circuit	360
19.4 Problèmes liés à l'utilisation d'une bobine à air	360
19.4.1 Modélisation d'une bobine à air	360
19.4.2 Validation expérimentale du modèle	362
19.5 Interprétation des résultats du bilan énergétique	364
19.5.1 Interprétation simplifiée	364
19.5.2 Interprétation de l'expérience en régime transitoire	364
20 Asservissement d'une grandeur physique	367
20.1 Organisation générale de l'asservissement	367
20.2 Fonction de transfert du moteur	368
20.2.1 Fonction de transfert du moteur à vide	368
20.2.2 Fonction de l'ensemble moteur-génératrice	370
20.2.3 Nécessité de l'asservissement	372
20.3 Alimentation de puissance du moteur	373
20.3.1 Hacheur dévolteur	373
20.3.2 Nécessité d'une bobine de lissage	375

20.3.3 Circuit réel	377
20.3.4 Fréquence maximale de hachage	378
20.3.5 Obtention d'un rapport cyclique variable	378
20.4 Fonction de transfert de l'ensemble moteur et alimentation	379
20.4.1 Point de fonctionnement	380
20.4.2 Fonction de transfert	380
20.5 Etude du système bouclé	381
20.5.1 Dynamique du système bouclé	382
20.5.2 Correction proportionnelle	383
20.5.3 Compromis précision - stabilité	383
20.5.4 Correction intégrale	386
20.5.5 Correction proportionnelle - intégrale	387
20.6 Manipulations	390
20.6.1 Identification de la fonction de transfert de l'en- semble hacheur-moteur-capteur de vitesse	390
20.6.2 Etude du hacheur	393
20.6.3 Correction du système	396

Références

403