

TECHNOSUP

Les FILIÈRES TECHNOLOGIQUES des ENSEIGNEMENTS SUPÉRIEURS

ELECTRONIQUE

Bases de l'électronique analogique

Du composant au circuit intégré
Cours et exercices corrigés

Laurent PICHON



La côte de l'ouvrage : 2-621-820

Résumé

Support de cours progressif pour étudiant débutant ou confirmé, l'ouvrage est aussi un recueil de synthèse pour professionnel désireux de se remettre à jour ou de consolider ses connaissances.

Le livre est un document de base complet sur l'électronique analogique (basses fréquences).

L'exposé part du dipôle électrique, des circuits et des théorèmes généraux. Puis il présente les quadripôles et développe les réponses d'un circuit électronique linéaire avant de traiter les diodes et les transistors. Les différents amplificateurs sont ensuite analysés (à transistors, différentiels, de puissance et opérationnels). Pour terminer sont présentées des fonctions électroniques utiles au développement de systèmes plus complexes et le livre s'achève sur l'analyse du fonctionnement interne de l'amplificateur opérationnel.

Chaque chapitre comporte également une série d'exercices d'application corrigés. Enfin, des problèmes de synthèse également corrigés complètent cette vue globale cohérente sur les fondamentaux incontournables en électronique analogique.

TABLES DES MATIERES

CHAPITRE I

LES DIPOLES	1
1. Définitions	1
1.1 Dipôle	1
1.2 Tension	1
1.3 Courant	1
1.4 Caractéristique électrique d'un dipôle	2
1.5 Puissance électrique aux bornes d'un dipôle	2
2. Sources (dipôles actifs)	3
2.1 Sources idéales	3
2.2 Sources réelles	3
3. Récepteurs (dipôles passifs)	4
3.1 Résistance	4
3.2 Condensateur	4
3.3 Bobine	5
4. Dipôle en régime sinusoïdal permanent	5
4.1 Signal sinusoïdal	5
4.2 Notations complexes	6
4.3 Impédances complexes. Loi d'Ohm généralisée	6
4.4 Puissance en régime sinusoïdal	9
4.5 Facteur de qualité d'un dipôle	11
5. Adaptation en puissance	11

CHAPITRE II

THEOREMES GENERAUX ET CIRCUITS	13
1. Associations de dipôles	13
1.1 Association en série	13
1.2 Association en parallèle	14
1.3 Transformation triangle-étoile (Théorème de Kennelly)	14
2. Lois de Kirchhoff	15
2.1 Définitions sur les circuits	15
2.2 Lois des nœuds	15
2.3 Loi des mailles	16
2.4 Relations utiles	16
3. Théorème de superposition	17
4. Théorème de Millman	18
5. Théorèmes de Thévenin et de Norton	18
5.1 Détermination des éléments du générateur équivalent de Thévenin	18
5.2 Détermination des éléments du générateur équivalent de Norton	19
5.3 Equivalence Thévenin-Norton	19

6. Analyses des réseaux linéaires	19
6.1 Méthode des mailles.....	19
6.2 Méthode des nœuds.....	20
6.3 Choix de la méthode.....	21

CHAPITRE III

LES QUADRIPOLES	23
1. Définitions	23
1.1 Impédance d'entrée.....	23
1.2 Impédance de sortie.....	24
2. Représentations matricielles	24
3. Calculs des éléments de matrice	25
3.1 Paramètres admittances.....	25
3.2 Paramètres impédances.....	25
3.3 Paramètres hybrides.....	26
3.4 Paramètres de transfert.....	26
4. Schémas électriques des quadripôles linéaires	27
4.1 Représentation à partir des paramètres admittances.....	27
4.2 Représentation à partir des paramètres impédances.....	27
4.3 Représentations à partir de paramètres hybrides.....	27
4.4 Equivalences entre paramètres.....	28
5. Propriétés générales des quadripôles	28
5.1 Quadripôle passif.....	28
5.2 Quadripôle actif.....	29
5.3 Modélisation la plus classique du quadripôle : l'amplificateur de tension.....	32
5.4 Gains de l'amplificateur unilatéral dans une chaîne quadripolaire complète.....	34
6. Associations de quadripôles	36
6.1 Association en cascade.....	36
6.2 Association en série.....	37
6.3 Association en parallèle.....	37
6.4 Association série-parallèle.....	38
6.5 Association parallèle-série.....	38

CHAPITRE IV

REPONSE D'UN CIRCUIT ELECTRONIQUE LINEAIRE	39
1. Introduction	39
2. Réponse en régime transitoire	40
2.1 Circuits du 1 ^{er} ordre.....	40
2.2 Circuit du second ordre.....	44
3. Reponse en régime sinusoïdal permanent	48
3.1 Diagrammes de Bode.....	48
3.2 Filtres.....	48
3.3 Filtres d'ordre 1.....	49

3.4 Filtres d'ordre 2	56
-----------------------------	----

CHAPITRE V

DIODES ET TRANSISTORS

1. Diodes	67
1.1 Propriétés générales.....	67
1.2 Modèles électriques linéarisés.....	68
1.3 Point de fonctionnement.....	68
1.4 Claquage.....	69
1.5 Diode en régime dynamique	69
2. Transistors bipolaires.....	70
2.1 Propriétés générales.....	70
2.2 Transistor bipolaire en régime dynamique (sinusoïdal)	71
3. Transistors à effet de champ	73
3.1 Propriétés générales.....	73
3.2 Transistor à effet de champ en régime dynamique.....	76

CHAPITRE VI

AMPLIFICATEURS A TRANSISTORS

1. Introduction	79
2. Amplificateurs à transistors bipolaires	80
2.1 Emetteur commun avec résistance d'émetteur découplée.....	80
2.2 Emetteur commun avec résistance d'émetteur non découplée.....	83
2.3 Collecteur commun	85
2.4 Base commune	87
3. Amplificateurs à transistors à effet de champ	89
3.1 Source commune	89
3.2 Source commune avec résistance de source non découplée.....	91
3.3 Drain commun.....	93

CHAPITRE VII

AMPLIFICATION DIFFERENTIELLE

1. Amplificateur différentiel bipolaire	97
1.1 Schéma électrique de base.....	97
1.2 Polarisation.....	97
1.3 Régime dynamique (aux basses fréquences).....	98
2. Amplificateur différentiel MOS	103
2.1 Fonction.....	103
2.2 Schéma électrique de base.....	104
2.3 Polarisation.....	104
2.4 Régime dynamique (aux basses fréquences).....	105

CHAPITRE VIII

AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE	111
1. Introduction	111
2. Définitions	111
2.1 Puissance, rendement	111
2.2 Classe des amplificateurs	112
3. Amplificateur classe A	112
3.1 Montage émetteur commun.....	112
3.2. Amélioration : amplificateur classe A à transformateur.....	114
4. Amplificateur classe B	115
4.1 Montage de base.....	115
4.2. Paire complémentaire en classe B (montage push pull)	116

CHAPITRE IX

L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL	123
1. Introduction	123
1.1 Présentation physique et câblages	123
1.2 Représentation symbolique	123
2. Propriétés	124
2.1 Amplificateur opérationnel réel.....	124
2.2 Amplificateur opérationnel parfait	125
2.3 Comportement en fréquence	126
2.4 Condition de stabilité	127
3. Montages en régime linéaire	128
3.1 Montages amplificateurs	128
3.2 Montages opérationnels.....	129
3.3 Montages non linéaires.....	131
3.4 Convertisseur d'impédance négative.....	133
4. Montages en régime saturé	133
4.1 Comparateurs	133
4.2 Comparateur à hystérésis (ou Trigger)	134

CHAPITRE X

QUELQUES FONCTIONS DE L'ELECTRONIQUE INSTRUMENTALE	137
1. Calculs analogiques	137
2. Convertisseurs analogique/numérique et numérique/analogique	139
2.1 Convertisseurs analogique-numérique (CAN)	139
2.2 Convertisseur numérique-analogique (CNA).....	141
3. Capteurs à pont de wheatstone	142
4. Montages astables et oscillateurs	142
4.1 Montage VCO (Voltage Control Oscillator)	142
4.2 Oscillateur sinusoïdal à pont de Wien.....	144

CHAPITRE XI	
FONCTIONS DE BASE DE L'ELECTRONIQUE INTEGREE	147
1. Sources de courant	147
1.1 Miroir de courant à transistors bipolaires.....	147
1.2 Source de WIDLAR à transistors bipolaires	148
1.3 Source à courant à courant de base compensé	149
1.4 Miroir de courant à transistors MOS	150
1.5 Source de WILSON à transistors MOS.....	151
2. Etages différentiels bipolaires	153
2.1. Polarisation.....	153
2.2 Etage différentiel bipolaire avec charge active	154
3. Etages différentiel MOS	156
3.1 Polarisation.....	156
3.2 Etage différentiel MOS avec charge active	157
4. Capteurs de température intégrés	158
5. Références de tension	159
5.1 Référence de tension à bandgap	159
5.2. Référence de tension à transistors MOS.....	160
CHAPITRE XII	
EXEMPLES DE SYNTHESES:LES AMPLIFICATEURS OPERATIONNELS ...	163
1. Amplificateur opérationnel bipolaire : Cas μA 741	163
1.1 Gain différentiel de l'amplificateur opérationnel, réponse en fréquence	163
1.2 Vitesse de balayage	164
1.3 Architecture interne	165
2. Amplificateur transconductance MOS	169
2.1 Architecture interne	170
2.2 Polarisation.....	170
2.3 Gain en tension.....	172
2.4 Courant de sortie	173
2.5 Impédance de sortie.....	173
EXERCICES ET PROBLEMES	175