Analyse et calcul de CIRCUITS ÉLECTRONIQUES

Amplification à composants discrets

26 problèmes avec leurs solutions commentées

537-43.1

M[illegible] LESCURE
A[illegible]andre DZIADOWIEC

EYROLLES

TABLE DES MATIÈRES

Chapitre I – Polarisation et fonctionnement dynamique 9

1) Circuit à diode : régimes statique et dynamique 9
2) Polarisation d'un transistor bipolaire : dispersion 15
3) Polarisation d'un transistor à effet de champ : dispersion 22
4) Amplificateur émetteur commun : circuit de principe 30
5) Émetteur commun à contre-réaction parallèle 36
6) Amplificateur à deux étages : gain, résistances "vues", droites de charge, distorsion harmonique 44

Chapitre II – Charges actives 63

7) Émetteur commun NPN à charge active PNP 63
8) Émetteur commun NPN à charge active NPN 69
9) Drain commun à charge active 76
10) Multiplieur de V_{BE} 83

Chapitre III – Réponse en fréquence. Constantes de temps à "vue" 89

11) Réponse en fréquence d'un émetteur commun à couplage capacitif 89
12) Réponse en fréquence d'un circuit cascode 109
13) Réponse en fréquence d'un émetteur commun avec une contre-réaction série 117

Chapitre IV – Contre-réaction série parallèle 129

14) L'amplificateur muscleur 129
15) Amplificateur à source suiveuse à contre-réaction 138

Chapitre V – Circuits différentiels. Applications aux circuits intégrés 147

16) Caractéristiques d'un amplificateur différentiel à émetteurs couplés 147
17) Principe d'un étage différentiel de circuit intégré monolithique 167
18) Analyse de l'amplificateur vidéo différentiel µA733 177

Chapitre VI – Bruits internes et externes. Sources fictives de perturbation 189
19) Caractéristiques en bruit d'un émetteur commun 190
20) Influence de la contre-réaction sur les sources de bruits ramenées à l'entrée 206
21) Caractéristiques en bruit d'un circuit différentiel à émetteurs couplés 215
22) Bruit à la sortie d'un émetteur commun associé à une photodiode 219
23) Capacités et inductances mutuelles. Sources fictives de perturbation 234

Chapitre VII – Circuits haute fréquence 243
24) Compensation des pertes d'un circuit accordé 243
25) Amplificateur haute fréquence accordé 246
26) Sources de bruits d'un transistor JFET. Rapport signal sur bruit de l'amplificateur HF accordé 262

Bibliographie 275

Index 277

AVANT-PROPOS

De nombreux ouvrages traitent des circuits électroniques analogiques sous forme de cours et/ou d'exercices. On trouve aussi les notes d'applications des constructeurs de composants qu'utilisent les ingénieurs et les techniciens : par exemple, les "data books" d'Analog Devices, Burr Brown, Texas Instruments, Motorola, Maxim, Philips... Cependant, il manque un lien progressif entre le livre de cours et d'exercices et la note d'application dans laquelle le rédacteur passe, le plus souvent, directement aux objectifs à atteindre en laissant sous silence les bases et les fondements supposés connus.

Notre livre a pour but d'établir le lien entre ces deux types d'ouvrages. Il contient aussi des méthodes de calcul – souvent très simples – qui permettent de concevoir des circuits fonctionnant sans retouches ni réglages, et ce dans un but économique évident. Ce premier tome, consacré à la fonction amplificatrice à composants discrets, aidera aussi l'utilisateur à mettre en œuvre, au mieux, les circuits intégrés dont la complexité va croissant. Il s'adresse au lecteur ayant suivi un enseignement de base en électronique analogique, qu'il soit étudiant de l'enseignement supérieur scientifique, ingénieur, ou technicien en activité.

Chacune des fonctions étudiées dans cet ouvrage est l'objet d'une analyse permettant de passer, progressivement, de sa représentation schématique élémentaire à une autre, plus réelle, en tenant compte des limitations intrinsèques et technologiques qu'introduisent, principalement, les composants actifs du circuit. Afin de montrer comment se conjuguent les limitations théoriques et technologiques qui caractérisent toutes les fonctions électroniques analogiques, nous avons choisi de présenter le contenu de ce livre sous la forme de problèmes résolus à thèmes indépendants. Dans chacun d'eux, les premières questions ont pour objet de modéliser la fonction électronique étudiée en supposant idéal le composant actif utilisé, les questions suivantes permettent de cerner les limites de fonctionnement du circuit considéré. Nous faisons, chaque fois que cela nous semble utile, des rappels de résultats de cours et donnons des références bibliographiques soigneusement choisies. De plus, nous avons consacré le premier chapitre du livre au rappel des concepts de base de la fonction amplificatrice. Le lecteur pourra ainsi trouver les définitions et les notions élémentaires qui nous paraissent utiles pour la lecture du reste de l'ouvrage.

Le chapitre II est consacré à l'étude des charges actives qui sont utilisées dans la grande majorité des circuits intégrés analogiques. Elles permettent de dépasser les limites des gains en tension obtenus avec des charges à composants passifs et d'atteindre les très fortes valeurs de gains en tension en boucle ouverte qui caractérisent les amplificateurs opérationnels.

Dans le troisième chapitre, nous montrons comment se calculent les valeurs des capacités et celles des résistances de source et de charge qui imposent la réponse en fréquence d'un circuit à large bande passante. La connaissance de cette réponse fréquencielle est en effet indispensable pour obtenir, par exemple, le fonctionnement inconditionnellement stable d'un circuit bouclé.

Le chapitre IV donne des exemples montrant les effets produits par les contre-réactions multiples sur les principales caractéristiques de la fonction amplificatrice.

L'amplificateur différentiel à émetteurs couplés, traité dans le chapitre V, est la fonction de base des circuits analogiques intégrés. Ses propriétés sont utilisées dans une multitude d'applications : étages d'entrée d'amplificateurs opérationnels, comparateurs de tensions, amplificateurs vidéo, fonctions analogiques des télécommunications (modulateur équilibré ou cellule de Gilbert), mais aussi dans les circuits logiques rapides de type ECL.

Les limitations concernant l'amplification des faibles signaux sont exposées dans le chapitre VI. Elles sont liées aux bruits, d'origines internes et externes à la fonction amplificatrice, qui interfèrent avec le signal utile ou se superposent à lui. Nous montrons comment s'établissent les relations permettant le calcul du rapport signal sur bruits internes dans le but de créer les conditions de fonctionnement donnant le meilleur résultat possible. L'influence des bruits électriques d'origines externes à la fonction amplificatrice, et qui sont dus principalement à l'activité humaine, est étudiée à l'aide d'un exemple représentatif des phénomènes observés dans les équipements électroniques et relevant du vaste domaine de la compatibilité électromagnétique (CEM).

Le dernier chapitre est surtout consacré à l'étude d'un amplificateur sélectif de haute fréquence utilisé en télécommunication et dans l'instrumentation scientifique. Le rapport signal sur bruit de ce circuit fait l'objet d'une étude détaillée dans la dernière partie de cet ouvrage.

Nous avons utilisé dans ce livre, à différentes occasions, un logiciel de simulation du fonctionnement de circuits électriques et électroniques. Il s'agit d'une version d'évaluation du logiciel PSPICE. L'utilisation de logiciels tels que celui-ci est recommandée comme moyen de vérification des valeurs numériques ou asymptotiques préalablement déterminées "à la main", c'est-à-dire par le calcul analytique. Par exemple, il facilite le calcul des éléments des réseaux de compensation des circuits bouclés. Il permet aussi d'obtenir de précieux renseignements sur le comportement d'un circuit en régime transitoire ainsi que sur sa réponse temporelle. Mais, pour cela, le fichier descriptif du circuit doit contenir non seulement les modèles réels des composants actifs utilisés, mais aussi tous les éléments qui interviennent dans son fonctionnement, notamment ceux qui sont liés à la position de ce circuit dans l'équipement électronique auquel il appartient et qui peuvent être par exemple : les capacités parasites de charge, les impédances séries des sources d'alimentation, les éléments parasites dus à la topologie des circuits. C'est pourquoi nous pensons, en particulier, qu'il est préférable de décrire le composant actif avec ses paramètres dans la fonction qu'il occupe dans le circuit, plutôt que d'utiliser systématiquement les fichiers contenus dans certaines librairies de composants. Lorsque le macromodèle d'un circuit ou d'un ensemble de circuits est réalisé en respectant ces principes, le simulateur devient alors un puissant outil de conception.

Enfin, dans ce premier tome nous montrons que la conception d'un circuit analogique ne doit faire intervenir que très peu de paramètres des composants actifs utilisés. Par exemple, le transistor bipolaire, dans la fonction amplificatrice des faibles signaux, est représenté par quatre d'entre eux qui sont : la transconductance, la capacité de réaction, la fréquence de transition et la tension d'Early.

Les auteurs