

Avant-propos

Aujourd'hui, l'électronique peut être considérée comme une discipline résultant de manière indissociable des progrès théoriques réalisés au cours du XX^e siècle dans les domaines de la compréhension et de la modélisation des composants, circuits, signaux et systèmes, et des formidables avancées qui ont eu lieu dans le domaine de la technologie des circuits intégrés.

Cet ouvrage tente de surmonter la difficulté d'éparpillement des savoirs consécutive à cette évolution en regroupant les principes généraux qui sont à la base de tous les composants et systèmes électroniques et les méthodes d'analyse et de synthèse nécessaires pour détailler et comprendre le fonctionnement de ces éléments et sous-ensembles. L'ouvrage est divisé en trois volumes. Chaque volume est conçu selon une idée directrice principale déclinée ensuite dans les différents concepts qui en découlent.

Ainsi, le volume 1, *Composants électroniques et fonctions élémentaires*, décrit la physique des composants à semi-conducteur et ses conséquences, c'est-à-dire les relations entre les grandeurs électriques caractéristiques et les fonctions électroniques élémentaires réalisables avec ces composants. Le volume 2, *Signaux et systèmes à temps continu*, traite des systèmes à temps continu, d'abord par une approche générale dans le premier chapitre, puis avec le sujet très riche des quadripôles dans le second chapitre. Le volume 3 est titré *Signaux et systèmes à temps discret et à niveaux quantifiés*. Les premiers, appelés aussi « systèmes échantillonnés », qui peuvent être analogiques ou numériques, sont étudiés dans le premier chapitre tandis que les seconds, qui sont des systèmes de conversion, font l'objet du second chapitre.

Chaque chapitre est assorti d'exercices avec des corrigés détaillés, qui ont deux objectifs :

- d'une part, ils permettent d'illustrer les principes généraux donnés dans le cours, en proposant de nouveaux montages d'application et en montrant comment on met en œuvre la théorie pour évaluer leurs propriétés ;

- d'autre part, ce sont des prolongements du cours qui illustrent des circuits déjà succinctement décrits, mais pour lesquels les propriétés détaillées n'ont pas été étudiées.

Le premier volume est accessible aux étudiants possédant la culture scientifique correspondant aux deux premières années d'université et permet d'acquérir les connaissances attendues en électronique en troisième année de licence en France, tandis que le niveau requis pour aborder le contenu des deux autres volumes devrait plutôt être celui de la première année de master ou du cursus d'une école d'ingénieur.

En résumé, l'électronique, telle qu'elle est présentée dans cet ouvrage, est une science de l'ingénieur qui étudie la modélisation des composants et des systèmes à partir de leurs propriétés physiques jusqu'à la mise en évidence de leurs fonctions, permettant la transformation des signaux électriques et le traitement des informations. Les différentes entités et leurs propriétés sont présentées de manière synthétique de façon à tracer des lignes directrices autour desquelles elles peuvent être regroupées, afin d'éviter éparpillement et redondance. Les représentations des signaux sont développées de manière équilibrée, ce qui implique que l'aspect spectral est mis à sa juste place. Un autre choix aurait été obsolète et à contre-courant de l'évolution moderne de cette science, à l'heure où une grande partie des problèmes de l'électronique se traitent d'abord à partir de critères relatifs à la réponse en fréquence, à la bande passante et à la modification du spectre des signaux. Ceci ne doit en rien reléguer l'application des lois de l'électrocinétique au second plan, car c'est une première étape obligée, l'électronique restant fondamentalement adossée aux circuits électriques. Les notions relatives aux circuits radiofréquence (RF) ne font pas l'objet d'un traitement séparé mais pourront être trouvées au gré des divers chapitres. La synthèse des circuits logiques relevant de l'électronique numérique et de l'informatique industrielle, la partie traitée est restreinte aux fonctions logiques utiles à la numération binaire et au séquençage élémentaire. L'auteur espère avoir contribué ainsi à apporter une base étendue pour l'analyse, la modélisation et la synthèse de la plupart des circuits actifs et passifs de l'électronique, constituant un point de départ solide pour aborder la conception et la simulation des circuits intégrés.

Introduction

Ce volume est consacré à l'étude des systèmes linéaires et stationnaires lorsque le temps est considéré comme une variable continue, et à certaines extensions au cas de systèmes non linéaires. Il est principalement centré sur les systèmes à une seule entrée et une seule sortie mais une méthode permettant de généraliser les études aux systèmes multi-entrées et multi-sorties, linéaires ou non linéaires, est également abordée. D'une manière générale, la mise en évidence des propriétés de ces systèmes s'appuie nécessairement sur l'analyse des signaux électriques qui caractérisent leur réponse à un signal d'excitation, appelée réponse forcée, ou leur réponse propre, qui est un signal indépendant du signal d'excitation placé à leur entrée. Il est donc essentiel de commencer par étudier les représentations des signaux, en faisant une corrélation étroite entre le domaine temporel et le domaine fréquentiel, qui sont reliés par la transformation de Fourier ou les décompositions en série de Fourier. Il est ensuite naturel de particulariser l'étude des réponses au cas des systèmes stationnaires, pour lesquels la réponse forcée est invariante par translation temporelle du signal appliqué à l'entrée, et qui de plus obéissent au principe de causalité. C'est alors la transformation de Laplace unilatérale qui est utile et qui permet d'aboutir à la notion de fonction de transfert ou transmittance, conjointement avec la transformée de Fourier dans le cas des signaux à énergie finie. Les propriétés de ces deux types de transformations et leur application au cas des systèmes électroniques font l'objet de la première partie du chapitre 1 tandis que les conséquences de la causalité sont traitées dans le chapitre 2.

La deuxième partie du chapitre 1 est consacrée à l'étude de la rétroaction et ses applications, puis aux différentes méthodes d'étude de la stabilité des systèmes, ou des façons de contrôler leur instabilité, comme c'est le cas pour les oscillateurs. Un système est stable si après une excitation de durée finie, il retourne finalement à son état oisif antérieur, c'est-à-dire sans aucune variation des grandeurs électriques, et il est instable dans le cas contraire. Aux premiers âges de l'électronique, la rétroaction a été une

invention primordiale qui a permis de nombreux progrès et le développement d'une multitude d'applications, qui sont ici passées en revue. Les outils mathématiques constitués par les transformations temps-fréquence évoquées précédemment ou les représentations dans le plan complexe sont ensuite utilisés pour traiter les problèmes de stabilité des systèmes, y compris dans le cas de ceux qui incorporent une boucle de rétroaction, appelés systèmes bouclés. L'extension aux variables d'état et à la représentation d'état, qui repose sur la décomposition de la réponse d'un système en un ensemble d'équations différentielles du 1^{er} ordre, est ensuite traitée. Les notions précédentes permettent finalement de détailler les différentes manières d'analyser le fonctionnement des oscillateurs, qui au départ peuvent être vus comme des systèmes linéaires en limite de stabilité, mais qui en pratique sont toujours soumis à une limitation d'amplitude nécessitant la prise en compte d'une non-linéarité. La transition d'un fonctionnement prédictible vers un régime chaotique est présentée dans le cas d'un système modèle.

Dans le chapitre 2, les propriétés des systèmes électroniques stables sont particularisées au cas des réseaux, principalement les quadripôles. Les différentes représentations des réseaux sous forme de quadripôles sont passées en revue ainsi que toutes les notions d'impédance ou d'admittance qui y sont attachées. Certaines sont mesurables, donc accessibles expérimentalement, tandis que d'autres sont fictives, telles que les impédances-image, mais ouvrent un champ d'application extrêmement fructueux, qui fait l'objet de la dernière partie de ce chapitre. Les notions d'adaptation, en puissance ou en impédance, sont détaillées, ainsi que leurs conséquences et les règles à appliquer en pratique pour optimiser le fonctionnement des montages électroniques et tirer le meilleur parti des composants qui y sont inclus.

La dernière partie du chapitre 2 est dévolue aux systèmes stables qui peuvent être analysés comme des filtres analogiques, c'est-à-dire répondant au principe de causalité, dont les conséquences générales sont présentées. Il s'agit soit de circuits incorporant un ou plusieurs composants actifs tels que les amplificateurs opérationnels, soit de circuits passifs, limités ici au cas non dissipatif. La synthèse de ces filtres analogiques est approfondie, et permet de déterminer la valeur de tous les composants d'un filtre à partir de critères imposés, le plus souvent un gabarit dans le domaine fréquentiel. Deux méthodes sont présentées, d'une part pour les filtres actifs, d'autre part pour les filtres passifs non dissipatifs. Dans le deuxième cas, la méthode utilisant les paramètres effectifs est une méthode exacte, mais ne couvrant pas toutes les applications, tandis que la méthode des paramètres-images s'adapte à la plupart des exigences, avec un écart avec le gabarit qui peut être minimisé. Les manières de réaliser les ajustements et tous les circuits nécessaires à la réalisation pratique des filtres sont détaillés. Des exemples sont donnés dans chaque cas important, en partant de fonctions de transfert calculées à l'aide de moyens logiciels (ici MATLAB). Les différents choix possibles pour les fonctions de

calcul sont présentés en relation avec les critères à vérifier. Dans le cas de la synthèse reposant sur les paramètres-image, les formules permettant de calculer tous les éléments sont démontrées. Bien que le cas des systèmes à constantes réparties, indispensables lorsque la longueur d'onde devient comparable aux dimensions des circuits, ne soit pas traité explicitement, la description des quadripôles par les paramètres- s , comme détaillée dans le chapitre 2, s'y adapte aisément.