

TECHNOSUP

Les FILIÈRES TECHNOLOGIQUES des ENSEIGNEMENTS SUPÉRIEURS

ÉLECTRONIQUE et AUTOMATIQUE

L'outil graphique en électronique et automatique

Black, Bode, Nyquist, Smith et les autres

Jean BAILLOU Gérard CHAUVAT

Claude PEJOT



Table des matières

Chapitre I. FONCTIONS DE TRANSFERT

1- Aspects et constructions mathématiques	1
1.1- Nombres complexes	1
a) forme algébrique	1
b) forme polaire	2
c) forme exponentielle	3
d) application des complexes à la géométrie	3
1.2- Fonctions de transfert	4
a) système linéaire et invariant dans le temps	4
b) convolution	4
c) fonction de transfert	5
1.3- Représentations graphiques des fonctions de \mathbb{R} à valeurs dans \mathbb{C}	6
a) diagramme de Nyquist	6
b) diagrammes de Bode	4
c) diagramme de Black	5
2- Aspects et interprétations physiques	12
2.1- Système du premier ordre	12
a) analyse temporelle	13
b) analyse fréquentielle graphique	15
2.2- Système du second ordre	17
a) analyse temporelle	17
b) analyse fréquentielle graphique	22
2.3- Oscillateurs sinusoïdaux	24
a) principe d'un oscillateur sinusoïdal	24
b) condition de phase et d'amplitude	25
c) condition de fonctionnement	25

Chapitre II. LIGNES DE TRANSMISSION

1- Aspects et constructions mathématiques	27
1.1- Représentation vectorielle de Fresnel	27

1.2- Représentations graphiques des fonctions complexes	2
a) définitions	2
b) représentations graphiques	2
c) fonctions complexes élémentaires	2
1.3- Abaque de Smith	2
a) une homographie particulière	2
b) l'abaque de Smith	2
2- Aspects et interprétations physiques	26
2.1- Lignes de transmission en haute fréquence	26
a) schéma général	26
b) modélisation d'une ligne et équations de propagation	26
c) expressions de la tension et du courant le long de la ligne	26
d) coefficients complexes de réflexion	26
e) impédance complexe de la charge ramenée le long de la ligne	26
f) cas particulier : ligne fermée sur sa charge adaptée	26
g) cas particulier : ligne fermée par un court-circuit	26
h) cas particulier : ligne ouverte	26
i) cas particulier : ligne fermée par une réactance pure	26
j) cas général : ligne fermée par une impédance complexe quelconque	26
k) amplitude complexe et expression de la tension incidente	26
l) rapport d'ondes stationnaires (R.O.S.)	26
2.2- Utilisation de l'abaque de Smith	60
a) positionnement d'une impédance complexe réduite	61
b) cercles des réactances réduites pures	62
c) axe des résistances réduites pures	62
d) échelle des distances réduites	62
e) lieu de variation de l'impédance complexe de charge ramenée	63
f) représentation des tensions et des courants incidents, réfléchis et résultants	64
g) coefficients complexes de réflexion en tension et en courant le long de la ligne	71
h) rapport d'ondes stationnaires	72
i) dualités : série/parallèle, impédance/admittance, tension/ courant, courant/tension	73
j) méthodes d'adaptation d'une ligne chargée et d'un générateur	73
Chapitre III. ASSERVISSEMENTS	
1- Aspects et constructions mathématiques	77
1.1- Critère de Routh-Hurwitz	77

8
18
28
30
34
34
35
36
36
36
37
38
39
42
43
43
49
54
56
58
59
60
61
62
62
62
63
64
71
72
73
73
77
77

1.2- Lieu des racines ou lieu d'Evans	78
a) première propriété : condition des modules et des arguments	78
b) deuxième propriété : nombre de branches	79
c) troisième propriété : symétrie des lieux	80
d) quatrième propriété : asymptotes	80
e) cinquième propriété : lieux sur l'axe réel	80
f) sixième propriété : angle d'arrivée ou de départ des pôles ou zéros complexes	81
g) septième propriété : intersection avec l'axe imaginaire	82
1.3- Abaque de Black	82
a) définition	84
b) construction des courbes équimodules	85
c) construction des courbes équiphasés	86
d) fonctionnement de l'abaque	87
1.4- Résonance en boucle fermée	87
2- Aspects et interprétations physiques	89
2.1- Systèmes asservis	89
a) définition	89
b) fonction de transfert d'un système asservi	89
2.2- Stabilité des systèmes asservis	90
a) condition de stabilité d'un système asservi	90
b) exemple	91
2.3- Critères graphiques de stabilité	92
a) règle du revers dans le plan de Black	93
b) règle du revers dans le plan de Nyquist	93
c) règle du revers dans le plan de Bode	94
d) marges de stabilité d'un système asservi	95
2.4- Correction des systèmes asservis	96
a) principe de la correction d'un système asservi	96
b) réseaux correcteurs classiques	96
c) correction par action proportionnelle et dérivée (PD)	97
d) correction à action proportionnelle et intégrale (PI)	101
e) correction par action proportionnelle, intégrale et dérivée (PID)	105
Chapitre IV. ÉNONCÉS ET CORRECTION DES EXERCICES	
1- Exercices du chapitre I	108

2- Exercices du chapitre II	141
3- Exercices du chapitre III	179
ANNEXE : le logiciel ORGE	209
INDEX alphabétique	211

La collection TECHNOSUP dirigée par Claude Chèze est une sélection d'ouvrages dans toutes les disciplines, pour les filières technologiques des enseignements supérieurs.

Niveau A **Approche** (éléments, résumés ou travaux dirigés) *Initiation, mise à niveau*

Niveau B **Bases** (cours avec exercices et problèmes résolus) *IUP - IUT - BTS*

Niveau C **Compléments** (approfondissement, spécialisation) *Écoles d'ingénieurs, Maîtrise*

L'ouvrage (niveau B) :

L'ouvrage s'adresse aux étudiants en électronique et automatique des différentes formations scientifiques et technologiques ou en formation continue.

En un volume unique l'ouvrage développe les principales techniques de représentation graphique utilisées en électronique et en automatique (diagrammes et abaqes), en s'attachant essentiellement à leur mise en œuvre pratique.

Il précise les apports spécifiques et simplificateurs de chaque outil pour la résolution et le calcul effectif des solutions de nombreux problèmes (tels ceux concernant les lignes de transmission, la stabilité des systèmes...).

Bien que centré sur les applications physiques et la pratique du graphique, il justifie toujours rigoureusement du point de vue mathématique, les différentes techniques utilisées.

Il propose une quarantaine d'exercices et problèmes variés pour aider l'étudiant à maîtriser les techniques exposées et à se familiariser avec leur mise en œuvre ; chaque exercice est effectivement corrigé suffisamment en détail pour le prémunir contre les difficultés et les erreurs usuelles.

Les auteurs :

Jean Baillou est Professeur des Universités à l'IUT de Tours où il a créé le Département GEII. Il anime des recherches en composants et systèmes de conversion d'énergie.

Gérard Chauvat est Maître de conférences à l'IUT de Tours où il enseigne les mathématiques. Il est le concepteur du logiciel ORGE utilisé pour illustrer cet ouvrage.

Claude Pejot est Maître de conférences à l'IUT de Tours où il a dirigé de Département GEII. Il a effectué des travaux de recherche en imagerie médicale par ultrasons.

Illustration de couverture : Dessin de Léonard de Vinci.



ISBN 2-7298-1108-7