Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 72 (1981)

Heft: 13

Artikel: Optimisation de la production des centrales électriques

Autor: Ölçer, S. / Harsa, C.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905129

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Optimisation de la production des centrales électriques [1])

Par S. Ölçer et C. Harsa

621.311:519.863;

On présente une méthode générale pour la commande optimale des centrales électriques. Le problème de l'optimisation est décrit, puis formulé mathématiquement. La résolution du problème se base sur certaines méthodes d'optimisation statique et dynamique; les résultats s'expriment sous la forme d'algorithmes paramétriques fixant le point de fonctionnement des groupes turbine-génératrice, de façon que le bénéfice économique réalisé représente globalement un maximum, tout en garantissant la sécurité des installations. Un exemple est donné d'un cas d'une centrale hydro-électrique.

Es wird eine allgemeingültige Methode zur optimalen Regelung von Elektrizitätswerken vorgestellt. Das Optimierungsproblem wird beschrieben sowie mathematisch formuliert. Die Lösung basiert auf den Methoden der statischen und dynamischen Optimierung; die Resultate in Form von parametrischen Algorithmen legen den Arbeitspunkt des Turbinen-Generatoren-Satzes fest, so dass ein global gesehen maximaler wirtschaftlicher Gewinn erzielt und gleichzeitig die Sicherheit der Einrichtungen gewährleistet wird. Als Beispiel dient der Fall eines hydroelektrisch betriebenen Kraftwerkes.

1. Introduction

L'utilisation optimale des ressources disponibles pour la production d'énergie hydro-électrique constitue une tâche dont l'importance apparaît de façon toujours plus cruciale et dont la réalisation devient de plus en plus pressante. Né de la conjonction d'un certain nombre de facteurs, tels que la consommation croissante d'énergie, la très forte augmentation du prix de certains types d'énergie primaire et le souci écologique, le désir d'une exploitation optimale des centrales électriques se fait en effet ressentir dans un grand nombre de pays [1; 2; 3]. Il se heurte cependant d'emblée à la nature très enchevêtrée du problème, les réseaux électriques figurant parmi les systèmes actuels les plus complexes qui soient. Leur gestion doit en effet le plus souvent tenir compte de facteurs très disparates, comme par exemple:

- satisfaire la demande en énergie électrique de manière continue et fiable
- combiner des productions d'origines diverses (hydraulique, thermique, ...)
- gérer une production mixte d'énergie thermique (vapeur, chauffage) et d'énergie électrique
- conjuguer une production propre et l'achat d'énergie d'appoint, en présence de tarifs multiples, d'une puissance maximale souscrite, etc.
- utiliser au mieux les réserves accumulées d'eau, petits ou grands barrages, en tenant compte des perturbations hydrologiques
- respecter des contraintes «écologiques»
- garantir la sécurité du personnel et des équipements.

Afin de maîtriser ce problème d'une gestion optimale tout en combinant un ensemble de contraintes très antagonistes, des méthodes réellement efficaces et systématiques doivent être mises au point.

Une approche originale en de nombreux points est présentée dans cet article; elle s'appuie sur la formulation du problème de l'optimisation de la production faite dans le paragraphe 3; on se limite par souci de clarté aux centrales de type hydro-électrique, les résultats pouvant être généralisés pour tous les types de centrales.

2. Description du problème d'optimisation

Pour une entreprise de production d'énergie hydro-électrique, le problème d'optimisation de la production consiste à transformer en énergie électrique l'énergie brute correspondant à l'énergie potentielle fournie par l'accumulation des apports d'eau, de façon à réaliser le plus grand bénéfice économique possible. Les facteurs principaux sur lesquels il est possible de jouer afin de maximiser le gain économique sont au nombre de trois:

a) turbinage à rendement global maximal
b) turbinage à tarif élevé
c) minimisation des déversements.

Ces éléments sont illustrés à la Fig. 1. Il en résulte d'une part une augmentation du rendement global des installations (augmentation du rendement moyen des groupes, augmentation de la hauteur de chute moyenne, meilleure gestion de l'eau entre les différents lacs), et, d'autre part, une augmentation du *gain économique* (plus grande production d'énergie, production maximale pendant les heures à tarif élevé).

Ainsi qu'il a été signalé plus haut, le calcul d'optimisation doit tenir compte d'une multitude de contraintes dont la nature peut évidemment être très différente d'un cas à un autre. La plus importante d'entre elles est celle due au temps, un calcul d'optimisation s'effectuant toujours pour une certaine période. Le choix de celle-ci, que l'on appellera *horizon d'optimisation,* est tributaire d'une part de données physiques et géographi-

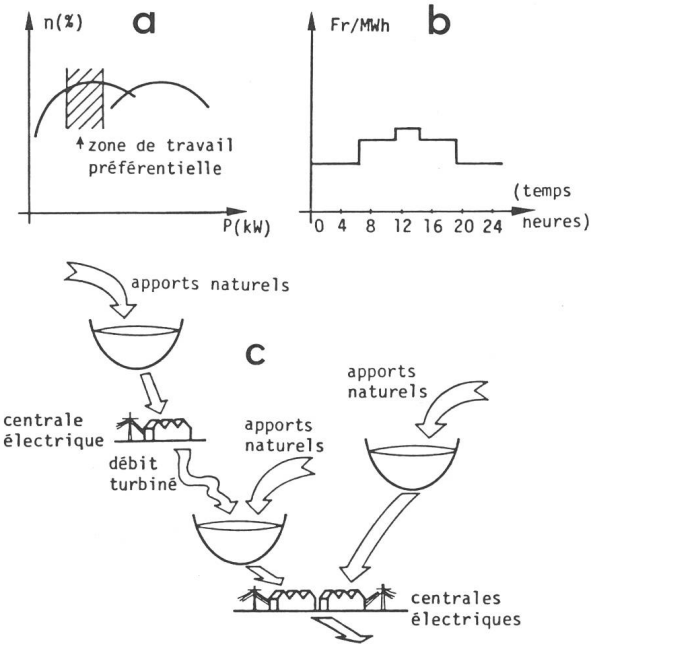

Fig. 1 Principaux facteurs entrant dans l'optimisation de la production d'énergie
a Collines de rendement
b Structure de tarifs
c Structure interconnectée des installations

[1]) Cet article résume le travail qui a obtenu le Prix BBC 1980 pour la recherche en énergie électrique.

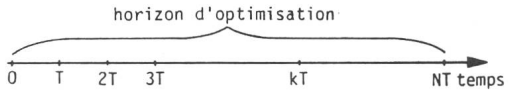

Fig. 2 Discrétisation de l'horizon d'optimisation

ques, et, d'autre part, d'un certain nombre de conditions d'exploitation.

Au rang des autres contraintes intervenant dans l'optimisation, on citera en particulier les niveaux maximum et minimum des lacs d'accumulation, la puissance minimum à fournir, le maintien du débit minimum d'un cours d'eau, la capacité maximale des conduites, les relations entre les débits respectifs de centrales au fil de l'eau, le temps de démarrage des centrales, la disponibilité ou la mise hors service de certains groupes. Très souvent également, les tarifs sont modifiés (jours fériés, week-end, changement suivant les saisons, ...) et il y a lieu d'en tenir compte.

Il ressort de ce qui précède que le problème qui se pose est un problème *multivariable* d'ordre élevé, *non linéaire* et comprenant des *retards*. On constate qu'aucune méthode d'optimisation ne permet de traiter le problème global de façon directe et satisfaisante. Cependant, certaines techniques peuvent être utilisées pour apporter une réponse aux problèmes posés; elles sont souvent de nature sous-optimale et donnent lieu à des algorithmes dont l'implantation est aisée. La méthode exposée ici est également de ce type; elle s'appuie sur la formulation du paragraphe suivant.

3. Formulation du problème d'optimisation

Les méthodes de calcul d'optimisation nécessitent la formulation d'un *modèle mathématique* du système [4]. On adopte ici un modèle de forme discrète, exprimée par des équations aux différences, cette approche fournissant des relations récursives pouvant être plus facilement traitées sur une calculatrice numérique. Dans ce but, l'horizon d'optimisation est divisé en N intervalles de temps k de durée T (Fig. 2). En outre, afin de pouvoir utiliser le formalisme et les techniques de la théorie moderne de l'Automatique, on introduit des notations vectorielles, qui permettront également de rendre compte de façon avantageuse du caractère multivariable du problème.

Pour chacun des lacs d'accumulation intervenant dans le système, une équation dynamique peut être écrite, qui exprime que la différence de volume d'eau stocké dans le lac considéré entre deux instants consécutifs est égale aux apports d'eau des affluents, diminués du volume d'eau turbiné par la centrale située en aval durant cette période. L'ensemble des équations se met sous la forme standard suivante:

$$\vec{x}\left[(k+1)T\right] = \vec{f}\left\{\vec{x}(kT),\ \vec{u}\left[(k-\alpha_i)T\right],\ kT\right\} \tag{1}$$

avec les conditions limites

$$\vec{x}(0) = \vec{x}_i \quad \text{et} \quad \vec{x}(NT) = \vec{x}_f \tag{2}$$

C'est l'*équation d'état* du système:

$\vec{x}(.)$ est le vecteur d'état ($nx1$), par exemple les volumes d'eau des lacs

$\vec{u}(.)$ est le vecteur de commande ($rx1$), par exemple les débits turbinés, appartenant à l'ensemble U des commandes admissibles:

$$\vec{u} \in U \tag{3}$$

$\vec{f}(.)$ est une fonction vectorielle de dimension n, en général non linéaire

α_i représente le retard lié à la commande, et figurant dans l'équation No i du système ($i = 1, 2, ..., n$).

Les variables d'état sont en général soumises à des contraintes inégalité. On dira ainsi que le vecteur d'état x appartient à l'ensemble X des états possibles:

$$\vec{x} \in X \tag{4}$$

Une limitation des valeurs possibles de la commande provient par exemple du fait que le débit turbiné Q_T dans une centrale doit se situer entre deux valeurs extrêmes:

$$Q_{T\min} \leqq Q_T(kT) \leqq Q_{T\max}, \quad \text{pour tout } k \tag{5}$$

Une limitation sur l'état serait par exemple due à la cote h d'un lac devant être comprise entre deux limites:

$$h_{\min} \leqq h(kT) \leqq h_{\max}, \quad \text{pour tout } k \tag{6}$$

On notera, en outre, que certaines autres contraintes (par exemple une souscription de puissance) peuvent modifier l'ensemble U des commandes admissibles.

Le problème d'optimisation de la production d'énergie électrique peut alors se formuler de la façon suivante:

Maximiser la fonctionnelle

$$J = \sum_{k=0}^{N-1} \Phi\left\{\vec{x}(kT),\ u(kT),\ kT\right\} \tag{7}$$

où $\Phi(.)$ mesure le gain économique réalisé entre les instants kT et $(k+1)T$, de façon à satisfaire l'ensemble des contraintes égalité ou inégalité exprimées par les équations (1) à (4).

On a ainsi traduit le gain économique en une fonction coût J qui tient compte de tous les paramètres dont l'ajustement peut influer sur le gain. Quand la fonction J atteint une valeur maximale, on sait que la répartition de la production est optimale, toute autre répartition entraînant un gain économique inférieur.

Très souvent le problème d'optimisation ci-dessus se trouve compliqué par le fait qu'il faut coordonner la répartition de la production sur l'horizon d'optimisation avec *une gestion à plus long terme des ressources hydrauliques*. Un horizon d'optimisation de l'ordre de quelques heures ou de la journée et une gestion des lacs sur la semaine ou même une saison sont des valeurs typiques.

4. Résolution du problème d'optimisation

La conduite optimale d'un réseau électrique s'effectue en subdivisant les différentes tâches selon la structure hiérarchisée de la figure 3:

– Une première étape concerne le contrôle du réseau lui-même (fréquence, tension, ...); on ne l'aborde pas dans le cadre de ce texte [5].

– Dans une seconde étape, qui nous intéresse ici, on cherche une répartition optimale de la production entre les différentes unités. Cette opération devant elle aussi s'effectuer sur deux échelles de temps significativement différentes, une méthode de résolution intéressante est obtenue en subdivisant le problème en deux sous-problèmes, qui sont résolus l'un après l'autre [6].

Le premier sous-problème consiste à déterminer pour l'ensemble des lacs et des centrales la gestion optimale de l'eau

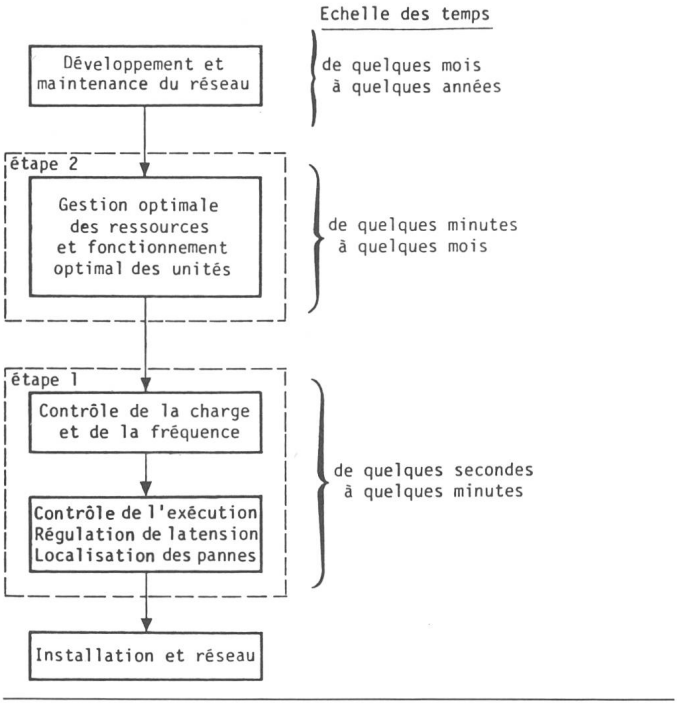

Fig. 3 Structure hiérarchisée de la conduite optimale d'un réseau électrique et distribution dans le temps des différentes tâches

à *moyen terme*. Ici, le but visé est d'éliminer autant que possible les déversements inutiles, conséquences d'une mauvaise coordination entre centrales, et d'assurer une hauteur de chute moyenne élevée, ce qui se répercutera de façon directe sur le rendement global des installations et le gain économique réalisé. Le second sous-problème consiste à calculer pour chaque centrale la marche optimale des groupes turbine-génératrice à *court terme,* sur la base de la solution apportée au premier sous-problème.

4.1 Optimisation à moyen terme

On modélise les installations en écrivant des équations de bilans pour la période «moyen terme» considérée. L'ensemble des équations ainsi obtenues est de la forme standard suivante:

$$A\vec{x} = \vec{b} \tag{8}$$

où A est une matrice de valeurs constantes de dimensions lxn (l = nombre de lacs intervenant dans l'optimisation), $\vec{b}$ est un vecteur constant de dimension l.

D'autre part, on exprime le *gain économique I lié à une gestion à moyen terme* à l'aide d'une équation du type:

$$I = \vec{c}^{T}\vec{x} \tag{9}$$

où $\vec{c}$ est un vecteur de paramètres constants de dimension n, T dénote la transposition.

L'optimisation à moyen terme comportant très souvent des variations de tarif sur la période considérée, le gain I devra forcément en tenir compte.

De par la formulation qui a été adoptée, ce problème peut être résolu de façon avantageuse par la méthode de *programmation linéaire* [7]. Par «programmation», on entend ici la recherche d'un programme, c'est-à-dire d'un ensemble de valeurs ou consignes, sur n variables x_i, liées par des relations (équations ou inéquations) *linéaires* appelées *contraintes,* de façon à maximiser une fonction économique *linéaire.*

Un grand nombre d'algorithmes existent pour l'application de cette méthode; le choix de l'un d'entre eux est dicté par la nature spécifique du problème traité. Dans l'exemple du paragraphe 5, on a utilisé une version modifiée de la méthode dite du «simplexe».

Dans cette optimisation à moyen terme, un certain nombre d'approximations peuvent être utilisées, afin de réduire la dimension du problème. On négligera par exemple la variation des rendements des turbines, la variation des hauteurs de chute et les retards. Il conviendra toutefois de tenir compte de ces éléments lors du calcul d'optimisation à court terme.

Ainsi, ce calcul à moyen terme fournit des trajectoires optimales pour les valeurs données; ces trajectoires fixent en fait des conditions aux extrémités optimales entre lesquelles on cherchera à résoudre le problème de la gestion à court terme.

4.2 Optimisation à court terme

La marche optimale des groupes turbine-génératrice à court terme est déterminée par la méthode dite de la *programmation dynamique*. L'intérêt de cette méthode vient du fait qu'elle est directement applicable et ne nécessite pas, comme dans le cas des autres techniques d'optimisation, de modifications préalables en vue de son adaptation au problème considéré; ces autres méthodes requièrent d'ailleurs des conditions de continuité et de différentiabilité qui s'accordent souvent mal avec les problèmes réels.

La programmation dynamique repose sur le *principe d'optimalité* de *Bellman* [8] qui stipule que, par rapport à l'état résultant d'une décision ultérieure, la commande doit être optimale pour tous les intervalles de temps restants. Une équation fonctionnelle découle de ce principe et fournit un algorithme de calcul des trajectoires optimales.

En effet, en écrivant (7) sous la forme d'un critère optimal pour la période s'étendant de l'instant kT au temps final:

$$J\{\vec{x}(kT), kT\} = \max_{\vec{u}(iT)} \left\{\sum_{i=k}^{N-1} \Phi\left[\vec{x}(iT), \vec{u}(iT), iT\right]\right\} \quad i = k, k+1, \ldots, N-1 \tag{10}$$

(ici la notation $\max_{\vec{u}(iT)}$ signifie que le maximum du terme entre accolades s'obtient en choisissant pour les commandes aux instants iT des valeurs appropriées)

et en utilisant le principe d'optimalité de *Bellman*:

$$J\left[\vec{x}(kT), kT\right] = \max_{\vec{u}(kT)} \left\{\Phi\left[\vec{x}(kT), \vec{u}(kT), kT\right] + J\left[\vec{x}[(k+1)T], (k+1)T\right]\right\} \tag{11}$$

il est possible de construire de façon récursive la séquence $\vec{u}(0), \ldots, \vec{u}[(N-1)T]$ des commandes.

L'application directe du principe d'optimalité conduit cependant à des programmes nécessitant un grand nombre de calculs et de mémorisations. Pour cette raison, les recherches ont souvent été effectuées dans le sens de la mise au point d'algorithmes de programmation dynamique rapides [9].

On citera, en particulier, la méthode des *approximations successives* [10] qui permet de faire intervenir de façon naturelle les retards existant dans les installations et celle qui, en définissant une «bande» dans l'espace d'état où la trajectoire optimale est cherchée [11], accélère les calculs de façon significative.

4.3 Recalcul des programmes d'optimisation

Lorsque certains paramètres intervenant dans les calculs de la production optimale à moyen et à court terme sont modifiés de façon significative, les résultats à disposition ne sont évidemment plus utilisables; il est alors nécessaire de reprendre les calculs afin d'obtenir une commande qui soit à nouveau optimale.

Le calcul d'optimisation à moyen terme étant, dans la plupart des cas, de toute façon repris et réajusté à la fin de chaque période d'optimisation à court terme, les problèmes de changements de conditions de marche se posent davantage sur cette dernière période. La politique à adopter pour le recalcul de la marche optimale dépend grandement des installations considérées. En particulier, les temps de calcul nécessités par les algorithmes de programmation dynamique et linéaire doivent être pris en compte; aucune règle générale ne peut être énoncée à ce propos.

5. Exemple de résolution du problème d'optimisation

On donne ici un exemple type afin d'illustrer la méthode d'optimisation par décomposition en deux sous-problèmes expliquée précédemment. On considère un lac d'accumulation et une centrale hydro-électrique; l'horizon d'optimisation est le jour, et le programme linéaire est calculé sur une période que l'on choisit être la semaine. La situation est décrite à la figure 4.

Le programme linéaire est calculé sur la base des valeurs moyennes: moyenne des tarifs (droite 1) et moyenne des apports (droite 3); le résultat permet de fixer des conditions aux extrémités optimales pour chaque journée; en fait, une première trajectoire 5 est obtenue; il lui correspond la commande 7.

Entre ces conditions aux extrémités optimales, le programme dynamique cherche d'abord une bonne trajectoire initiale afin d'accélérer la convergence des calculs ultérieurs; puis, par la méthode des approximations successives, la trajectoire d'état optimale 6 est trouvée, avec la trajectoire optimale des commandes 8. Dans ce calcul, on a fait intervenir la structure des tarifs 2 et les apports 4.

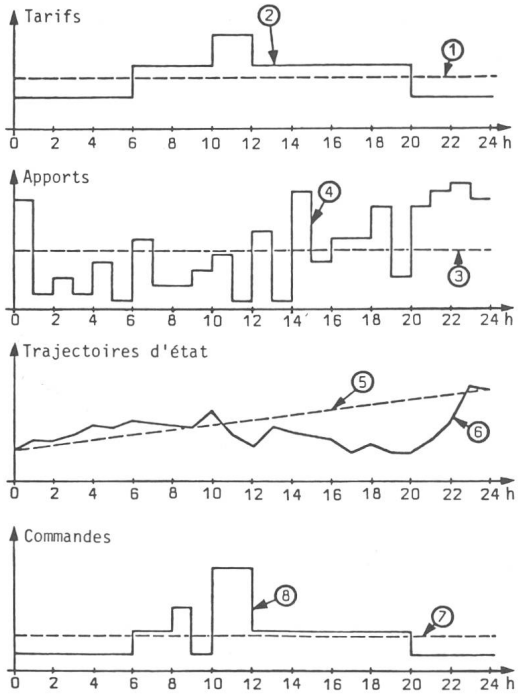

Fig. 4 Exemple de résolution du problème d'optimisation
Pour la signification des courbes, voir dans le texte

6. Conclusions

On a exposé dans ses grandes lignes une méthode utilisée pour la résolution de problèmes réels de gestion optimale de réseaux électriques.

Cette méthode permet de trouver une solution quasi optimale même dans des situations complexes. Ceci est principalement dû à l'approche par la commande optimale multivariable et à l'utilisation de méthodes avancées de l'Automatique; elle présente les caractéristiques de contre-réaction et d'adaptation généralement requises pour le contrôle d'un système à structure hiérarchisée; elle fait appel ensuite à des algorithmes fiables, dont l'implantation sur mini-ordinateur est aisée. Ces algorithmes présentent l'avantage d'être applicables *in situ* sans modification des installations existantes. L'approche et le formalisme adoptés étant de nature sous-optimale, leur efficacité la meilleure est atteinte en tenant compte de toutes les particularités du système à optimiser. Ces méthodes permettent ainsi de traiter un très grand nombre de cas pratiques et possèdent un caractère général d'applicabilité; les algorithmes sont adaptés et réajustés de manière judicieuse à chaque cas afin d'exploiter au maximum les spécificités d'une installation donnée; ils conviennent particulièrement bien au réseau helvétique (lacs et réservoirs en cascade, faibles dimensions des réseaux, ...).

L'utilisation de ces méthodes s'avère très avantageuse aussi bien sur le plan financier, où elles assurent un gain économique important, que dans le domaine actuellement crucial de l'économie d'énergie. Une estimation a pu être faite en comparaison avec la conduite d'un réseau par un opérateur expérimenté, et le bénéfice atteignait 2 à 3 %, ce qui garantit un amortissement très rapide des investissements liés à l'étude et la mise au point des programmes, et peut fortement contribuer à l'amortissement d'installations de télémesure et de télécommande exécutées par ailleurs.

Bibliographie

[1] *M. Jamshidi* and *M. Heidari:* Application of dynamic programming to control Khuzestan water resources systems. Automatica 13(1977)–, p. 287...293.

[2] *M. Fjeld* and *S. Aam:* An implementation of estimation techniques to a hydrological model for prediction of runoff to a hydroelectric power station. IEEE Trans. AC 25(1980)2, p. 151...163.

[3] *W. Pillmann* and *R. Stefanich:* The process computer control system of the hydroelectric power stations along the river Danube in Austria. Preprints of the 6th IFAC/IFIP Conference on Digital Computer Applications to the Process Control, Düsseldorf, 14...17 October 1980, p. 189...196.

[4] *K. Ogata:* State space analysis of control systems. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1967.

[5] *G. Pronovost:* Répartition optimale à court terme de la production dans les réseaux électriques mixtes. Thèse N° 155 de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1973.

[6] *S. Ölçer, C. Harsa* et *J. Simonett:* Production optimale d'énergie hydro-électrique. Journées d'information sur l'utilisation de l'ordinateur dans l'économie énergétique, 20 et 21 septembre 1979, Dättwil/AG. Zurich, ASE, 1979, p. 201...206.
[7] *G. B. Dantzig:* Linear Programming and extensions. Princeton, N.J., Princeton University Press, 1963.
[8] *R. Bellman* and *S. E. Dreyfus:* Applied dynamic programming. Princeton, N.J., Princeton University Press, 1965.
[9] *R. Bellman:* A new type of approximation leading to reduction of dimensionality in control processes. Journal of Mathematical Analysis and Applications 27(1969)–, p. 454...459.
[10] *R. E. Larson* and *A. J. Korsak:* A dynamic programming successive approximations technique with convergence proofs. Automatica 6(1970)–, p. 245...252.
[11] *S. Ölçer* et *C. Harsa:* Commande optimale des centrales électriques. Bulletin de l'Institut de Réglage Automatique, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1981.

Adresse des auteurs
S. Ölçer, ing. EPFL et *C. Harsa,* ing. EPFL, Institut d'Automatique EPFL (Dir.: Prof. A. Roch), En Vallaire, 1024 Ecubens.

Literatur – Bibliographie

DK: 621.3.049.77:621.382 SEV-Nr. A 889

Semiconductor devices and integrated electronics. By: *A. G. Milnes.* New York a.o., Van Nostrand Reinhold Company, 1980; 8°, XX/999 p., fig., tab. – Price: cloth £ 19.90

Wenn man davon ausgeht, dass ein Elektroniklehrbuch sich normalerweise auf eines der Teilgebiete Werkstoffe und Technologie, Physik der Bauelemente, Schaltungen oder Anwendungen beschränkt, so ist dieses Buch eindeutig der Physik der Bauelemente gewidmet. In seiner Struktur sind zwei Hauptteile zu erkennen: rein elektrisch wirkende Bauelemente einerseits (Kapitel 1–11), Bauelemente mit Wechselwirkungen zwischen elektrischen und nichtelektrischen Grössen anderseits (Kap. 12–15). Im einen Teil werden diskrete Bauelemente (Dioden, Bipolar- und Feldeffekttransistoren, Thyristoren), integrierte Schaltungen und Mikrowellenbauelemente besprochen. Im anderen werden Solarzellen, optoelektronische Bauelemente und Sensoren auf Halbleiterbasis dargestellt. Pauschal gesehen liegt das Schwergewicht sehr viel mehr auf diskreten Bauelementen als auf integrierten Schaltungen.

In allen Kapiteln kann man eine stark auf Vollständigkeit ausgerichtete Behandlung von publizierten Bauelementen feststellen. Dies wird durch sehr ausführliche Literaturangaben unterstützt (allein das Kapitel 7, IGFET, bringt über 300 Literaturhinweise). Andererseits führt die beinahe enzyklopädische Breite dazu, dass kaum Angaben über die praktische Bedeutung einzelner Bauelemente-Konzepte zu finden sind. In diesem Punkt wird der Student, der als primärer Benutzer dieses Buches angesprochen ist, sicher überfordert.

Bezüglich der Art der Darstellung fällt die knappe, tabellarische Darstellungsweise positiv auf. Beispiele sind die kurze Zusammenfassung von grundlegenden Tatsachen aus der Halbleiterphysik im Abschnitt 1.1 oder die Behandlung von Gleichrichterschaltungen im Abschnitt 1.5. Ein weiterer Pluspunkt ist die gute Erschliessung des Inhaltes durch die Verzeichnisse 'List of Tables' und 'Curves and Tables Useful for Reference Purposes'.

Die positiven Seiten des Buches werden durch einige kritische Anmerkungen kaum geschmälert. Folgende Details seien hier erwähnt:

– die Qualität der Abbildungen ist teilweise schlecht. Dies dürfte daran liegen, dass sehr viele Bilder und Tabellen aus der Primärliteratur übernommen worden sind.

– die Tabelle 8.4 (Comparison Chart of the Major IC Digital Logic Families, 1970) ist im Erscheinungsjahr des Buches nicht mehr relevant. Eine Überarbeitung auf den Stand von 1978 oder 1979 wäre höchst wünschenswert gewesen.

– am Schluss des Buches werden unter der Überschrift References etwa 800 Titel mit Erscheinungsjahren zwischen 1932 und 1979 aufgelistet. Eine sehr viel kleinere Literatursammlung, dafür aber mit Anmerkungen versehen und auf die Ergänzung des vorliegenden Buches ausgerichtet, wäre sicher besser.

– der Abdruck von Schaltungen aus Applikationsberichten der Halbleiterhersteller (beispielsweise S. 356–357) bringt wenig. Wenn schon der beschränkte Platz keine grundlegenden Erklärungen zulässt, sollten diese Seiten besser zum Hinweis auf spezielle Lehrbücher verwendet werden.

– die integrierte Behandlung der Modellierung von Halbleiterbauelementen (es werden SPICE-Modelle für BJT (S. 255), IGFET (S. 440), SCR (S. 314) und I^2L (S. 489) kurz angesprochen) sollte etwas stärker gewichtet sein. Insbesondere wären Angaben zur Ermittlung der Modellparameter wünschenswert.

Zusammenfassend ist dieses Buch dennoch empfehlenswert: als Arbeitsunterlage für Vorlesungen und Weiterbildungskurse; als Nachschlagewerk für denjenigen, der mit den beschriebenen Bauelementen nur gelegentlich konfrontiert ist; als Lehrbuch für den Einstieg in eines der beschriebenen Spezialgebiete, wobei die zitierte Literatur ebenfalls zur Verfügung stehen muss. *E. Stein*

DK: 621.372.54.037.37:681.327.8:681.7.014 SEV-Nr. A 888

Digital signal processing. By: *V. Cappellini* and *A. G. Constantinides.* London a.o., Academic Press, 1980; 8°, XX/220 p., fig., tab. Price: cloth $ 52.50

Das Buch umfasst eine Auswahl von Manuskripten, die 1978 an der «International Conference on Digital Signal Processing» in Florenz präsentiert wurden. Obwohl diese Konferenz schon zwei Jahre zurückliegt, sind die ausgewählten Manuskripte sehr aktuell und werden vielen Lesern neue Aspekte aufzeigen.

Das Buch ist in fünf Kapitel unterteilt: 1. Entwurftechniken für 1–D und 2–D digitale Filter, 2. Transformationen, 3. Ausführungen, 4. Anwendungen und 5. Bildverarbeitung als Mittel der Analyse von Kunstwerken. Sind die ersten zwei Kapitel hauptsächlich theoretisch und sicher dem fortgeschrittenen Theoretiker dieses Gebietes vorbehalten, so sind die letzten drei Kapitel deutlich einfacher gehalten und stärker auf Anwendungen zugeschnitten. Erwähnenswert sind z.B. das Manuskript über die Verwendung von Multi-Mikroprozessor-Systemen für digitale Filter (Brafman et al.), dasjenige über zweidimensionale Quantisierungseffekte (Tazaki et al.) und der Text über verzweigte Filter mittels FIR (finite impulse response) und IIR (infinite impuls response) mit komplementären Strukturen. Das letzte Kapitel enthält eine sehr aufschlussreiche Abhandlung über diesen speziellen Aspekt der Bildverarbeitung. Es beschreibt die Anwendung für die Analyse von Kunstwerken und wie Bildverarbeitung für die archäologische Forschung nutzbar gemacht werden kann; dass in diesem Kapitel nur italienische Beiträge zu finden sind, ist für die Kreativität der Italiener bezeichnend ... Es war auch für den Rezensenten ein ganz neues Gebiet.

Wie üblich bei Texten von Konferenzen, enthalten diese im allgemeinen nur relativ kurze Beschreibungen mit vielen Literaturhinweisen. Letztere bilden eine gute Basis für ein vertieftes Studium. *A. P. J. Engbersen*