

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 94 (1968)  
**Heft:** 21

**Artikel:** Conception des systèmes logiques combinatoires et séquentiels  
**Autor:** Florine, Jean  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-69663>

#### **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:** 14.01.2026

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

# BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

## ORGANE OFFICIEL

de la Société suisse des ingénieurs et des architectes  
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (SVIA)  
de la Section genevoise de la SIA  
de l'Association des anciens élèves de l'EPUL (Ecole polytechnique  
de l'Université de Lausanne)  
et des Groupes romands des anciens élèves de l'EPF (Ecole poly-  
technique fédérale de Zurich)

## COMITÉ DE PATRONAGE

Président: E. Martin, arch. à Genève  
Vice-président: E. d'Okolski, arch. à Lausanne  
Secrétaire: S. Rieben, ing. à Genève  
Membres:  
Fribourg: H. Gicot, ing.; M. Waeber, arch.  
Genève: G. Bovet, ing.; Cl. Grosgrain, arch.; J.-C. Ott, ing.  
Neuchâtel: J. Béguin, arch.; M. Chevalier, ing.  
Valais: G. de Kalbermann, ing.; D. Burgener, arch.  
Vaud: A. Chevalley, ing.; A. Gardel, ing.;  
M. Renaud, ing.; J.-P. Vouga, arch.

## CONSEIL D'ADMINISTRATION

de la Société anonyme du « Bulletin technique »  
Président: D. Bonnard, ing.  
Membres: Ed. Bourquin, ing.; G. Bovet, ing.; M. Bridel; M. Cosandey, ing.; J. Favre, arch.; A. Métraux, ing.; A. Rivoire, arch.; J.-P. Stucky, ing.  
Adresse: Avenue de la Gare 10, 1000 Lausanne

## RÉDACTION

F. Vermeille, rédacteur en chef; E. Schnitzler, ingénieur, et  
M. Bevilacqua, architecte, rédacteurs  
Rédaction et Editions de la S.A. du « Bulletin technique »  
Tirés à part, renseignements  
Avenue de Cour 27, 1000 Lausanne

## ABONNEMENTS

1 an . . . . .	Suisse	Fr. 46.—	Etranger	Fr. 50.—
Sociétaires . . . . .	»	» 38.—	»	» 46.—
Prix du numéro . . . . .	»	» 2,30	»	» 2,50

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande »  
N° 10 - 5775, Lausanne

Adresser toutes communications concernant abonnement, vente au  
numéro, changement d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie  
La Concorde, Terreaux 29, 1000 Lausanne

## ANNONCES

Tarif des annonces:  
1/1 page . . . . . Fr. 495.—  
1/2 » . . . . . » 260.—  
1/4 » . . . . . » 132.—  
1/8 » . . . . . » 68.—  
Adresse: Annonces Suisses S.A.  
Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26, 1000 Lausanne et succursales



## SOMMAIRE

Conception des systèmes logiques combinatoires et séquentiels, par Jean Florine, Dr en sciences, agrégé de l'Enseignement supérieur.  
Divers. — Bibliographie. — Les congrès.  
Documentation générale. — Documentation du bâtiment. — Informations diverses.

## CONCEPTION DES SYSTÈMES LOGIQUES COMBINATOIRES ET SÉQUENTIELS<sup>1</sup>

par JEAN FLORINE<sup>2</sup>, docteur en sciences, agrégé de l'Enseignement supérieur

### 1. Opérations et fonctions logiques élémentaires

On a l'habitude de représenter un système quelconque par un bloc schématique présentant un certain nombre d'entrées et un certain nombre de sorties (fig. 1).

Ce qui caractérise le fonctionnement du système, ce sont les relations liant ces entrées et ces sorties.

A chacune des entrées, on associe une variable  $x_1, x_2 \dots x_n$ , tandis qu'à chaque sortie, on associe une fonction  $Z_1, Z_2 \dots Z_r$ .

On dira que le système est binaire ou logique si ces variables comme ces fonctions ne peuvent prendre que l'une de deux valeurs exclusives que l'on symbolise généralement par un chiffre 0 et un chiffre 1. Chacune des fonctions de sortie peut être utilisée comme variable dans un système plus complexe suivant ou englobant celui que l'on vient de considérer. Mais ce système complexe pourrait être présenté de telle sorte que toutes les fonctions dépendent directement des variables d'entrée.

Nous examinerons trois types de fonctions élémentaires liant par exemple l'une des sorties du système

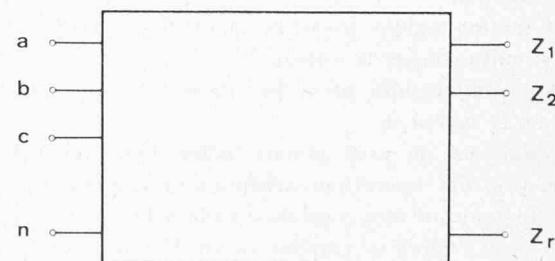


Fig. 1. — Représentation schématique d'un système logique.

à deux variables d'entrée  $a$  et  $b$ . On montrera ensuite que toute fonction logique, si complexe soit-elle, peut être formée par association de ces trois types de fonctions élémentaires. La première,  $f_1$ , la réunion ou somme logique, lie les deux variables d'entrée de la façon indiquée par la table 1 (colonne 2).

<sup>1</sup> Compte rendu de la conférence présentée à l'Institut d'électronique de l'EPUL, le 24 avril 1968.  
<sup>2</sup> Université libre de Bruxelles.

TABLE 1

$a$	$b$	$f_1 = a + b$	$f_2 = a \cdot b$	$f_3 = \overline{a + b}$	$f_4 = \overline{a \cdot b}$
0	0	0	0	1	1
0	1	1	0	0	1
1	0	1	0	0	1
1	1	1 (2)	1	0	0

Comme chacune des variables  $a$  et  $b$  ne peut prendre que l'une des deux valeurs exclusives 0 ou 1, il y aura quatre combinaisons de valeurs (première colonne), pour lesquelles on définit la valeur 0 ou 1 de la fonction  $f_1 = a + b$ . On dira que la somme de deux variables logiques prend la valeur 1 dès que l'une d'elles a la valeur 1.

On peut aussi définir la somme en considérant les valeurs 0 : la fonction  $f_1$  ne prendra la valeur 0 que si les deux variables ont la valeur 0.

Une deuxième opération élémentaire est l'intersection ou produit logique. La fonction  $f_2$  (colonne 3) est définie de la façon suivante : elle ne prend la valeur 1 que si les deux variables  $a$  et  $b$  ont la valeur 1. On peut aussi la définir par les valeurs 0 et l'on dira alors que le produit logique prend la valeur 0 dès que l'une des deux variables prend la valeur 0.

Ces fonctions élémentaires peuvent être généralisées pour un nombre quelconque de variables et, en exprimant cette généralisation, on en profitera pour introduire les conjonctions ET et OU, qui donnent leur nom aux circuits logiques correspondants. La somme logique de plusieurs variables prend la valeur 1 si  $a$  OU  $b$  OU  $c$  ... a la valeur 1.

Le produit logique de plusieurs variables prend la valeur 1 si  $a$  ET  $b$  ET  $c$  ont simultanément la valeur 1.

Il est important de remarquer que ces définitions sont liées aux valeurs 1 des variables et fonctions et non aux valeurs 0.

En effet, les conjonctions ET et OU permutent si l'on parle des valeurs 0.

La somme logique prend la valeur 0 si  $a$  ET  $b$  ET  $c$  ont simultanément la valeur 0.

Le produit logique prend la valeur 0 dès que  $a$  OU  $b$  OU  $c$  a la valeur 0.

Comme on ne peut jamais mêler dans une même expression des opérations arithmétiques et des opérations logiques, il sera possible d'utiliser les mêmes symboles + et · que l'on emploie en algèbre ordinaire pour la somme et le produit.

La troisième opération élémentaire de l'algèbre logique est la négation ou complémentation.

Elle découle immédiatement de la définition d'une variable logique qui ne peut prendre que l'une des deux valeurs exclusives 0 ou 1. De ce fait, si la variable «  $a$  » n'a pas la valeur 1, elle a nécessairement la valeur 0 (table 2). On note par «  $a'$  » ou «  $\overline{a}$  » le complément de la variable  $a$  et l'on dira que si «  $a$  » a la valeur 0, «  $\overline{a}$  » a la valeur 1, et inversement.

De nombreuses relations simples ou plus complexes découlent des définitions énoncées ci-dessus. Elles constituent ce que l'on appelle l'« algèbre logique ».

Nous citerons ici deux autres fonctions simples et une relation importante liant la somme, le produit et la négation.

La première fonction résulte de l'opération NI et est définie par la négation de la somme logique (NON — OU) (table 1, colonne  $f_3$ ). On remarque, toujours en considérant les valeurs 1, que la fonction  $f_3$  ne prend la valeur 1 que lorsque NI  $a$ , NI  $b$ , NI  $c$  n'ont la valeur 1. Par contre, il n'existe pas dans la langue française de conjonction exprimant la négation d'un produit (table 1,  $f_4$ ).

On adoptera le symbole NET, qui présente l'avantage de rappeler que l'opération NON s'applique aux résultats de l'opération ET et que c'est ainsi qu'on la réalise en pratique dans les circuits logiques correspondants.

On peut montrer que toute fonction logique peut être formée uniquement à partir de la négation et de l'une des deux autres opérations, c'est-à-dire exclusivement à l'aide de fonctions NI ou de fonctions NET. Dans toute expression logique, on peut remplacer une somme logique par un produit, et inversement en prenant les compléments des variables et de la fonction.

Ceci s'exprime par la relation due à de Morgan, qui s'écrit

$$a + b + c = \overline{\overline{a} \cdot \overline{b} \cdot \overline{c}}$$

ou bien  $a \cdot b \cdot c = \overline{\overline{a} + \overline{b} + \overline{c}}$

## 2. Fonctions logiques complexes, produits canoniques et produits minimaux

Repartons de la représentation schématique donnée par la figure 1. Comme il y a  $n$  variables d'entrée et que chacune de ces variables ne peut prendre que l'une des deux valeurs 0 ou 1, il y aura  $2^n$  combinaisons de valeurs de ces variables d'entrée. On appellera chacune de ces combinaisons un « état d'entrée » du système. Par exemple, 01011 est un état d'entrée d'un système à cinq entrées.

De la même façon, les fonctions de sortie ne peuvent prendre que l'une des deux valeurs exclusives 0 ou 1. S'il y a  $r$  fonctions de sortie, il y aura  $2^r$  états de sortie du système. Ainsi, 011011 est un état de sortie d'un système présentant six fonctions de sortie.

On peut définir séparément chacune des fonctions en spécifiant, pour chacun des  $2^n$  états d'entrée, si elle a la valeur 0 ou bien la valeur 1. Prenons par exemple une fonction  $f_5$  (table 3) dépendant de trois variables  $a$ ,  $b$  et  $c$ , et écrivons les  $2^3 = 8$  états possibles de ces trois variables.

TABLE 2

$a$	$a' = \overline{a}$
0	1
1	0

TABLE 3

	$a$	$b$	$c$	$f_5$	$f_6$
$\bar{a} \bar{b} \bar{c}$	0	0	0	0	0
$\bar{a} \bar{b} c$	0	0	1	1	1
$\bar{a} b \bar{c}$	0	1	0	1	1
$\bar{a} b c$	0	1	1	1	1
$a \bar{b} \bar{c}$	1	0	0	0	—
$a \bar{b} c$	1	0	1	0	0
$a b \bar{c}$	1	1	0	0	—
$a b c$	1	1	1	0	—

A chacun des huit états, on associera un *produit canonique*. Le produit canonique est obtenu en effectuant le produit logique de *toutes* les variables ( $a$ ,  $b$  et  $c$ ) dont dépend la fonction, en les prenant telles quelles ou par leur complément selon qu'elles ont la valeur 1 ou la valeur 0 dans l'état associé. Les produits canoniques ainsi obtenus ont été indiqués dans la première colonne de la table 3. Un produit canonique ne prendra la valeur 1 que pour l'état qui lui est associé. On peut alors former une expression de la fonction ( $f_5$ ) étudiée en effectuant la somme logique des produits canoniques associés aux états pour lesquels la fonction doit prendre la valeur 1.

On écrira ainsi que

$$f_5 = \bar{a} \bar{b} c + \bar{a} b \bar{c} + \bar{a} b c$$

et l'on dira que la fonction est présentée sous la *forme canonique normale*.

Pour matérialiser une telle fonction à l'aide de circuits classiques à diodes et transistors, il faut autant de diodes dans des circuits OU qu'il y a de termes dans cette expression et autant de diodes dans des circuits ET qu'il y a de facteurs dans l'ensemble des termes. On a donc tout intérêt à chercher à condenser et à transformer cette expression algébrique avant de chercher à matérialiser un circuit. Ceci est vrai quelle que soit la technologie utilisée, mais bien entendu le critère de simplicité sera différent selon qu'on utilise tel ou tel type de circuit.

Si l'on cherche à réduire le nombre de diodes nécessaire pour matérialiser la fonction  $f_5$ , on condensera sa forme canonique normale en cherchant à associer des termes qui ne diffèrent que par la valeur d'une seule variable. Pour cela, on utilisera la relation :

$$P \cdot a + P \cdot \bar{a} = P(a + \bar{a}) = P$$

résultant du fait que la somme ( $a + \bar{a}$ ) d'une variable et de son complément vaut toujours 1. Ainsi, les deux derniers termes de la fonction  $f_5$  peuvent s'écrire :

$$\bar{a} b \bar{c} + \bar{a} b c = \bar{a} b$$

Le terme  $\bar{a} b$  est un *produit réduit* : il n'est plus canonique, car il ne contient plus toutes les variables ou

leurs compléments. La fonction  $f_5$  peut ainsi être présentée sous une *forme réduite*

$$f_5 = \bar{a} \bar{b} c + \bar{a} b$$

La matérialisation de cette forme ne nécessiterait plus que 7 diodes au lieu de 12 pour la forme canonique normale.

Cependant, on aurait pu commencer par condenser le premier et le troisième terme de la forme canonique et l'on aurait alors obtenu une autre forme réduite :

$$f_5 = \bar{a} c + \bar{a} b \bar{c}$$

Il se peut que certaines voies permettent des condensations plus poussées et il s'avère donc nécessaire, si l'on désire obtenir une forme minimale de la fonction étudiée, de rechercher toutes les condensations possibles, quel que soit l'ordre dans lequel on ait effectué ces condensations.

Cette recherche d'une solution minimale peut être scindée en deux parties que nous appellerons respectivement l'*« analyse »* et la *« synthèse »*.

L'analyse consiste à rechercher tous les produits réduits qui ne peuvent être réduits davantage par association avec un autre produit réduit comprenant le même nombre de variables.

On appellera ces résultats d'*analyse* : *des produits minimaux*.

En terminologie anglo-saxonne, le produit canonique est appelé « *minterm* » et le produit minimal se dit « *prime implicant* ».

La seconde partie d'une étude de minimalisation, la *synthèse*, consiste à rechercher le plus petit nombre de produits minimaux suffisant pour former une expression complète de la fonction étudiée.

La *forme minimale* d'une fonction logique est donc deux fois minimale : elle est formée par une somme minimale de produits minimaux. L'*analyse* permet d'obtenir les produits minimaux et la *synthèse*, la somme minimale de ces derniers.

Dans le cas de la fonction  $f_5$ , on aura :  $f_5 = \bar{a} b + \bar{a} c$ .

### 3. Fonctions logiques incomplètement définies

Examinons maintenant ce que l'on entend par une fonction incomplètement définie. Il arrive souvent en pratique que la valeur d'une fonction ne soit pas imposée pour certains des  $2^n$  états d'entrée possibles. Il arrive aussi que l'on soit certain que certains des états d'entrée ne se présenteront jamais à l'entrée du système. Dans ces deux cas, on peut laisser certaines valeurs indifférentes dans la table de définition de la fonction étudiée (exemple : table 3, fonction  $f_6$ ). De ce fait, de nombreuses fonctions différentes peuvent satisfaire aux conditions ainsi partiellement imposées et le problème ne consiste plus à minimaliser la forme d'une fonction logique donnée, mais à rechercher parmi toutes les fonctions qui peuvent satisfaire aux conditions imposées, celle qui, après simplification, conduira à la forme la plus simple selon un critère donné.

On conçoit que cette recherche optimale soit beaucoup plus complexe que la minimalisation d'une fonction complètement définie, puisqu'on ne sait

pas, à priori, quels sont les produits canoniques associés aux états indifférents pour lesquels la fonction optimale aura la valeur 1.

On conçoit que l'adjonction de certains de ces produits canoniques pourra permettre des simplifications plus poussées de la forme canonique, tandis que d'autres, au contraire, compliqueraient inutilement la solution. On ne décrira pas ici les méthodes dont on dispose actuellement pour obtenir ces solutions optimales (réf. 1 et 2). Nous dirons seulement que certaines sont euristiques et basées sur l'observation de représentations tabulaires tandis que d'autres sont systématiques et adaptées à l'utilisation d'un ordinateur ou d'une calculatrice spécialisée. Pour illustrer une représentation tabulaire, nous choisirons l'exemple d'un problème de décodage.

On dispose d'informations codées par exemple dans le code binaire naturel et l'on désire transformer celles-ci dans un autre code, par exemple un code bi-quinaire. Le système à étudier comporte donc quatre entrées  $a$ ,  $b$ ,  $c$  et  $d$  et cinq sorties  $T$ ,  $W$ ,  $X$ ,  $Y$  et  $Z$  (table 4).

TABLE 4

$a$	$b$	$c$	$d$	$T$	$W$	$X$	$Y$	$Z$
0	0	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	1	0	1	0	1	0	0
0	0	1	1	0	1	1	0	0
0	1	0	0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0	1	0
0	1	1	0	0	0	1	1	0
0	1	1	1	1	0	0	0	1
1	0	0	0	0	1	0	0	1
1	0	0	1	0	0	1	0	1
1	1	0	0	—	—	—	—	—
1	1	0	1	—	—	—	—	—
1	1	1	0	—	—	—	—	—
1	1	1	1	—	—	—	—	—

Les cinq fonctions seront examinées séparément.

Prenons pour exemple l'étude de la fonction  $Z$  et adoptons une nouvelle représentation dans laquelle on a scindé les seize états des quatre variables en combinaisons séparées des variables  $a$  et  $b$  d'une part et  $c$  et  $d$  d'autre part.

Dans chacune des cases, on indique la valeur 0, 1 ou — correspondante pour la fonction  $Z$  étudiée.

Dans cette représentation due à Veitch et Karnaugh (table 5), des groupements de cases adjacentes englobant les valeurs 1 de la fonction, peut-être des indifférences (—) mais certainement aucun 0, représentent des produits réduits de la fonction  $Z$ .

Les cases accolées aux bords opposés sont considérées comme adjacentes. Cette disposition graphique permet de trouver les produits minimaux : ce sont les groupements comprenant une ou un nombre pair de cases dans chaque direction et qui ne peuvent être étendus davant-

1. J. FLORINE : *La synthèse des machines logiques et son automatisation* (346 p.). Presses académiques européennes, Bruxelles. Dunod, Paris, 1964.
2. J. FLORINE : *Automatismes à séquences et commandes numériques*. Dunod, Paris (sous presse).

TABLE 5

$ab$	00	01	11	10
$cd$				
00	1	0	—	1
01	0	0	—	1
11	0	1	—	—
10	0	0	—	—

$$Z = a + b c d + \overline{b} \overline{c} \overline{d}$$

tage sans englober une valeur 0. Le but poursuivi ici n'est pas de décrire la méthode mais de donner un exemple de représentation tabulaire.

#### 4. Les fonctions logiques dans un système séquentiel

Le problème du décodage a été posé en indiquant une correspondance entre les états d'entrée et les états de sortie du système.

Dans cet exemple, à un même état d'entrée correspondent toujours le même état de sortie.

On dit que le système logique est combinatoire.

Si, par contre, à un même état d'entrée peuvent correspondre différents états de sortie dépendant par exemple de l'ordre dans lequel les états d'entrée ont été présentés, on dira que le système est séquentiel ou à mémoire.

On peut montrer qu'il est toujours possible de transformer un problème séquentiel en un problème combinatoire associé à l'emploi d'un certain nombre d'organes de mémoire.

Posons par exemple le problème de la synthèse d'un discriminateur de sens de rotation d'un arbre mécanique. On dispose d'un disque solidaire de l'arbre et présentant des sections conductrices et des sections isolantes (fig. 2).

Les sections conductrices sont reliées au potentiel logique 1. Deux frotteurs viennent toucher la partie extérieure du disque et leur distance est inférieure à l'arc du plus petit des secteurs. A chacun des deux frotteurs, on associe une variable logique ( $a$  et  $b$ ). On désire que la fonction  $Z$  de sortie du discriminateur de sens de rotation prenne la valeur 0 lorsque l'arbre tourne dans le sens horlogique et la valeur 1 dans le sens anti-horlogique. Ce seront donc les mêmes états d'entrée qui se présenteront que l'on tourne dans l'un ou l'autre sens et l'on désire que la sortie  $Z$  prenne tantôt la valeur 0, tantôt la valeur 1. On a donc bien affaire à un problème séquentiel. Une façon de représenter les données d'un système séquentiel consiste à établir un graphe (fig. 3).

On représente par un chiffre encerclé chaque phase de séquence. Ces dernières sont caractérisées par la correspondance entre un état d'entrée et un état de sortie que l'on indique à côté du chiffre encerclé. Les

liaisons entre les phases indiquent les passages possibles d'une phase vers l'autre.

Ainsi, le cycle 1 - 2 - 3 - 4 représente un sens de rotation horlogique pour lequel  $Z = 0$ , tandis que le cycle 8 - 7 - 6 - 5 représente le sens antihorlogique pour lequel  $Z = 1$ .

Les transitions bidirectionnelles 1-8, 2-5, 3-6 et 4-7 indiquent les changements de sens de rotation qui peuvent survenir à n'importe quel moment. Quoique le cas ne se présente pas dans cet exemple, on pourrait très bien retrouver la même correspondance entre un état d'entrée et un état de sortie, en deux endroits différents du graphe, sans que pour cela ces phases ne puissent être confondues. Les transitions au départ de chacune d'elles pourraient en effet se faire vers des phases différentes.

Un système séquentiel peut être représenté schématiquement de la façon indiquée par la figure 4.

On peut en effet montrer que tout système séquentiel peut se ramener à un système purement combinatoire (le grand rectangle intérieur) associé à un certain nombre d'organes de mémoire (petits rectangles). Si les organes de mémoire sont constitués par de simples amplificateurs présentant un délai naturel de commutation, on sera amené à ajouter à la fonction  $Z$  de sortie ( $Z_1 = Z$ ) deux fonctions auxiliaires  $V$  et  $W$  ( $Y_1 = V$ ;  $Y_2 = W$ ) permettant d'assurer la mémorisation des états précédents du système. Les sorties des amplificateurs régénérant les fonctions  $V$  et  $W$  seront utilisées en rétroaction comme variables auxiliaires (minuscules) dans les expressions des fonctions  $Z$ ,  $V$  et  $W$ . L'application des méthodes systématiques de synthèse des systèmes logiques séquentiels (réf. 1 et 2) permet d'obtenir les expressions suivantes pour ces fonctions :

$$\left\{ \begin{array}{l} V = a \nu + b \varphi + a b \\ W = \bar{a} \omega + b \omega + \bar{a} \bar{b} \\ Z = \bar{a} \bar{b} \omega + \bar{a} b \nu + a b \bar{\omega} + a \bar{b} \bar{\varphi} \end{array} \right.$$

Si les organes de mémoire sont constitués par des bascules bistables, par exemple de type  $S - R$  synchronisés par une horloge  $h$ , on utilisera deux bascules  $V$  et  $W$  dans une structure du type indiqué par la figure 5 ( $Y_1 = V$ ;  $Y_2 = W$ ;  $Z_1 = Z$ ;  $R_1 = R_v$ ;  $S_1 = S_v$ ;  $R_2 = R_w$ ;  $S_2 = S_w$ ). Des méthodes systématiques adaptées à la conception des systèmes synchrones à bascules bistables permettent d'obtenir les solutions suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} S_v = a b \\ R_v = \bar{a} \bar{b} \\ S_w = \bar{a} b \\ R_w = a \bar{b} \\ Z = \bar{a} \bar{b} \omega + \bar{a} b \nu + a b \bar{\omega} + a \bar{b} \bar{\varphi} \end{array} \right.$$

## 5. Les installations d'étude des systèmes logiques et numériques au Laboratoire d'électronique industrielle de l'Université de Bruxelles

L'analyse et la synthèse des fonctions logiques est aisée lorsque le nombre de variables dont dépend la fonction est petit. Au-delà de quatre variables d'entrée,

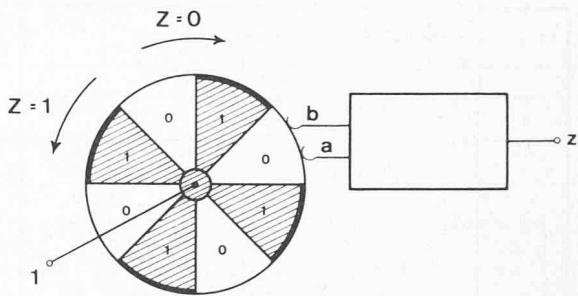


Fig. 2. — Système de détection du sens de rotation d'un arbre mécanique.

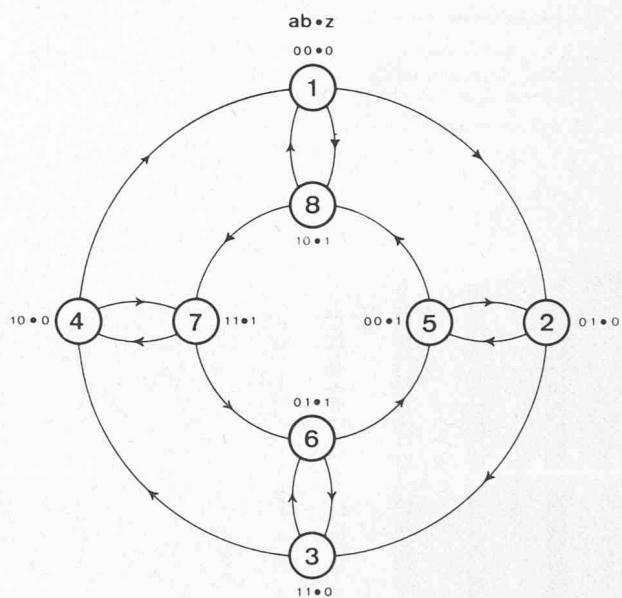


Fig. 3. — Graphe représentant les différentes phases du fonctionnement d'un détecteur de sens de rotation.

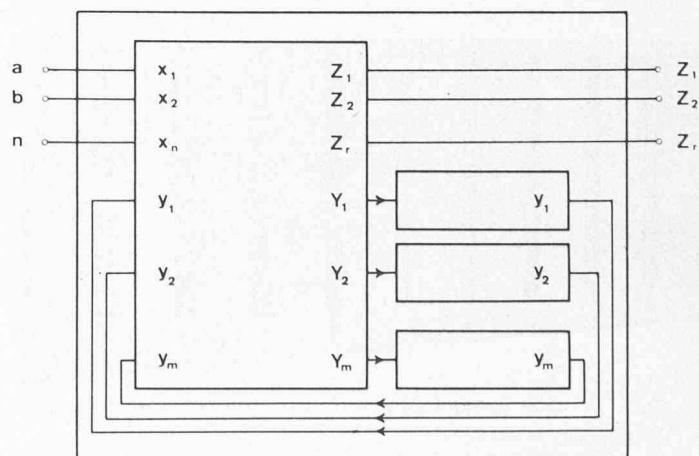


Fig. 4. — Représentation schématique d'un système logique séquentiel dans lequel la mémorisation est assurée par des rétroactions positives conditionnelles.

Cas du détecteur de sens de rotation :  $Z_1 = Z$   
 $Y_1 = V$   
 $Y_2 = W$

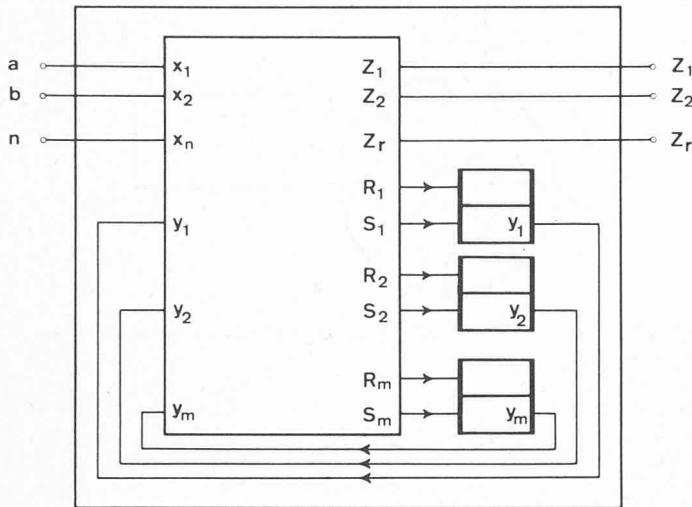


Fig. 5. — Représentation schématique d'un système logique séquentiel dans lequel la mémorisation est assurée par des bascules bistables synchronisées de type  $S-R$ .

Cas du détecteur de sens de rotation :  $Z_1 = Z$   
 $Y_1 = V$   
 $Y_2 = W$   
 $R_1 = R_V$   
 $S_1 = S_V$   
 $R_2 = R_W$   
 $S_2 = S_W$

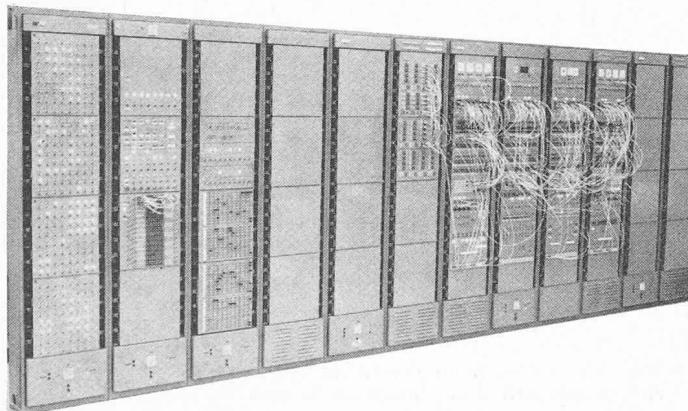


Fig. 6. — Les installations d'étude des systèmes logiques au Laboratoire d'électronique industrielle de l'Université de Bruxelles.

A gauche : l'analyseur et le synthétiseur automatiques.  
A droite : les simulateurs.

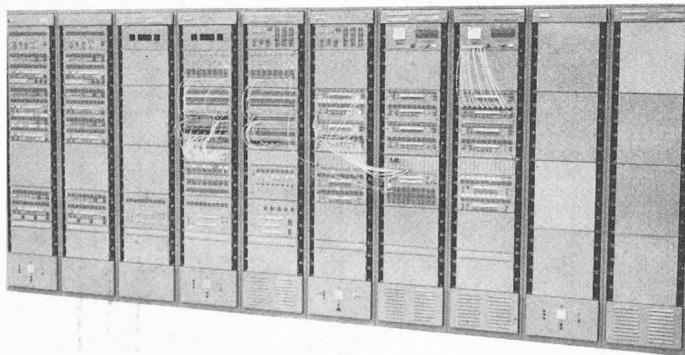


Fig. 7. — Les installations de calcul numérique spécialisé.

De gauche à droite :

- Les opérateurs fréquentiels et impulsionnels.
- Les opérateurs arithmétiques spécialisés.
- L'analyseur différentiel numérique (D.D.A.) ou calculateur incrémental.
- A la partie supérieure :
  - à gauche : les convertisseurs de mode de présentation de l'information numérique ;
  - à droite : les convertisseurs analogique-numérique et numérique-analogique.

on a recours à l'emploi de calculatrices universelles ou spécialisées.

Malheureusement les ordinateurs universels sont mal adaptés à la résolution de problèmes à caractère combinatoire ou matriciel. Il ne faut donc pas s'étonner si les machines les plus rapides demandent plusieurs heures de calcul pour pouvoir fournir une solution optimale à un problème de synthèse incomplètement défini à dix variables. Signalons cependant que si le problème est complètement défini, cas que l'on rencontre rarement en pratique, la résolution est beaucoup plus rapide, ce qui revient à pouvoir traiter des problèmes présentant jusqu'à quinze variables en des temps encore acceptables.

Nous avons donc cherché à développer des analyseurs et des synthétiseurs spécialisés (figure 6, côté gauche) qui permettent d'obtenir en quelques secondes toutes les solutions optimales d'un problème incomplètement défini à huit variables.

En utilisant la technologie des ordinateurs rapides actuels, ces machines spécialisées permettraient d'analyser des problèmes incomplètement définis à quinze variables en moins de dix secondes.

Cependant l'avantage principal de ces machines ne réside pas seulement dans la rapidité d'obtention des solutions ni même dans la simplicité de l'appareillage requis par rapport à l'ordinateur universel, mais plutôt dans l'échange permanent d'information qui s'établit entre l'utilisateur et la machine.

En effet, cette dernière libère l'ingénieur des calculs systématiques longs et fastidieux qui écarteraient de son esprit les véritables desiderata physiques du problème traité.

L'expérience montre en effet que ces desiderata sont rarement rigides et que le traitement systématique par une calculatrice spécialisée aide à mieux définir le problème et souvent à modifier partiellement les données initiales, ce qui est chose aisée pour ce genre de machines.

Les installations du Laboratoire d'électronique industrielle permettent la vérification complète et automatique des résultats obtenus par synthèse. Seules pourraient donc subsister des erreurs de raisonnement dans l'établissement des desiderata définissant le fonctionnement du système logique à concevoir.

C'est pour cette raison que l'on a construit (figure 6, côté droit) des simulateurs logiques qui permettent la matérialisation des résultats obtenus par synthèse automatique ainsi que la vérification de tous les cas de fonctionnement prévus, y compris les coïncidences, aléas ou variations simultanées de variables d'entrée.

Ces simulateurs permettent de matérialiser les circuits électroniques de principes (niveaux ; impulsions ; inhibitions) ou de types très différents (bascules bistables de n'importe quel type  $S-R$ ,  $J-K$ ,  $T$ ,  $P-Q$ , ... ; circuits canoniques à rétroactions conditionnelles formés d'éléments en deux étages (ET — OU — NON) ou en un étage (NI ou NET) ; circuits utilisant des organes de délai, des monostables, des retards).

L'installation comprend aussi un simulateur de circuits intégrés permettant de choisir toutes les structures intégrées existantes en tenant compte des différences de fonctionnement transitoire que l'on rencontre parmi les éléments commerciaux actuels.

Vu l'ampleur des problèmes industriels traités, la

superficie des simulateurs représentés sur la figure 6 a été quasi doublée. Les installations de calcul numérique spécialisé représentées sur la figure 7 comprennent notamment :

- Des convertisseurs de mode de présentation de l'information numérique : nombres codés-binaires : complément à 0 partout, complément à 1 partout, signe et valeur absolue ; — décimaux : excédent 3, D.C.B., Aiken.

- Des trains d'impulsions, des fréquences d'impulsions, des motifs d'impulsions ...
- Des convertisseurs analogiques-numériques.
- Des opérateurs spécialisés pour effectuer des opérations arithmétiques, des décalages, des sélections ...
- Des opérateurs spécialisés pour effectuer l'opération d'intégration (analyseur différentiel numérique formé d'intégrateurs à fonctionnement incrémental).
- Un ordinateur universel à fonctionnement incrémental est en construction.

## DIVERS

### Economie énergétique

Les conditions hydrauliques ayant été au-dessus de la moyenne, la *production des centrales hydrauliques* atteignit 27 730 GWh (1 GWh = 1 million de kWh) pendant l'année hydrographique 1966/67 ; la production pendant le semestre d'hiver était de 12 400 GWh dont 4551 GWh ou 36,7 % provenaient des centrales à accumulation. Les centrales thermiques ont produit 823 GWh ou 2,8 % de la production annuelle totale. Avec l'énergie importée de 1532 GWh, le mouvement total d'énergie électrique à disposition était de 32 085 GWh.

7467 GWh furent exportés et 24 438 GWh utilisés dans le pays même. Par rapport à l'année précédente, la consommation dans le pays augmenta de 3,9 % (année précédente, 2,4 %). La répartition sur les différents groupes de consommateurs n'a pas changé par rapport à l'année précédente ; la moitié est consommée par le groupe ménages, artisanat et agriculture, 42 % par le groupe industrie et 8 % par le groupe traction.

La consommation du pays par habitant accusa une augmentation de 3,7 %, pour atteindre 31 960 kWh. Quatre pays seulement du monde entier présentent une consommation par habitant supérieure à la Suisse.

*La construction de centrales hydrauliques touche à sa fin, alors que la construction de centrales thermiques (principalement nucléaires) est en forte augmentation.* A la fin de l'exercice, trois centrales nucléaires, d'une puissance totale de 1000 MW, étaient en construction en Suisse. Les entreprises d'électricité s'efforcent de mettre en pratique les principes énoncés par le Conseil fédéral.

*La construction d'installations de transport et de distribution* connut un nouveau point culminant avec la mise en parallèle des réseaux de la France, de l'Allemagne et de la Suisse au niveau de tension de 380 kV.

*Les dépenses* des entreprises livrant de l'énergie à des tiers (donc sans les centrales de l'industrie et les chemins de fer) atteignirent en 1966, 1020 millions de francs et restèrent en dessous du maximum de 1230 millions de francs de l'année précédente, ce qui est imputable à l'activité réduite dans la construction de centrales. En 1967, 23 émissions d'emprunts obligataires des entreprises d'électricité furent présentées sur le marché, faisant appel à un montant de 522 millions de francs. Le taux d'intérêt moyen passa de 5,35 %, taux moyen de l'année précédente, à 5,5 %. Les frais de premier établissement de toutes les installations en exploitation ou en construction des entreprises livrant à des tiers se montent à la fin de l'exercice 1966 à 16 750 (15 750) millions de francs. Pendant le même exercice, les recettes provenant des entreprises d'électricité atteignirent 1400 millions de francs<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Extraits du rapport de gestion de l'Union des centrales suisses d'électricité sur l'exercice 1967.

## BIBLIOGRAPHIE

**Eléments de physique moderne**, par Robert L. Sproull, professeur de physique, Cornell University, Paris, Masson & Cie et Sofradel, 1967. — Un volume 16 × 25 cm, xi + 636 pages, 290 figures. Prix : relié, 82 F.

Cette traduction de la deuxième édition d'un livre américain, qui a connu un grand succès, présente une étude analytique de la physique quantique des atomes, des molécules, des solides et des noyaux. Ce domaine de la physique (qui est improprement appelé « physique moderne ») est enseigné selon les niveaux, soit de manière très descriptive, soit de manière très mathématique. L'auteur a cherché une voie moyenne pour donner une connaissance quantitative de la physique de l'atome, de la molécule, de l'état solide et du noyau par l'application de la mécanique quantique élémentaire. La mécanique quantique y est présentée à un niveau d'introduction ; une attention particulière est accordée aux concepts et aux méthodes qui sont rendus familiers à l'étudiant grâce à la résolution de problèmes à une dimension.

L'application de ces concepts et de ces méthodes permet de répondre aux questions les plus particulières de la physique moderne, par exemple :

— Comment est assurée la cohésion de la matière ?

— A quoi est due la variété des propriétés chimiques des éléments ?

— Comment les électrons se déplacent-ils dans les solides ?

— Pourquoi les noyaux que l'on rencontre dans la nature ne contiennent-ils que certaines combinaisons de protons et de neutrons ?

— Comme le dit dans sa préface le professeur P. Grivet :

« Ce livre apporte en France un type d'enseignement d'aspect nouveau, qui est particulièrement bienvenu en électronique. Il vise à renouveler, tout en les précisant, les connaissances de base en physique des électrons. Ce volume présente donc un choix de résultats parmi les plus récents de ceux obtenus dans la physique moderne ; leur assimilation paraît aujourd'hui indispensable pour construire solidement l'électronique. Ainsi peut-on espérer voir cette discipline constituer réellement une science pour la majorité des chercheurs et ingénieurs : elle devrait cesser d'apparaître à beaucoup comme une mosaïque de techniques utilitaires et disparates. »

### Sommaire :

— Les particules élémentaires. — Systèmes de particules. — Noyaux et atomes. — Expériences onde-particule. — Introduction à la mécanique quantique. — Structure atomique et spectre. — Les molécules. — L'énergie de liaison et les bandes d'énergie dans les solides. — Propriétés électriques, thermiques et magnétiques des solides. — Imperfections dans les solides. — Semi-conducteurs. — Electronique physique. — Physique nucléaire. — Physique nucléaire expérimentale et appliquée.

Références et problèmes pour chaque chapitre.

*Annexe* : Constantes physiques. — Classification périodique des éléments. — Masses atomiques et poids atomiques. — Conversion des unités mksa en unités CGS. — Spectre d'une impulsion et principe d'indétermination. — Energie, impulsion et fonctions d'ondes. — Puits de potentiel carré à trois dimensions. — Solution des problèmes.