

EUGEN DIATCU
DAN N. DOBRESCU

**Deux méthodes et quatre programmes automatiques
de calcul de la fiabilité des circuits**

Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle. Série rouge, tome 4, n° R3 (1970), p. 45-69

http://www.numdam.org/item?id=M2AN_1970__4_3_45_0

© AFCET, 1970, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle. Série rouge » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

DEUX METHODES ET QUATRE PROGRAMMES AUTOMATIQUES DE CALCUL DE LA FIABILITE DES CIRCUITS ⁽¹⁾

par Eugen DIATCU ⁽²⁾ et Dan N. DOBRESCU ⁽³⁾

Résumé. — L'estimation complète de la fiabilité des circuits dans la phase de projet ne peut être réalisée par des méthodes connues de la théorie classique de la fiabilité.

Dans l'article on énonce les méthodes élaborées par les auteurs dans ce but ; et l'on en présente brièvement deux, ainsi que quatre programmes automatiques de calcul sur le calculateur électronique universel.

Dans les méthodes classiques pour évaluer la fiabilité d'un circuit, il suffit de connaître le taux de défaillance de ses composants [4, 7].

Ces méthodes ont le désavantage qu'elles supposent un grand volume d'information statistique où d'expériences, et ne permettent pas une bonne connaissance de la fiabilité même en phase de conception des circuits.

Donc, pour une bonne connaissance de la fiabilité et pour améliorer la fiabilité en cours du projet, les auteurs ont proposé une série de critères :

— le critère de calcul de la fiabilité à l'aide du théorème de Bayes [8, 9];

— les critères de calcul de la fiabilité à l'aide des éléments de la théorie de l'information [9, 10];

— le critère de calcul de la fiabilité à l'aide des méthodes statistiques et les éléments de la théorie de l'information [11].

(1) Les idées de cet article ont constitué les sujets des communications [1-3].

(2) Docteur ingénieur, Chef de la section « Transmission et Traitement de l'Information » à l'Institut d'Automatique, Bucarest, Roumanie.

(3) Licencié en mathématique, chercheur dans le laboratoire « Fiabilité » à l'Institut d'Automatique, Bucarest, Roumanie.

1. PREMIER CRITERE DE CALCUL DE LA FIABILITE DES CIRCUITS

Soit L un circuit logique, qui réalise une fonction logique F de m variables (L est un circuit avec m entrées). Chaque m -uple binaire des m entrées représente une information d'entrée v_k . Cette information est transformée par le circuit logique, dans le cas du fonctionnement sans défaut du circuit, en l'information de sortie $y_k = F(v_k)$, qui est aussi codée dans le code binaire.

Pour une bonne connaissance de la fiabilité des circuits logiques, nous avons considéré les défaillances essentielles (1), les défaillances non-essentielle (1), les probabilités d'apparition des informations d'entrée et des défaillances.

1.1. Pour les circuits combinatoires

On définit un coefficient de fiabilité, qui représente la moyenne arithmétique des probabilités de non-défaillance du circuit dans le cas d'apparition de la défaillance, et qu'on appelle le coefficient de fiabilité de troisième espèce (2) $D(L)$ pour les circuits combinatoires :

$$D(L) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[1 - \frac{\sum_{u=1}^{r_j} f_{uj} n_{uj}}{2^m \cdot \sum_{u=1}^{r_j} f_{uj}} \right] \quad (1.1)$$

où :

n_{uj} , le nombre des défaillances essentielles qui peuvent apparaître par suite d'apparition des défaillances de type u du composant j , pour toutes les informations d'entrée;

f_{uj} , le poids attaché aux défaillances de type u du composant j (une manière de calcul du poids f_{uj} est présenté dans l'annexe 1);

n , le nombre total de composants;

r_j , le nombre des défaillances possibles du composant j .

(1) Soit : z_{uj} ($u = 1, \dots, r_j; j = 1, \dots, n$), la défaillance de type u du composant j ; $y(v_k, z_{uj})$, l'information de sortie correspondant à l'information d'entrée v_k dans le cas d'apparition de la défaillance z_{uj} .

Si [12] :

a) $y(v_k, z_{uj}) \neq y_k$

la défaillance z_{uj} est une défaillance essentielle pour l'information d'entrée v_k ;

b) $y(v_k, z_{uj}) = y_k$

la défaillance z_{uj} est une défaillance non-essentielle pour l'information d'entrée v_k .

(2) Dans [9] on définit le coefficient de première et de seconde espèce.

1.2. Pour les circuits séquentiels

Ayant en vue les principales caractéristiques des circuits séquentiels (1), on définit un coefficient de fiabilité, qui représente, ainsi que le coefficient $D(L)$, la moyenne arithmétique des probabilités de non-défaillance, et qu'on appelle le coefficient de fiabilité de troisième espèce, $\check{D}(L)$ pour les circuits séquentiels :

$$\check{D}(L) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[1 - \frac{\sum_{u=1}^{n_j} f_{uj} n_{uj}}{N \sum_{u=1}^{r_j} f_{uj}} \right] \tag{1.2}$$

où :

N , le nombre total des informations d'entrée.

2. DEUXIÈME CRITÈRE DE CALCUL DE LA FIABILITÉ DES CIRCUITS

Dans [9], utilisant une forme simplifiée du théorème de Bayes, on définit le coefficient de fiabilité du circuit L - $R(L)$, qui représente la probabilité de non-défaillance pendant un intervalle de temps donné :

$$R(L) = \sum_{i=0}^n \left[\sum_{\{\mu, \bar{v}\}} \prod_{\mu} p_{\mu} \prod_{v \neq \mu} (1 - p_v) f_{\mu} \frac{n}{v} \right] \tag{2.1}$$

où :

n , le nombre des composants du circuit;

p_{μ} , la probabilité de non-défaillance du composant μ ;

$f_{\mu, \bar{v}}$ la probabilité pour que le circuit logique L soit non-défaillant, si i des n composants du circuit sont non-défaillants, les $(n-i)$ autres composants étant défaillants, pendant un intervalle de temps donné;

$\{\mu, \bar{v}\}$, la totalité des combinaisons de i composants (non-défaillants) parmi $n(n-i)$ composants sont défaillants, le nombre total de ces combinaisons est 2^n ; mais $\mu \neq v$).

(1) Un circuit séquentiel peut être défini comme un automate $(V, \gamma, S, f, \varphi; V, S, f, \varphi)$, l'ensemble d'information possible d'entrée ($v \in V$), γ , l'ensemble d'information de sortie ($y(v) \in \gamma$), S , l'ensemble des états d'automate ($s(t) \in S$), f , la fonction des transitions ($f: (S, V) \rightarrow S$, avec $s(t+1) = f[s(t), v(t)]$), φ , la fonction des sorties ($\varphi: (S, V) \rightarrow \gamma$ avec $y(v(t)) = \varphi[s(t), v(t)]$), t , le moment du temps, qu'il caractérise par la présence de deux états : l'état stable ($y(v(t+z)) \equiv y(v(t))$) et l'état instable ($y(v(t+z)) \not\equiv y(v(t))$); aussi bien que, parce que l'information de sortie à un moment donné dépend aussi bien de l'état initial du circuit que des informations d'entrée à partir des moments de temps antérieur, c'est-à-dire [13] :

$y(v(t)) = \varphi[s(t), v(t)] = \varphi[f[s(t-1), v(t-1)], v(t)] = \dots = \varphi[s(o), v(t), v(t-1), \dots, v(o)]$.

* * *

A l'aide de la théorie des graphes, les états du circuit sont représentés dans la figure 1 a (pour le coefficient de troisième espèce) et dans la figure 1 b (pour le coefficient de fiabilité, conformément à la théorie classique de la fiabilité [2, 4-7]).

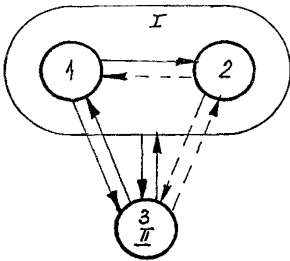


Figure 1 a

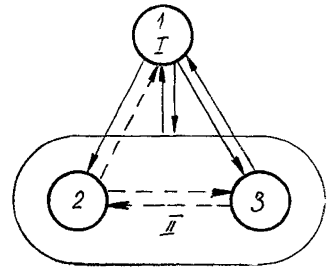


Figure 1 b

- 1 - Le circuit non-défaut
- 2 - Le circuit défaut, la défaillance non-essentielle
- 3 - Le circuit défaut, la défaillance essentielle
- I - Le circuit travaille correctement
- II - Le circuit travaille non-correctement

On démontre que : si toutes les défaillances du circuit sont des défaillances essentielles (respectivement défaillances non-essentielles), alors

$$\tilde{D}(L) = D(L) = R(L) = 0 \text{ (respectivement } \tilde{D}(L) = D(L) = R(L) = 1).$$

D'autre part on remarque que :

$$0 \leq \tilde{D}(L), D(L), R(L) \leq 1$$

3. QUATRE PROGRAMMES AUTOMATIQUES DE CALCUL DE LA FIABILITE DES CIRCUITS

Dans le cas des circuits avec un grand nombre d'entrées ou de composants, le calcul « manuel » de la fiabilité avec les coefficients $D(L)$, $\tilde{D}(L)$, $R(L)$, est difficile. Cette chose impose la solution automatique du problème à l'aide des calculateurs numériques.

Le calcul automatique suppose d'adapter les méthodes présentées dans les chapitres 1, 2 aux possibilités des calculateurs.

Pour effectuer le calcul automatique de la fiabilité des circuits nous coderons convenablement le schéma du circuit en vue de la détermination à l'aide du calculateur de nombre des défaillances essentielles.

Pour la solution automatique du problème nous avons introduit les matrices suivantes :

— la matrice $A = \| a_{ij} \|$ ($1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$), la matrice des entrées, où :

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si la variable d'entrée } i \text{ est le signal d'entrée pour le composant } j; \\ 0, & \text{si la variable d'entrée } i \text{ n'est pas le signal d'entrée pour le composant } j; \end{cases}$$

— la matrice $B = \| b_{rj} \|$ ($1 \leq r \leq n, 1 \leq j \leq n$) ⁽¹⁾, la matrice des connexions, où :

$$b_{rj} = \begin{cases} 1, & \text{si le signal de sortie du composant } r \text{ est le signal d'entrée pour le composant } j; \\ 0, & \text{si le signal de sortie du composant } r \text{ n'est pas le signal d'entrée pour le composant } j. \end{cases}$$

Nous avons introduit, aussi, le vecteur $D = (d_j)$ ($1 \leq j \leq n$), le vecteur de type des composants, où :

$$d_j = \begin{cases} 0, & \text{si le composant } j \text{ est de type NOR;} \\ 1, & \text{si le composant } j \text{ est de type NAND;} \\ 2, & \text{si le composant } j \text{ est de type OU;} \\ 3, & \text{si le composant } j \text{ est de type ET;} \\ 4, & \text{si le composant } j \text{ est de type NON.} \end{cases}$$

Dans cet article les défaillances sont divisées en trois groupes :

- les défaillances de type α ,
- les défaillances de type β ,
- les défaillances de type γ .

Les défaillances de type α sont les défaillances pour lesquelles le signal de sortie du composant défectueux est le signal logique « 1 » pour toutes les informations d'entrée ⁽²⁾.

Les défaillances de type β sont les défaillances pour lesquelles le signal de sortie du composant défectueux est le signal logique « 0 » pour toutes les informations d'entrée ⁽²⁾.

Les défaillances de type γ sont les défaillances pour lesquelles le signal de sortie du composant défectueux est le signal logique « 0 » ou « 1 » ⁽¹⁾.

(1) Pour les circuits combinatoires $r = 1, \dots, n - 1$ et $b_{ii} = 0$ pour $i = 1, \dots, n - 1$.

(2) Par exemple, pour l'élément logique NOR, les défaillances de type α sont : interruption émetteur, interruption collecteur, interruption base, court-circuit émetteur-base; les défaillances de type β sont : court-circuit émetteur-collecteur, court-circuit base-collecteur, interruption résistance collecteur, interruption résistance base; les défaillances de type γ sont : interruption résistances d'entrée. Dans l'article les défaillances du type α sont notées avec 1 à r_{i1} , les défaillances de type β sont notées avec $r_{i1} + 1$ à $r_i - 1$ et les défaillances de type γ sont notées avec r_i .

3.1. Deux programmes automatiques de calcul pour le coefficient de fiabilité de troisième espèce

3.1.1. Pour les circuits combinatoires

Pour la simplification nous acceptons que les composants du circuit combinatoire ont été numérotés dans l'ordre des niveaux et avec n nous avons désigné le composant de sortir du circuit.

En même temps pour pouvoir effectuer le calcul des signaux de sortie, on définit une matrice $C^k = \|c_{rj}^k\|$ ($1 \leq k \leq 2^m$, $1 \leq r \leq n-1$, $1 \leq j \leq n$), la matrice des transitions (où $c_{r1}^k = 0$, $1 \leq r \leq n-1$, $1 \leq k \leq 2^m$).

Ainsi, le programme automatique de calcul du coefficient de la fiabilité $D(L)$, est divisé en neuf sous-programmes : S-1 (sous-programme qui engendre les états d'entrée); S-2 (sous-programme de calcul du nombre total d'entrées pour tous composants à l'aide des matrices A et B); S-3 (sous-programme de calcul des valeurs x_{ks} , les valeurs x_{ks} sont données par les relations (3.2) et (3.3)); S-4 (sous-programme de calcul des signaux réels de sortie); S-5 (sous-programme de calcul de la matrice C^k); S-6, S-7, S-8 (sous-programmes de calcul du nombre des défaillances essentielles de type α , β , γ); S-9 (sous-programme de calcul du coefficient de la fiabilité $D(L)$).

Le sous-programme S-1. Ce sous-programme produit toutes les 2^m informations d'entrée $v_k = \|v_{ki}\|$ ($1 \leq i \leq m$, $1 \leq k \leq 2^m$).

Le sous-programme S-2. En utilisant les définitions des matrices A et B , nous obtenons que le nombre total d'entrées pour le composant s , est :

$$q_s = \sum_{i=1}^m a_{is} + \sum_{r=1}^{n-1} b_{rs}, \quad 1 \leq s \leq n \quad (3.1)$$

Le sous-programme S-3. Les valeurs x_{ks} ($1 \leq k \leq 2^m$, $1 \leq s \leq n$) sont donnée par les relations :

$$x_{k1} = \sum_{i=1}^m v_{ki} a_{i1} \quad (3.2)$$

$$x_{ks} = \sum_{r=1}^{n-1} c_{rs}^k + \sum_{i=1}^m v_{ki} a_{is}, \quad 2 \leq s \leq n \quad (3.3)$$

où les valeurs de la matrice $C^k = \|c_{rs}^k\|$ ($1 \leq r \leq n-1$, $1 \leq s \leq n$, k donné) sont données par le sous-programme S-5.

Le sous-programme S-4. Soit w_{ks} , le signal réel de sortie du composant s , quand l'information d'entrée est v_k . Alors les valeurs w_{ks} sont données par la relation :

$$w_{ks} = \begin{cases} 0, & \text{si la condition 1 est vraie} \\ 1, & \text{si la condition 1 n'est pas vraie} \end{cases} \quad (3.4)$$

où :

$$\text{la condition 1} = \begin{cases} x_{ks} > 0, & \text{si } d_s = 0 \\ q_s = x_{ks}, & \text{si } d_s = 1 \\ x_{ks} = 0, & \text{si } d_s = 2 \\ q_s \neq x_{ks}, & \text{si } d_s = 3 \\ x_{ks} = 1, & \text{si } d_s = 4 \end{cases} \quad (3.5)$$

Donc, à l'aide des matrices A et B on peut effectuer le calcul automatique des signaux de sortie, pour une information d'entrée v_k , dans le cas où le circuit combinatoire est réalisé avec les composants de type NOR; NAND; OU, ET, NON.

Le sous-programme S-5. Les valeurs de la matrice C_k sont données par la relation :

$$c_{sr}^k = \begin{cases} w_{ks}, & \text{si pour } k \text{ et } s \text{ donnés il y a } b_{sr} = 1; \\ 0 & \text{si pour } k \text{ et } s \text{ donnés il y a } b_{rs} = 0. \end{cases} \quad (3.6)$$

Les sous-programmes S-7, S-7, S-8 sont les programmes principaux pour le programme automatique de calcul de la fiabilité des circuits combinatoires.

Le sous-programme S-6. Le sous-programme consiste dans la modification des matrices A et B , comme une conséquence des défaillances de type α , après lesquelles le calcul est effectué à l'aide des sous-programmes S-3, S-4, et S-5, avec les suivantes adnotations : si la défaillance de type α , du composant s_0 a lieu, alors dans le sous-programme S-3 nous ne calculons pas la valeur x_{kso} .

Soit les matrices $G = A$, $H = B$, alors pour la défaillance de type α du composant s , la matrice H reste invariable, et dans la matrice G (le sous-programme S''-6) les valeurs du vecteur-colonne $\|g_{is}\|$ ($1 \leq i \leq n$, s donné), sont remplacées par zéro, les autres vecteurs-colonne de la matrice G restent invariables.

En même temps le vecteur-ligne $\|c_{sj}^k\|$ ($1 \leq j \leq n$, k et s donnés) de la matrice C^k est remplacé avec le vecteur-ligne correspondant $\|h_{sj}\|$ ($1 \leq j \leq n$, s donné) de la matrice H (le sous-programme S'-6).

Soit z_{ks}^α , le signal de sortie du circuit (l'information de sortie) pour l'information d'entrée v_k , en présence de la défaillance de type α du composant s c'est-à-dire $z_{ks}^\alpha = y(v_k, z_{\alpha s})$; alors nous définissons les fonctions (le sous-programme S'''-6) :

$$\delta_{ks} = \begin{cases} 1, & \text{si } z_{ks}^\alpha \neq y_k \quad (1 \leq k \leq 2^m, 1 \leq s \leq n) \\ 0, & \text{si } z_{ks}^\alpha \equiv y_k \end{cases} \quad (3.7)$$

Donc, le nombre des défaillances essentielles de type α par suite de la défaillance du composant s , est :

$$n_{\alpha s} = \sum_{k=1}^{2^k} \delta_{ks} \quad (3.8)$$

Le schéma de calcul de sous-programme S-6 est donné dans la figure 2.

Le sous-programme S-7. Le sous-programme consiste, comme dans le cas de la défaillance de type α , dans la modification des matrices A et B , comme une conséquence des défaillances de type β , après lesquelles le calcul est effectué à l'aide des sous-programmes S-3, S-4 et S-5.

Soit les matrices $G = A$ et $H = B$, alors pour la défaillance de type β du composant s , dans la matrice H (le sous-programme S'-7) les valeurs du vecteur-ligne $\|h_{sr}\|$ ($1 \leq r \leq n$, s donné) sont remplacées par zéro, les autres vecteurs-ligne de la matrice H restent invariables; et dans la matrice G les valeurs du vecteur colonne $\|g_{is}\|$ ($1 \leq i \leq n$, s donné) sont remplacées par zéro, les autres vecteurs-colonne de la matrice G restent invariables.

En même temps le vecteur-ligne $\|c_{sj}^k\|$ ($1 \leq j \leq n$, k et s donnés) de la matrice C^k est remplacé avec le vecteur-ligne correspondant $\|h_{sj}\|$ ($1 \leq j \leq n$, s donné) de la matrice H .

Soit z_{ks}^β , le signal de sortie du circuit pour l'information d'entrée v_k , en présence de la défaillance de type β du composant s , c'est-à-dire $z_{ks}^\beta = \gamma(v_k, z_{\beta s})$; alors nous définissons les fonctions (le sous-programme S''-7) :

$$\varepsilon_{ks} = \begin{cases} 1, & \text{si } z_{ks}^\beta \neq y_k \\ 0, & \text{si } z_{ks}^\beta \equiv y_k \end{cases} \quad (1 \leq k \leq 2^m, 1 \leq s \leq n) \quad (3.9)$$

Donc, le nombre des défaillances essentielles de type β par suite de la défaillance du composant s , est :

$$n_{\beta s} = \sum_{k=1}^{2^m} \varepsilon_{ks} \quad (3.10)$$

Le schéma de calcul du sous-programme S-7 est donné dans la figure 3.

Le sous-programme S-8. Le calcul du nombre des défaillances essentielles de type γ du composant s , est effectué à l'aide du vecteur D et des relations (3.11) — (3.16). Le nombre des défaillances essentielles de type γ du composant s , $n_{\gamma s}$, est :

$$n_{\gamma s} = \sum_{k=1}^{2^m} n_{\gamma s}^k \quad (3.11)$$

où :

$$n_{\gamma s}^k = \begin{cases} q_s \cdot \delta_{ks}, & \text{si la condition 2 est vraie} \\ \delta_{ks} + (q_s - 1)\varepsilon_{ks}, & \text{si la condition 3 est vraie} \\ q_s \cdot \varepsilon_{ks}, & \text{si la condition 4 est vraie} \\ \varepsilon_{ks} + (q_s - 1)\delta_{ks}, & \text{si la condition 5 est vraie} \\ \delta_{ks}, & \text{si } d_s = 4 \end{cases} \quad (3.12)$$

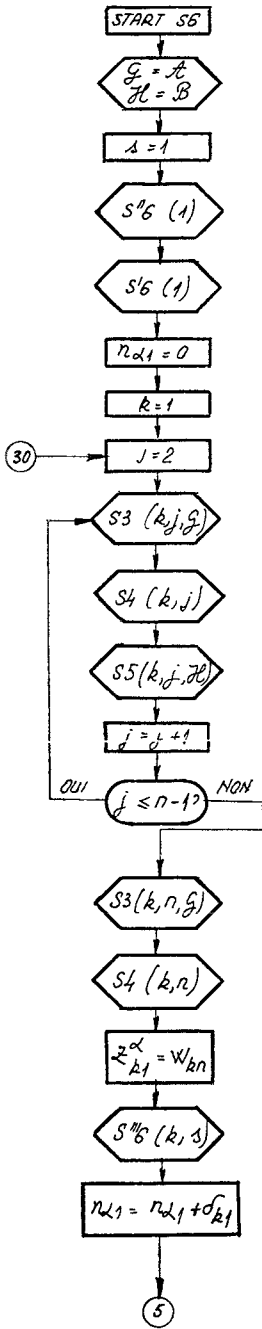


Figure 2 a

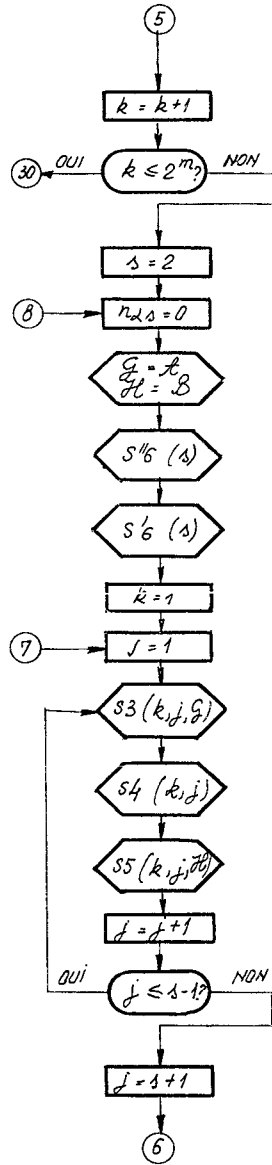


Figure 2 b

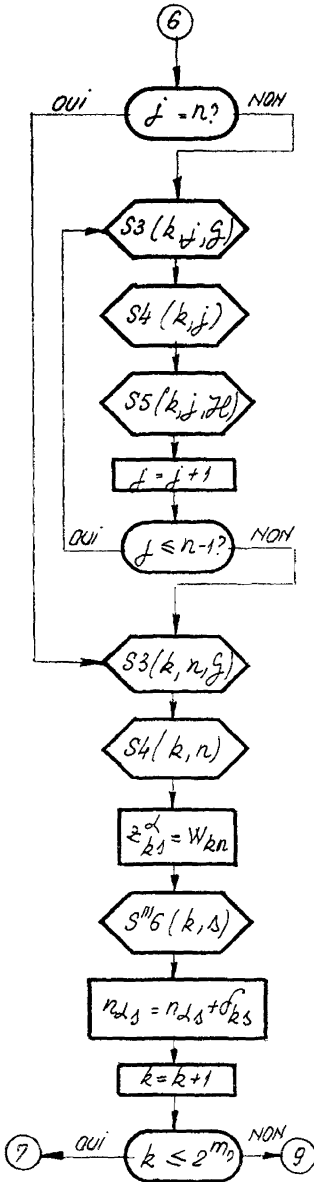


Figure 2 c

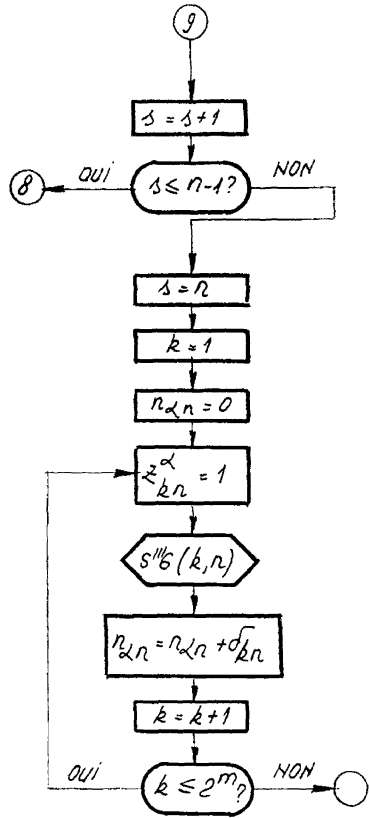


Figure 2 d

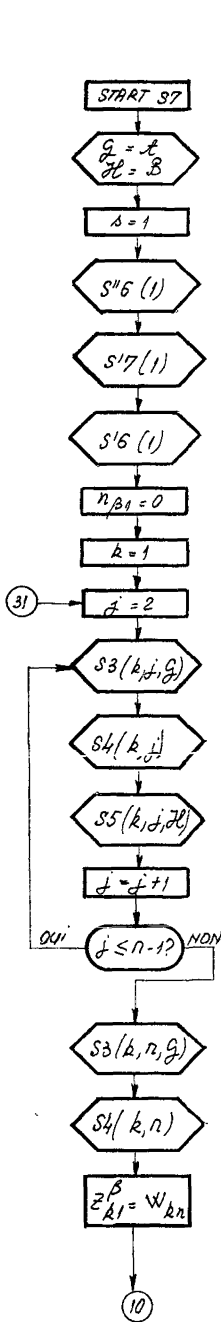


Figure 3 a

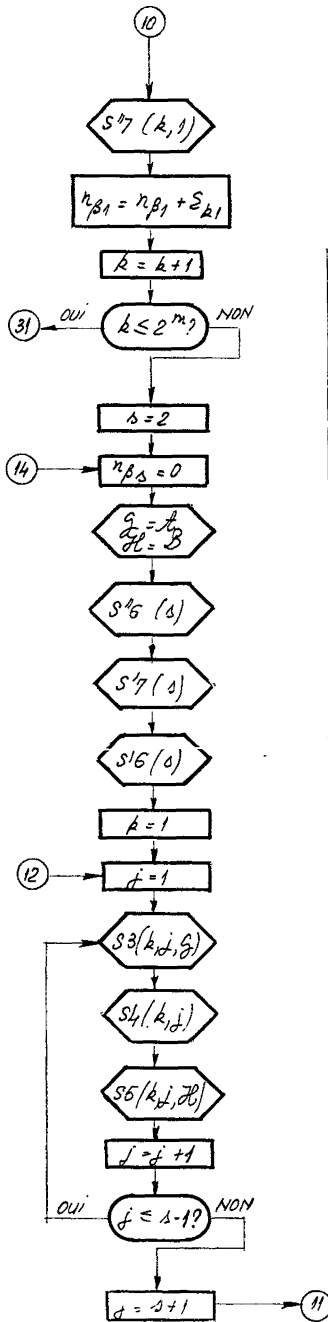


Figure 3 b

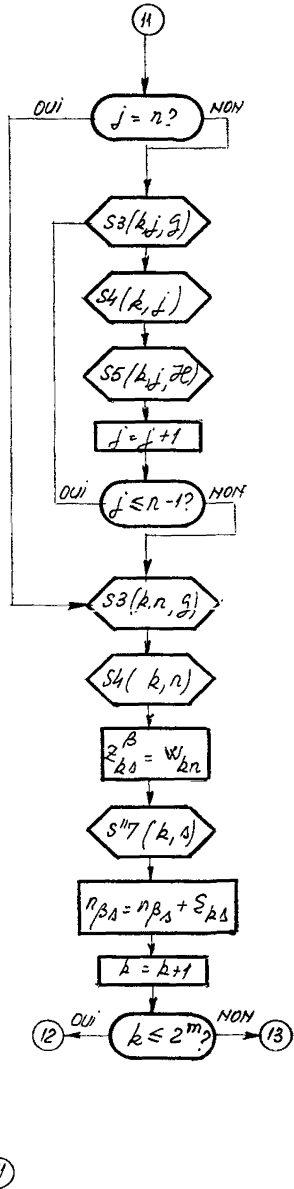


Figure 3 c

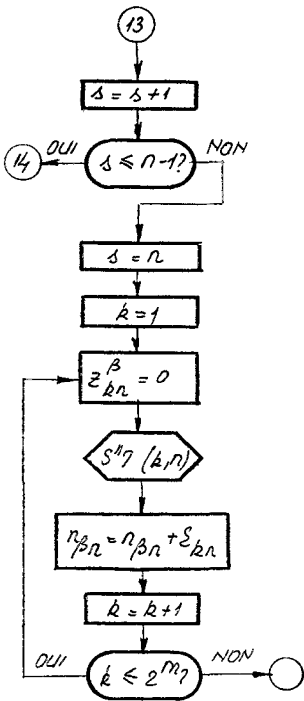


Figure 3 d

$$\text{La condition 2} = \begin{cases} xrd_{ks} = 0, & \text{si } d_s = 0 \\ xrd_{ks} < q_s - 1, & \text{si } d_s = 1 \\ xrd_{ks} > 1, & \text{si } d_s = 2 \\ xrd_{ks} = q_s, & \text{si } d_s = 3 \end{cases} \quad (3.13)$$

$$\text{La condition 3} = \begin{cases} xrd_{ks} = 1, & \text{si } d_s = 0 \\ xrd_{ks} = q_s - 1, & \text{si } d_s = 3 \end{cases} \quad (3.14)$$

$$\text{La condition 4} = \begin{cases} xrd_{ks} > 1, & \text{si } d_s = 0 \\ xrd_{ks} = q_s, & \text{si } d_s = 1 \\ xrd_{ks} = 0, & \text{si } d_s = 2 \\ xrd_{ks} < q_s - 1, & \text{si } d_s = 3 \end{cases} \quad (3.15)$$

$$\text{La condition 5} = \begin{cases} xrd_{ks} = q_s - 1, & \text{si } d_s = 1 \\ xrd_{ks} = 1, & \text{si } d_s = 2 \end{cases} \quad (3.16)$$

La valeur $xrd_{ks} = x_{ks}$ (où la valeur x_{ks} est donnée par le sous-programme S-3 en l'absence de la défaillance, c'est-à-dire le calcul est effectué à l'aide des relations (3.2) et (3.3) pour les valeurs initiales des matrices A et B).

Le schéma de calcul du sous-programme S-8 est donné dans la figure 4.

Le sous-programme S-9. Il calcule à l'aide de la relation (1.1) le coefficient de fiabilité $D(L)$.

Le schéma du calcul du programme automatique de calcul de la fiabilité, $D(L)$, pour les circuits combinatoires, que nous voulons nommer : le programme PACSIFICIC, est donné dans la figure 5.

3.2.1. Pour les circuits séquentiels

Pour la solution du problème, dans ce cas, et en même temps pour pouvoir effectuer le calcul des signaux de sortie, nous avons introduit les matrices suivantes :

— la matrice $B = \|b_{rj}\|$ ($1 \leq r \leq n, 1 \leq j \leq n$) — la matrice des connexions avec :

$$B = B^0 + B^1$$

où :

— la matrice $B^0 = \|b_{rj}^0\|$ — la matrice des réunions combinatoires, où :

$$b_{rj}^0 = \begin{cases} 0, & \text{si } j \leq r; \\ b_{rj}, & \text{si } j > r \end{cases}$$

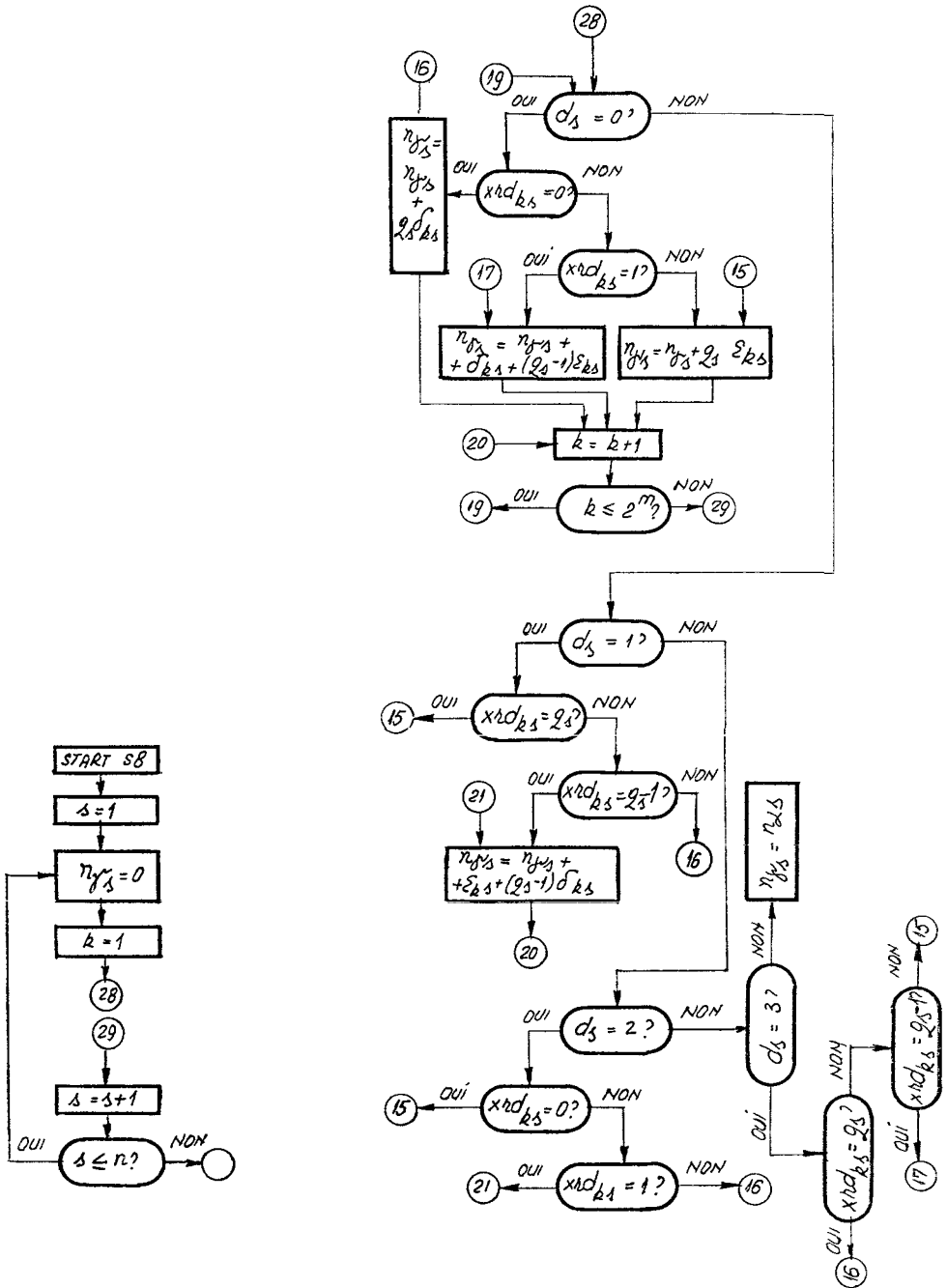


Figure 4 a

Figure 4 b

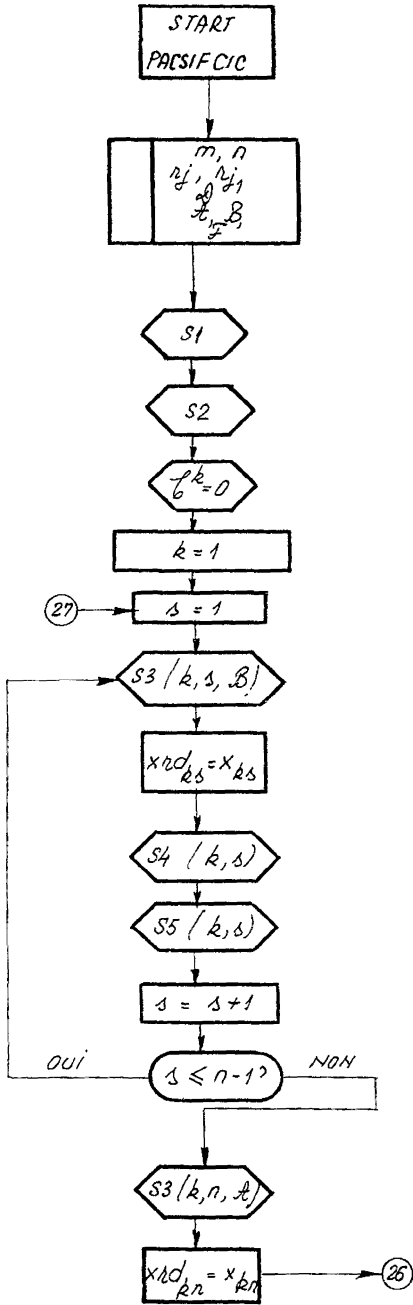


Figure 5 a

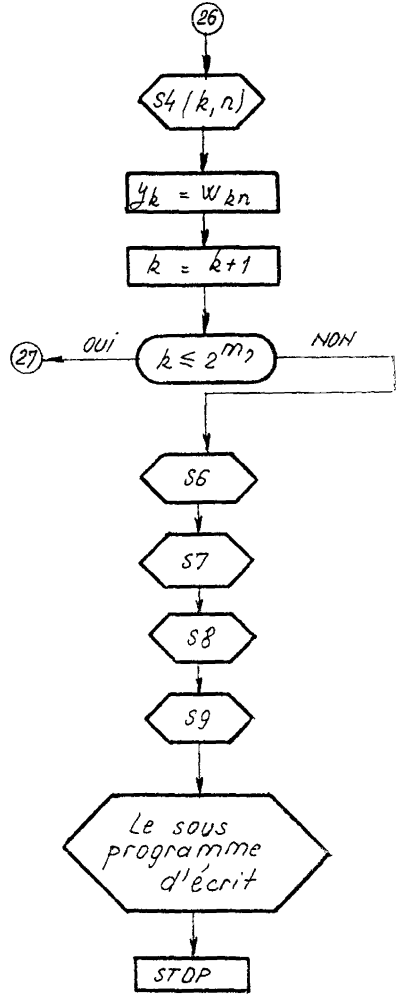


Figure 5 b

— la matrice $B^1 = \|b_{rj}^1\|$ — la matrice des réunions séquentielles, où :

$$b_{rj}^1 = \begin{cases} 0, & \text{si } j > r; \\ b_{rj}, & \text{si } j \leq r. \end{cases}$$

— la matrice $C^{k0} = \|c_{rj}^{k0}\|$ ($1 \leq k \leq N, 1 \leq r \leq n, 1 \leq j \leq n$) — la matrice des transitions instables;

— la matrice $C^{k1} = \|c_{rj}^{k1}\|$ ($1 \leq k \leq N, 1 \leq r \leq n, 1 \leq j \leq n$) — la matrice des transitions;

— la matrice $E^{k0} = \|e_{rj}^{k0}\|$ ($1 \leq k \leq N, 1 \leq r \leq n, 1 \leq j \leq n$) — la matrice des transitions stables.

Ainsi, le programme automatique de calcul du coefficient de la fiabilité $D(L)$, est divisé en neuf sous-programmes : S-10 (sous-programme qui engendre les états d'entrée pseudoaléatoire); S-2; S-11 (sous-programme de calcul des valeurs x_{ks}^i , les valeurs x_{ks}^i sont données par les relations (3.19)-(3-24); S-12 (sous-programme de calcul des signaux réels de sortie w_{ks}^i — $i = 0$ (respectivement $i = 1$) — le signal réel de sortie du composant s , quand l'information d'entrée est v_k , dans l'état instable (respectivement l'état stable); S-13 (sous-programme de calcul des matrices C^{k0}, C^{k1}, E^{k0}); S-6; S-7; S-8; S-14 (sous-programmes de calcul du coefficient de la fiabilité $\tilde{D}(L)$).

Le sous-programme S-10. Ce sous-programme engendre toutes les N informations d'entrée pseudoaléatoire $v_k = \|v_{ki}\|$ ($1 \leq i \leq m, 1 \leq k \leq N$). Pour ceci, nous avons utilisé quelques résultats [14, 15]. A l'aide de la relation (3.17)

$$\xi_\eta = 11\xi_{\eta-1} 7 + (\text{mod } 10^m) \quad m, \eta \geq 1 \quad (3.17)$$

où : $\xi_0 = 1$, nous obtenons les nombres pseudoaléatoires p_η , qui sont codées dans le code binaire :

$$p_\eta = (p_{\eta j}) \quad (1 \leq j < 3m + 3)$$

où chaque m -uple binaire représente une information pseudoaléatoire d'entrée v

et :

$$\begin{aligned} v_{ki} &= p_{\eta i} \\ v_{k+1, i} &= p_{\eta, i+m} \quad 1 \leq i \leq m, \eta, k \geq 1 \\ v_{k+2, i} &= p_{\eta, i+2m} \end{aligned} \quad (3.18)$$

Le schéma de calcul du sous-programme S-10 est donné dans la figure 6.

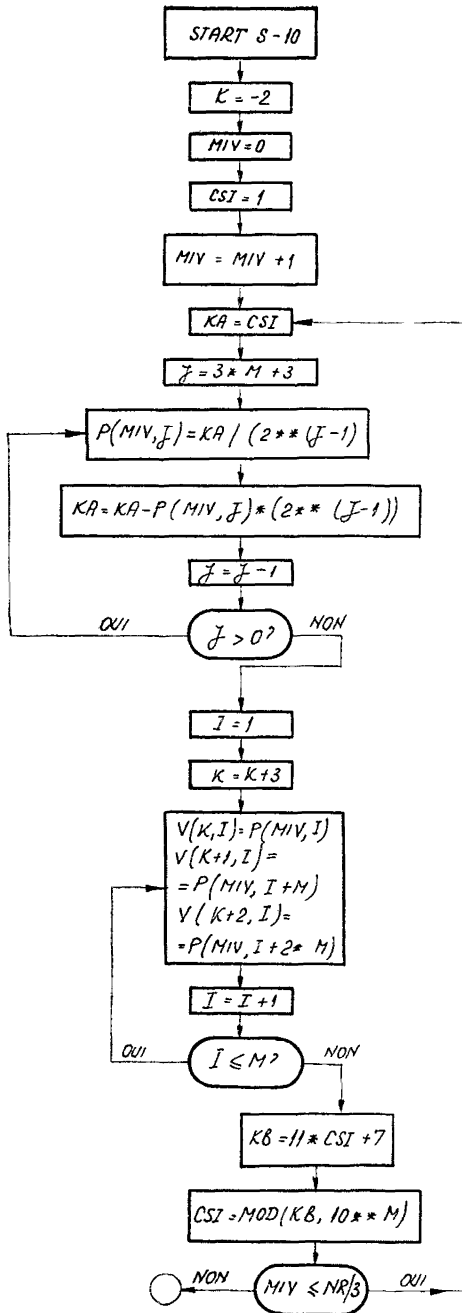


Figure 6

Le sous-programme S-11. Les valeurs $(x_{ks}^i) (1 \leq k \leq N, 1 \leq s \leq n, i = 0, 1)$ sont données par les relations :

— le sous-programme S-11 (0; 1, s)

$$x_{11}^0 = \sum_{i=1}^m v_{1i} a_{i1} \quad (3.19)$$

$$x_{1s}^0 = \sum_{r=1}^n c_{rs}^{10} + \sum_{i=1}^m v_{1i} a_{is}, \quad 2 \leq s \leq n \quad (3.20)$$

— le sous-programme S-11 (1; k, s)

$$x_{k1}^1 = \sum_{r=1}^n e_{r1}^{k0} + \sum_{i=1}^m v_{ki} a_{i1}, \quad k \geq 1 \quad (3.21)$$

$$x_{ks}^1 = \sum_{r=1}^n e_{rs}^{k0} + \sum_{r=1}^n c_{rs}^{k1} + \sum_{i=1}^m v_{ki} a_{is} \quad (3.22)$$

— le sous-programme S-11 (0; k, s)

$$x_{k1}^0 = \sum_{r=1}^n e_{rs}^{k-1,0} + \sum_{i=1}^m v_{ki} a_{is} \quad (3.23)$$

$$x_{ks}^0 = \sum_{r=1}^n e_{rs}^{k-1,0} + \sum_{r=1}^n c_{rs}^{k0} + \sum_{i=1}^m v_{ki} a_{is} \quad (3.24)$$

où les valeurs de la matrice C^{k0} , C^{k1} , E^{k0} données par le sous-programme S-13.

Le sous-programme S-12. Les valeurs w_{ks}^i sont données par la relation :

$$w_{ks}^i = \begin{cases} 0, & \text{si la condition 6 est vraie} \\ 1, & \text{si la condition 6 n'est pas vraie} \end{cases} \quad i = 0, 1 \quad (3.25)$$

où

$$\text{La condition 6} = \begin{cases} x_{ks}^i > 0, & \text{si } d_s = 0; \\ q_s = x_{ks}^i, & \text{si } d_s = 1; \\ x_{ks}^i = 0, & \text{si } d_s = 2; \\ q_s \neq x_{ks}^i, & \text{si } d_s = 3; \\ x_{ks}^i = 1, & \text{si } d_s = 4. \end{cases}$$

Le sous-programme S-12, pour chaque i , coïncide avec le sous-programme S-4.

Le sous-programme S-13. Les valeurs des matrices C^{k0} , C^{k1} , E^{k0} sont données par la relation :

$$c_{sr}^{ki} = \begin{cases} w_{ks}^i, & \text{si pour } k \text{ et } s \text{ donnés il y a } b_{sr}^0 = 1 \\ 0, & \text{si pour } k \text{ et } s \text{ donnés il y a } b_{sr}^0 = 0 \end{cases} \quad i = 0,1 \quad (3.26)$$

$$c_{sr}^{k0} = \begin{cases} w_{ks}^0, & \text{si pour } k \text{ et } s \text{ donnés il y a } b_{sr}^1 = 1 \\ 0, & \text{si pour } k \text{ et } s \text{ donnés il y a } b_{sr}^1 = 0 \end{cases} \quad (3.27)$$

Le sous-programme S-14. Il calcule à l'aide de la relation (1.2) le coefficient de fiabilité $\tilde{D}(L)$.

Le schéma de calcul du programme automatique de calcul de la fiabilité, $D(L)$, pour les circuits séquentiels, que nous voulons nommer : le programme PACSIFCIR, est donné dans la figure 7.

3.2. Deux programmes automatiques de calcul pour le coefficient de fiabilité $R(L)$

3.2.1. Pour les circuits combinatoires

Aussi bien que le chapitre 3.1.1, nous définissons les matrices A , B , C_k . Ainsi, le programme automatique de calcul du coefficient de la fiabilité $R(L)$, est divisé en sept sous-programmes : S-1; S-2; S-3; S-4; S-5; S-15 (sous-programme de calcul des probabilités $f_{\mu, \bar{\nu}}$); S-16 (sous-programme de calcul du coefficient de la fiabilité $R(L)$).

Le sous-programme S-15. Le calcul des probabilités $f_{\mu, \bar{\nu}}$ se fait avec la relation :

$$f_{\mu, \bar{\nu}} = 1 - \frac{n_{\mu, \bar{\nu}}}{2m} \quad (3.28)$$

où $n_{\mu, \bar{\nu}}$, le nombre des défaillances essentielles par suite de la défaillance des $(n - i)$ composants ⁽¹⁾ (les indices des composants défaillants sont donnés par ν).

Le calcul des valeurs $n_{\mu, \bar{\nu}}$ consiste dans la modification des matrices A et B , en conformité avec les données ci-dessous exposées, près lesquelles le calcul est effectué à l'aide des sous-programmes S-3, S-4, S-5 avec la précision suivante : que dans le sous-programme S-3 nous ne calculons pas les valeurs x_{kv} (ν données).

(1) Nous admettons ici, que les défaillances sont les défauts complets.

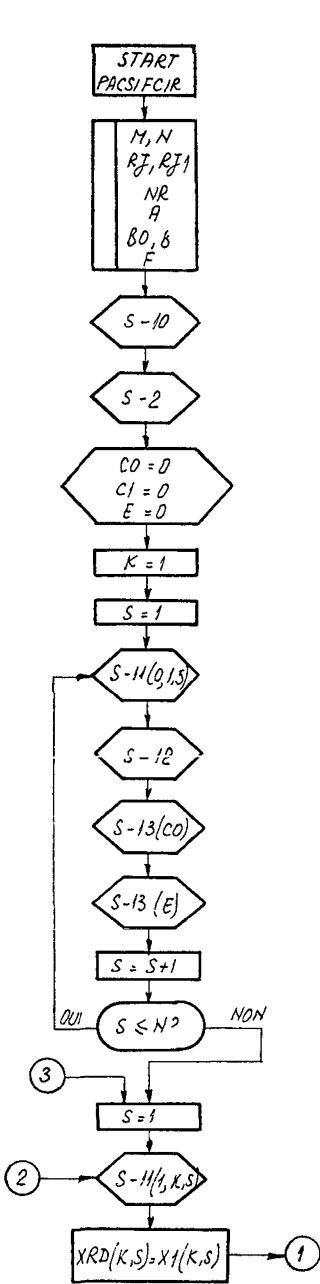


Figure 7 a

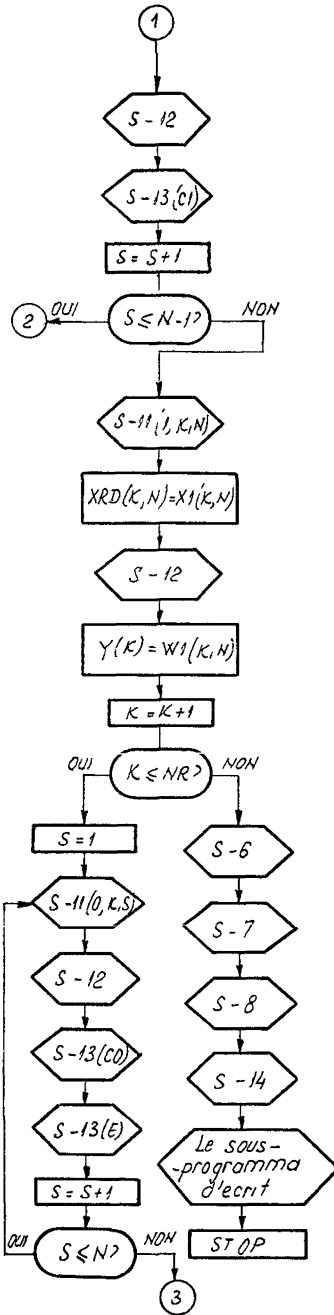


Figure 7 b

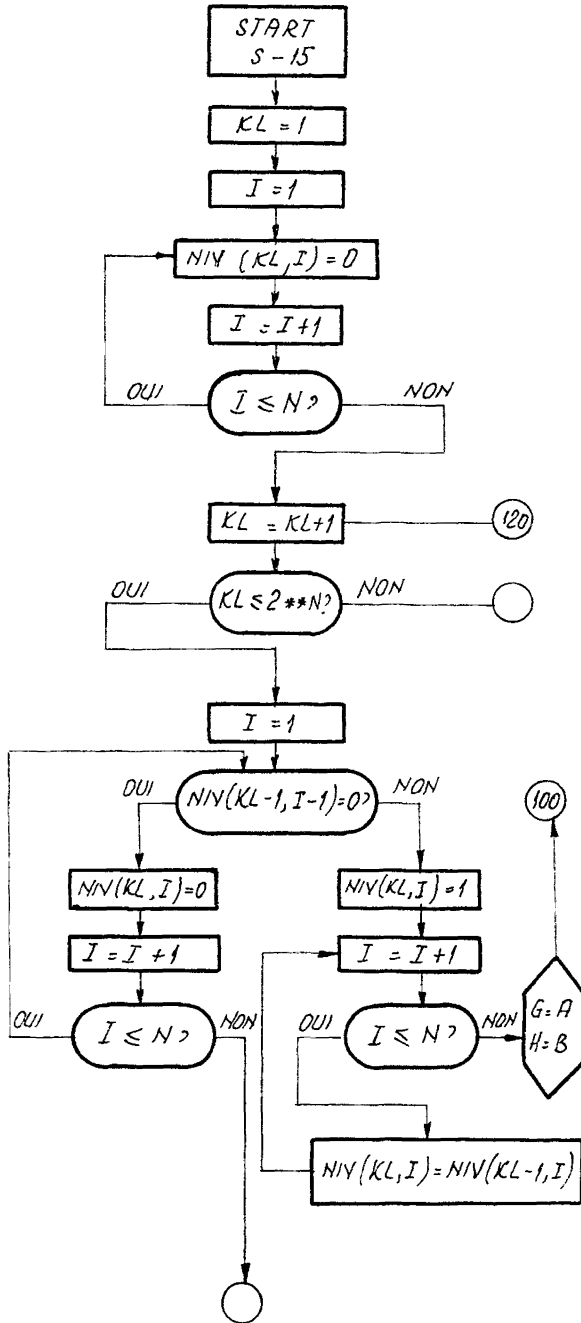


Figure 8 a

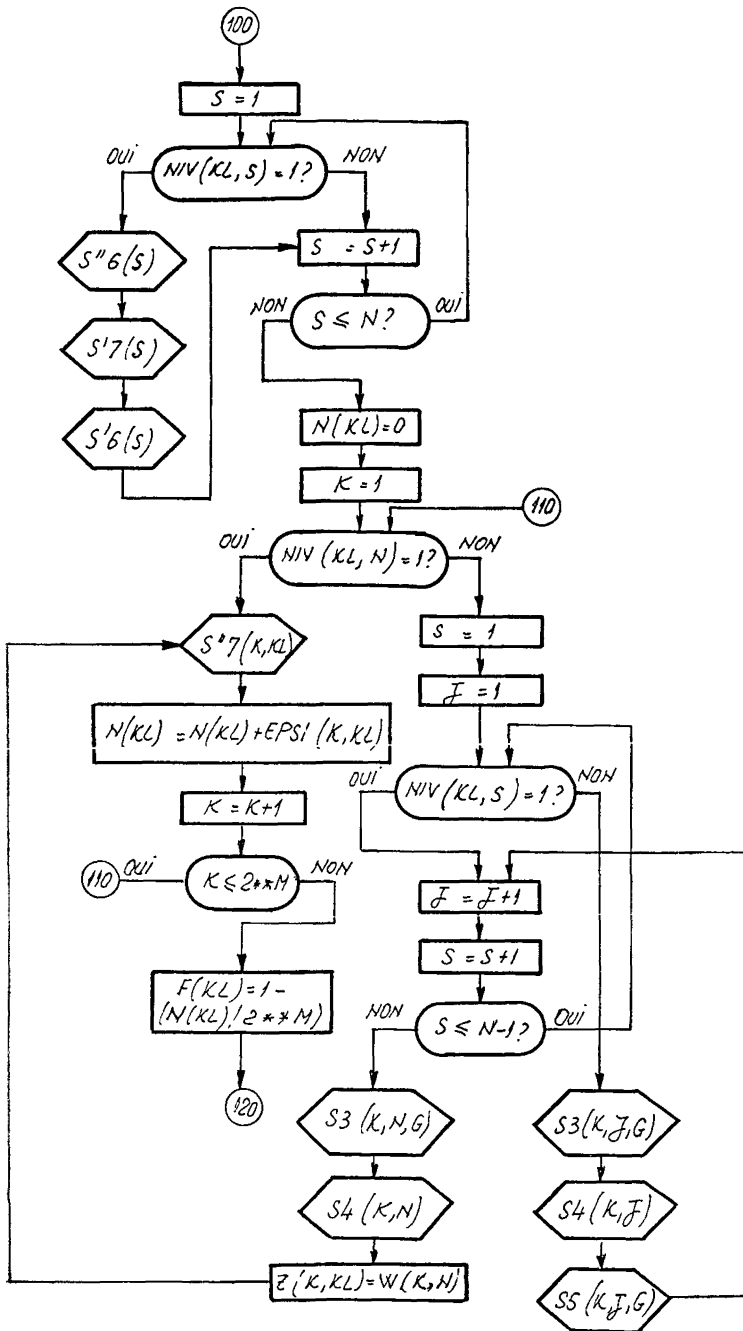


Figure 8 b

Soit les matrices $G = A$ et $H = B$, pour les défaillances des $(n - i)$ composants $(\mu, \bar{\nu})$ (les indices des composants défaillants sont donnés par $\bar{\nu}$; $i = 0, 1, \dots, n$), dans la matrice H (le sous-programme S'-7) les valeurs des vecteurs-ligne $\|h_{vr}\|$ ($1 \leq r \leq n, \bar{\nu}$ données) sont remplacées par zéro, les autres vecteurs-ligne de la matrice H restent invariables; et dans la matrice G (le sous-programme S"-6) les valeurs des vecteurs-colonne $\|g_{iv}\|$ ($1 \leq i \leq n, \bar{\nu}$ données) sont remplacées par zéro, les autres vecteurs-colonne de la matrice G restent invariables.

En même temps les vecteurs-ligne $\|c_{vj}^k\|$ ($1 \leq j \leq n, \bar{\nu}$ données) de la matrice C^k sont remplacés par les vecteurs-ligne correspondant $\|h_{vj}\|$ ($1 \leq j \leq n, \bar{\nu}$ données) de la matrice H .

Soit $z_{\mu\bar{\nu}}^k$, le signal de sortie du circuit pour l'information d'entrée v_k , en présence de la défaillance des $(n - i)$ composants $(\mu, \bar{\nu})$ (les indices des composants défaillants sont donnés par $\bar{\nu}$; $i = 0, 1, \dots, n$), alors :

$$n_{\mu, \bar{\nu}} = \sum_{k=1}^{2m} \epsilon_{\mu, \bar{\nu}}^k \quad (3.29)$$

où nous définissons les fonctions (le sous-programme S"-7)

$$\epsilon_{\mu, \bar{\nu}}^k = \begin{cases} 1, & \text{si } z_{\mu, \bar{\nu}}^k \neq y_k \\ 0, & \text{si } z_{\mu, \bar{\nu}}^k \equiv y_k \end{cases} \quad (3.30)$$

Le schéma de calcul du sous-programme S-15 est donné dans le figure 8.

Le sous-programme S-16. Il calcule à l'aide de la relation (2.1) le coefficient de fiabilité $R(L)$.

Le schéma de calcul du programme automatique de calcul de la fiabilité $R(L)$ pour les circuits combinatoires, que nous voulons nommer : le programme PACSIFFOPCIC, est donné dans la figure 9.

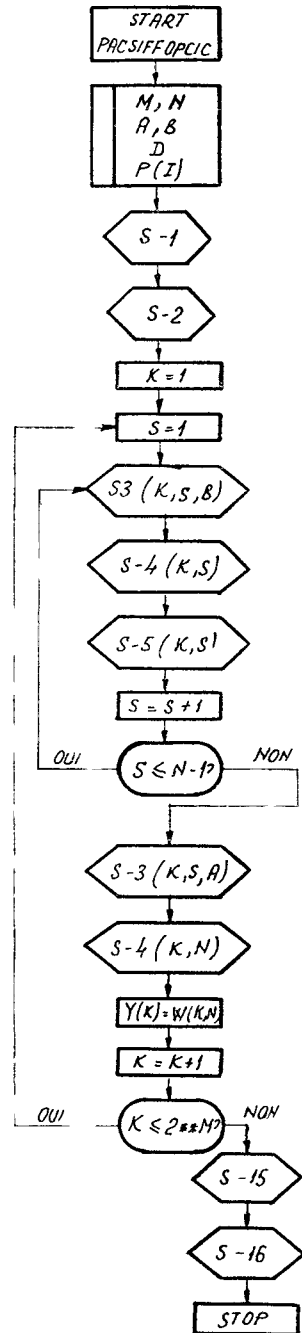


Figure 9

3.2.2. Pour les circuits séquentiels

Comme dans le chapitre 3.1.2, nous définissons les matrices $A, B, C^{k0}, C^{k1}, E^{k0}$. Ainsi, le programme automatique de calcul du coefficient de la fiabilité $R(L)$ pour les circuits séquentiels, que nous voulons nommer : le programme PACSIFFOPCIC, est divisé en sept sous-programmes : S-10; S-2; S-11; S-12; S-13; S-17 (sous-programme de calcul des probabilités $f_{\mu, \bar{v}}$); S-16.

Le sous-programme S-17. Ce sous-programme est semblable au sous-programme S-15, avec l'observation que : dans les relations (3.18) et (3.29) la valeur 2^m est remplacée avec la valeur N , le nombre total des informations d'entrée pseudoaléatoire produites par le sous-programme S-10.

4. CONCLUSIONS

Le but de cet article a été de définir une nouvelle méthode de calcul de la fiabilité. En même temps nous avons mis les bases des méthodes automatiques de calcul de la fiabilité des circuits.

Les programmes PACSIFCIC, PACSIFCIR, PACSIFFOPCIC, PACSIFFOPCIR ont été écrits dans le langage FORTRAN ASA pour le calculateur ICT 1905.

ANNEXE 1

LE CALCUL DES POIDS ATTACHES AUX DEFAILLANCES

Par exemple, dans le cas dans lequel le composant j est un élément logique NOR, nous obtenons les poids f_{uj} ainsi.

Soit : λ_u , le taux de défaillance de type u ;

- $u = 1$, interruption émetteur;
- $u = 2$, interruption base;
- $u = 3$, interruption collecteur;
- $u = 4$, court-circuit émetteur-base;
- $u = 5$, court-circuit émetteur-collecteur;
- $u = 6$, court-circuit base-collecteur;
- $u = 7$, interruption résistance collecteur;
- $u = 8$, interruption résistance base;
- $u = 9$, interruption résistance d'entrée.

Après [12], nous avons :

$$\lambda_{1j} = \lambda_{3j} = \lambda_{7j} = \lambda_{8j} = \lambda_{9j} = 0,1\lambda_0 \quad (\text{A.1.1})$$

$$\lambda_{2j} = \lambda_{4j} = 0,05\lambda_0 \quad (\text{A.1.2})$$

$$\lambda_{6j} = 0,2\lambda_0 \quad (\text{A.1.3})$$

$$\lambda_{5j} = \lambda_0 \quad (\text{A.1.4})$$

On définit :

$$f_{uj} = \frac{\lambda_{uj}}{\min_{u,j} \lambda_{uj}} \quad (\text{A.1.5})$$

Donc, après (A.1.1) - (A.1.5), nous obtenons :

$$\begin{aligned} f_{2j} &= f_{4j} = 1 \\ f_{1j} &= f_{3j} = f_{7j} = f_{8j} = f_{9j} = 2 \\ f_{6j} &= 4 \\ f_{5j} &= 20 \end{aligned}$$

BIBLIOGRAPHIE

- [1] E. DIATCU et D. DOBRESCU, *Computer analysis techniques for reliability automation circuits*. Communication présentée à la Seminar JUREMA XIV, Zagreb, 1969.
- [2] E. DIATCU et D. DOBRESCU, *Methodă si program automat de calcul cu ajutorul formulei probabilității totale a siguranței în funcționare a sistemelor informaționale*. Communication présentée à la session du D.C.S., Bucarest, Roumanie, 1969.
- [3] E. DIATCU et D. DOBRESCU, *Avtomaticeskii metod rasceta na ETVM nadejnosti logiceskih shem s obratnoi sviaziu*. Communication présentée à la Seminar JUREMA XV, Zagreb, 1970.
- [4] K. D. LLOYD et M. LIPOW, *Reliability, management, methods and mathematics*, New Jersey, 1964.
- [5] I. BAZOVSKI, *Fiabilité, théorie et pratique de la sûreté de fonctionnement*, Dunod, Paris, 1966.
- [6] V. I. GNEDENKO, I. A. BELIAEV et A. D. SOLOVEV, « *Matematiceskii metod v teorii nadejnosti* », Izd. Nauka, Moskva, 1965.
- [7] G. V. DRUJININ, « *Nadejnosti sistem avtomatiki* », Izd. Energhia, Moskva, 1968.
- [8] D. DOBRESCU, « *Asupra marimii siguranței în funcționare a circuitelor SAU-EXCLUSIV, realizate cu elemente logice* », *Automatica si Electronica* 11, 3, 1967, 122-115.
- [9] E. DIATCU et D. DOBRESCU, « *La fiabilité des circuits logiques utilisés dans les systèmes automatiques* », *Automatisme*, XIV, 12, 1969.
- [10] E. DIATCU et D. DOBRESCU, *Nadejnosti logiceskih tepei sistem avtomatiki*. Communication présentée à la Seminar JUREMA XIII, Zagreb, 1968.
- [11] E. DIATCU et D. DOBRESCU, *Automatic methods and programs for the computation of reliability in automation circuits*. The second Conference on Electricity. Reliability, Security, Quality. Bucarest, 1969.
- [12] S. M. DOMANITKII, « *Rascet nadejnosti logiceskie elementov i odnotakniñ sistem upravlenia* », *Avtomatika i telemehanika*, XXVI, 5, 1965, 898-905.

- [13] E. N. VAVILOV et G. P. PORTNOI, « *Sintez shem elektronnih tifrovih masin* ». Izd. Sovetskoe Radio, Moskva, 1963.
- [14] G. MARSAGLIA, *Random variables and computers*. Transaction of the third Prague Conference 1962 on information theory, statistical decision functions and random process, NCSAV, Praha, 1964, 499-512.
- [15] J. HAWEL, *Devices for random process generation and their application*. Proceedings of JUREMA XIV, Zagreb, 1969, vol. 3, 5-27.