ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1976

Seria: AUTOMATYKA z. 35 Nr kol. 480

Marian ADAMSKI

ALGEBRAICZNA I TABLICOWA METODA WYZNACZANIA FUNKCJI WZBUDZEŃ

Streszczenie. W pracy przedstawiono pewne proste metody wyznaczania funkcji wzbudzeń automatów elementarnych (przerzutników). Podano opisy algorytmów i przykłady obliczeń.

1. Wstęp

W niniejszej pracy opisano sposób algebraicznego wyznaczania funkcji wzbudzeń, łączący elementy metod [8] oraz [3, 9]. Proponowany algorytm różni się od tych metod przede wszystkim odmiennym sposobem szukania zbiorów $\underline{F}_i^{00}$, $\underline{F}_i^{01}$, $\underline{F}_i^{10}$, $\underline{F}_i^{11}$.

Praca zawiera również odmianę metody tablicowej, przedstawionej w [4,5] i jej algebraiczną transformację.

Zalety proponowanych metod omówiono w rozdz. 6.

2. Oznaczenia

W pracy przyjęto następujące oznaczenia:

2.1. $\underline{X} = (x_1, x_2, \ldots, x_r, \ldots, x_m)$ - stan wejść automatu; m - liczba wejść, $x_r \in \{0,1\}$.

2.2. $\underline{S} = (Q_1, Q_2, \ldots, Q_i, \ldots, Q_n)$ - stan wewnętrzny automatu; n - liczba automatów elementarnych (elementów pamięciowych) $Q_i \in \{0,1\}$.

2.3. $Q_i' = f_i(\underline{S}, \underline{X})$, $i = 1,2,\ldots,n$ - kodowane funkcje przejść.

2.4. $N(\underline{S}, \underline{X}) = Q_1 \cdot 2^{m+n-1} + Q_2 \cdot 2^{m+n-2} + \ldots + Q_i \cdot 2^{m+n-1} + \ldots + Q_n \cdot 2^m + x_1 \cdot 2^{m-1} + x_2 \cdot 2^{m-2} + \ldots + x_r \cdot 2^{m-r} + \ldots + x_m \cdot 2^0$.

- numer ciągu wejściowego funkcji 2.3, numer stanu całkowitego $\langle \underline{S}, \underline{X} \rangle$ automatu.

2.5. $\underline{F}_i^0$, $\underline{F}_i^1$, $\underline{F}^{\emptyset}$ - zbiory numerów ciągów wejściowych, dla których funkcje przejść 2.3 mają odpowiednio wartości 0, 1, $\emptyset$ (obojętną).

2.6. $f_i = \sum\left[\underline{F}_i^1, (\underline{F}^{\emptyset})\right] = \mathcal{N}\left[\underline{F}_i^0, (\underline{F}^{\emptyset})\right]$

$\bar{f}_i = \mathcal{N}\left[\underline{F}_i^1, (\underline{F}^{\emptyset})\right] = \sum\left[\underline{F}_i^0, (\underline{F}^{\emptyset})\right]$

- funkcje przejść 2.3 f_i i $\bar{f}_i$ w postaci numerycznej.

3. Metoda algebraiczna

Warunki, przy których i-ty automat elementarny przechodzi ze stanu $Q_i = 0$ do $Q_i' = 0$, z $Q_i = 0$ do $Q_i' = 1$, z $Q_i = 1$ do $Q_i' = 0$ oraz z $Q_i = 1$ do $Q_i' = 1$ określają następujące funkcje [8]:

$$
\begin{aligned}
f_i^{00}(\underline{S}, \underline{X}) &= 1 \Longleftrightarrow (Q_i = 0) \wedge (Q_i' = 0) \\
f_i^{01}(\underline{S}, \underline{X}) &= 1 \Longleftrightarrow (Q_i = 0) \wedge (Q_i' = 1) \\
f_i^{10}(\underline{S}, \underline{X}) &= 1 \Longleftrightarrow (Q_i = 1) \wedge (Q_i' = 0) \\
f_i^{11}(\underline{S}, \underline{X}) &= 1 \Longleftrightarrow (Q_i = 1) \wedge (Q_i' = 1)
\end{aligned}
\tag{3.1}
$$

Funkcje (3.1) można podać w postaci numerycznej, wyliczając numery konstytuent jedności [7, 8, 9] tych funkcji zgodnie ze wzorem (2.4):

$$
\begin{aligned}
f_i^{00} &= \sum\left[\underline{F}_i^{00}\right] \\
f_i^{01} &= \sum\left[\underline{F}_i^{01}\right] \\
f_i^{10} &= \sum\left[\underline{F}_i^{10}\right] \\
f_i^{11} &= \sum\left[\underline{F}_i^{11}\right]
\end{aligned}
\tag{3.2}
$$

Słuszne są następujące równości:

$$
\begin{aligned}
\underline{F}_i^0 &= \underline{F}_i^{00} \cup \underline{F}_i^{10} \\
\underline{F}_i^1 &= \underline{F}_i^{11} \cup \underline{F}_i^{01}
\end{aligned}
\tag{3.3}
$$

Znajomość zbiorów $\underline{F}_i^{00}$, $\underline{F}_i^{01}$, $\underline{F}_i^{10}$, $\underline{F}_i^{11}$ pozwala wyznaczyć funkcje wzbudzeń i-go przerzutnika na podstawie wzorów [3, 9] (w porównaniu z [3, 9] zmieniono oznaczenia):

$$
\begin{aligned}
D_i &= \sum\left[\underline{F}_i^{11},\ \underline{F}_i^{01},\ (\underline{F}^{\emptyset})\right] \quad \text{lub} \quad D_i = \prod\left[\underline{F}_i^{00},\ \underline{F}_i^{10},\ (\underline{F}^{\emptyset})\right] \\
T_i &= \sum\left[\underline{F}_i^{01},\ \underline{F}_i^{10},\ (\underline{F}^{\emptyset})\right] \quad \text{lub} \quad T_i = \prod\left[\underline{F}_i^{11},\ \underline{F}_i^{00},\ (\underline{F}^{\emptyset})\right] \\
S_i &= \sum\left[\underline{F}_i^{01},\ (\underline{F}_i^{11},\ \underline{F}^{\emptyset})\right] \quad \text{lub} \quad S_i = \prod\left[\underline{F}_i^{10},\ \underline{F}_i^{00},\ (\underline{F}_i^{11},\ \underline{F}^{\emptyset})\right] \\
R_i &= \sum\left[\underline{F}_i^{10},\ (\underline{F}_i^{00},\ \underline{F}^{\emptyset})\right] \quad \text{lub} \quad R_i = \prod\left[\underline{F}_i^{11},\ \underline{F}_i^{01},\ (\underline{F}_i^{00},\ \underline{F}^{\emptyset})\right] \\
J_i &= \sum\left[\underline{F}_i^{01},\ (\underline{F}_i^{10},\ \underline{F}_i^{11},\underline{F}^{\emptyset})\right] \text{lub} \quad J_i = \prod\left[\underline{F}_i^{00},\ (\underline{F}_i^{11},\ \underline{F}_i^{10},\ \underline{F}^{\emptyset})\right] \\
K_i &= \sum\left[\underline{F}_i^{10},\ (\underline{F}_i^{01},\ \underline{F}_i^{00},\underline{F}^{\emptyset})\right] \text{lub} \quad K_i = \prod\left[\underline{F}_i^{11},\ (\underline{F}_i^{01},\ \underline{F}_i^{00},\ \underline{F}^{\emptyset})\right]
\end{aligned}
\tag{3.4}
$$

Zbiory $\underline{F}_i^{00}$, $\underline{F}_i^{01}$, $\underline{F}_i^{10}$, $\underline{F}_i^{11}$ można określić na podstawie kodowanej tablicy przejść (tablicy stanów automatu), porównując wartość $Q_i' = f_i(\underline{S}, \underline{X})$ z wartością $Q_i'(\underline{S})$ [3.9]. $Q_i(\underline{S})$ oznacza tu wartość Q_i dla stanu $\underline{S}$.

Metodę algebraiczną wyznaczania tych zbiorów przedstawiono w [8]. Metoda ta jest dosyć złożona (dzielenie, obliczanie funkcji entier, badanie parzystości), zwłaszcza w przypadku projektowania ręcznego.

W niniejszej pracy zaproponowano metodę algebraiczną, bazującą bezpośrednio na zależnościach (3.1).

Zbiór $\left\{N(\underline{S}, \underline{X})\right\} = \underline{N}$ pokrywa się ze zbiorem liczb $\left\{0,1,2,\ldots,2^{n+m}-1\right\}$ Ponadto, dla $i = 1,2,\ldots,n$ zachodzi:

$$\underline{N} = \underline{F}_i^0 \cup \underline{F}_i^1 \cup \underline{F}^{\emptyset} = \underline{F}_i^{00} \cup \underline{F}_i^{11} \cup \underline{F}_i^{01} \cup \underline{F}^{\emptyset} \tag{3.5}$$

Zmienna Q_i dzieli zbiór $\underline{N}$ na dwa podzbiory $\underline{N}_i^0$ i $\underline{N}_i^1$. W naturalnym kodzie wagowym wszystkich $N \in \underline{N}_i^0$ występuje $Q_i = 0$, natomiast w kodzie każdego $N \in \underline{N}_i^1$ występuje $Q_i = 1$.

Z zależności (3.1) wynika, że:

$$\underline{F}_i^{00} = \underline{N}_i^0 \cap \underline{F}_i^0 \tag{3.6}$$

$$\underline{F}_i^{01} = \underline{N}_i^0 \cap \underline{F}_i^1 \tag{3.7}$$

$$\underline{F}_i^{10} = \underline{N}_i^1 \cap \underline{F}_i^0 \tag{3.8}$$

$$\underline{F}_i^{11} = \underline{N}_i^1 \cap \underline{F}_i^1 \tag{3.9}$$

Zbiory $\underline{N}_i^0$ oraz $\underline{N}_i^1$ wyznacza się w następujący sposób:

$$\underline{N}_i^0 = \left\{ N : 2lg_i \leqslant N < (2l + 1)\, g_i \right\}$$

$$\underline{N}_i^1 = \underline{N} - \underline{N}_i^0 = \left\{ N : (2l + 1)\, g_i \leqslant N < 2(l+1)\, g_i \right\}$$

$$l = 0,1,2,\ldots,L_i \tag{3.10}$$

gdzie:

$$g_i = 2^{m+n-i}$$

$$L_i = 2^{i-1} - 1$$

Algorytm 1

Wyznaczenie funkcji wzbudzeń przerzutników na podstawie zależności (3.4), (3.6)-(3.10).

1. Wyznaczyć zbiory $\underline{F}_i^0$, $\underline{F}_i^1$ i $F_i^{\emptyset}$
   $i = 1,2,\ldots,n$, podać liczbę elementów pamięci n oraz liczbę wejść m.
2. Przyjąć $i = i_p = 1$, $p = 1$.
3. Obliczyć $g_i = 2^{m+n-i}$, $L_i = 2^{i-1} - 1$.
4. Określić zbiory $\underline{N}_i^0$ oraz $\underline{N}_i^1$ zgodnie z zależnościami (3.10).
5. Podzielić zbiór $\underline{F}_i^1$ na podzbiory $\underline{F}_i^{01}$ i $\underline{F}_i^{11}$, zgodnie z zależnościami (3.7) i (3.9).
6. Podzielić zbiór $\underline{F}_i^0$ na podzbiory $\underline{F}_i^{00}$ i $\underline{F}_i^{10}$, zgodnie z zależnościami (3.6) i (3.8).
7. Przyjąć $i = i_{p+1} = i_p + 1$. Jeśli $i > n$ przejść do punktu 8. Jeśli $i \leqslant n$ dokonać operacji podanych w punktach 3-7.
8. Wypisać w postaci numerycznej funkcje wzbudzeń przerzutników, $i = 1,2,\ldots,n$ (wzory (3.4)).

Przykład 1 (funkcje przejść zaczerpnięto z [2])

Wyznaczanie funkcji wzbudzeń wielowejściowych przerzutników $\overline{R}\overline{S}$ z elementów NAND.

1. $\underline{F}_1^1 = \{10\text{-}11,\ 14,\ 17,\ 20,\ 24\text{-}28,\ 30\}$

$\underline{F}_2^1 = \{1,\ 4,\ 8\text{-}12,\ 14,\ 24,\ 26\text{-}27,\ 30\}$

$\underline{F}^{\emptyset} = \{2\text{-}3,\ 5\text{-}7,\ 13,\ 15,\ 18\text{-}19,\ 21\text{-}23,\ 29,\ 31\}$

$\underline{F}_1^0 = \underline{N} - \underline{F}^{\emptyset} - \underline{F}_1^1 = \{0,\ 1,\ 4,\ 8\text{-}9,\ 12,\ 16\}$

$\underline{F}_2^0 = \underline{N} - \underline{F}^{\emptyset} - \underline{F}_2^1 = \{0,\ 16\text{-}17,\ 20,\ 25,\ 28\}$

$n = 2,\quad m = 3$

2. $i = i_1 = 1$

3. $g_1 = 2^{2+3-1} = 16,\quad L_1 = 2^{1-1} - 1 = 0$

4. $\underline{N}_1^0 = \{N : 0 \leqslant N < 16\}$

$\underline{N}_1^1 = \{N : 16 \leqslant N < 32\}$

5. 10 - 11 14, | 17, 20, 24-28, 30

$\underline{F}_1^{01}$ | $\underline{F}_1^{11}$

6. 0, 1, 4, 8-9, 12, | 16

$\underline{F}_1^{00}$ | $\underline{F}_1^{10}$

7. $i = i_2 = 2 \qquad i \leqslant 2$

3' $g_2 = 2^{2+3-2} = 8,\quad L_2 = 2^{2-1} - 1 = 1$

4' $\underline{N}_2^0 = \{N : (0 \leqslant N < 8) \vee (16 \leqslant N < 24)\}$

$\underline{N}_2^1 = \{N : (8 \leqslant N < 16) \vee (24 \leqslant N < 32)\}$

5' 1, 4, | 8-12, 14, || 24, 26-27, 30

$\underline{F}_2^{01}$ | $\underline{F}_2^{11}$ || $\underline{F}_2^{11}$

6' 0,	16-17, 20,	25, 28
$\underline{F}_2^{00}$	$\underline{F}_2^{00}$	$\underline{F}_2^{10}$

7' $i = i_3 = 3 \qquad i > 2$

8. $\bar{R}_1 = \sum\left[\underline{F}_1^{10}, (\underline{F}_1^{00}, \underline{F}^{\emptyset})\right] = \sum\left[16\ (0\text{-}9, 12\text{-}13, 15, 18\text{-}19, 21\text{-}23, 29, 31)\right]$

$\bar{S}_1 = \sum\left[\underline{F}_1^{01}, (\underline{F}_1^{11}, \underline{F}^{\emptyset})\right] = \sum\left[10, 11, 14(2\text{-}3, 5\text{-}7, 13, 15, 17\text{-}31)\right]$

$\bar{R}_2 = \sum\left[\underline{F}_2^{10}, (\underline{F}_2^{00}, \underline{F}^{\emptyset})\right] = \sum\left[25, 28\ (0, 2\text{-}3, 5\text{-}7, 13, 15\text{-}23, 29, 31)\right]$

$\bar{S}_2 = \sum\left[\underline{F}_2^{01}, (\underline{F}_2^{11}, \underline{F}^{\emptyset})\right] = \sum\left[1, 4\ (2\text{-}3, 5\text{-}15, 18\text{-}19, 21\text{-}24, 26\text{-}27, 29, 30, 31)\right]$

Bliższe określenie funkcji wzbudzeń następuje w procesie minimalizacji np. metodą Quine'a Mc Cluskeya

$\bar{R}_1 = \sum\left[0, 2, 16, 18\right] = \bar{Q}_2\, \bar{x}_1\, \bar{x}_3$

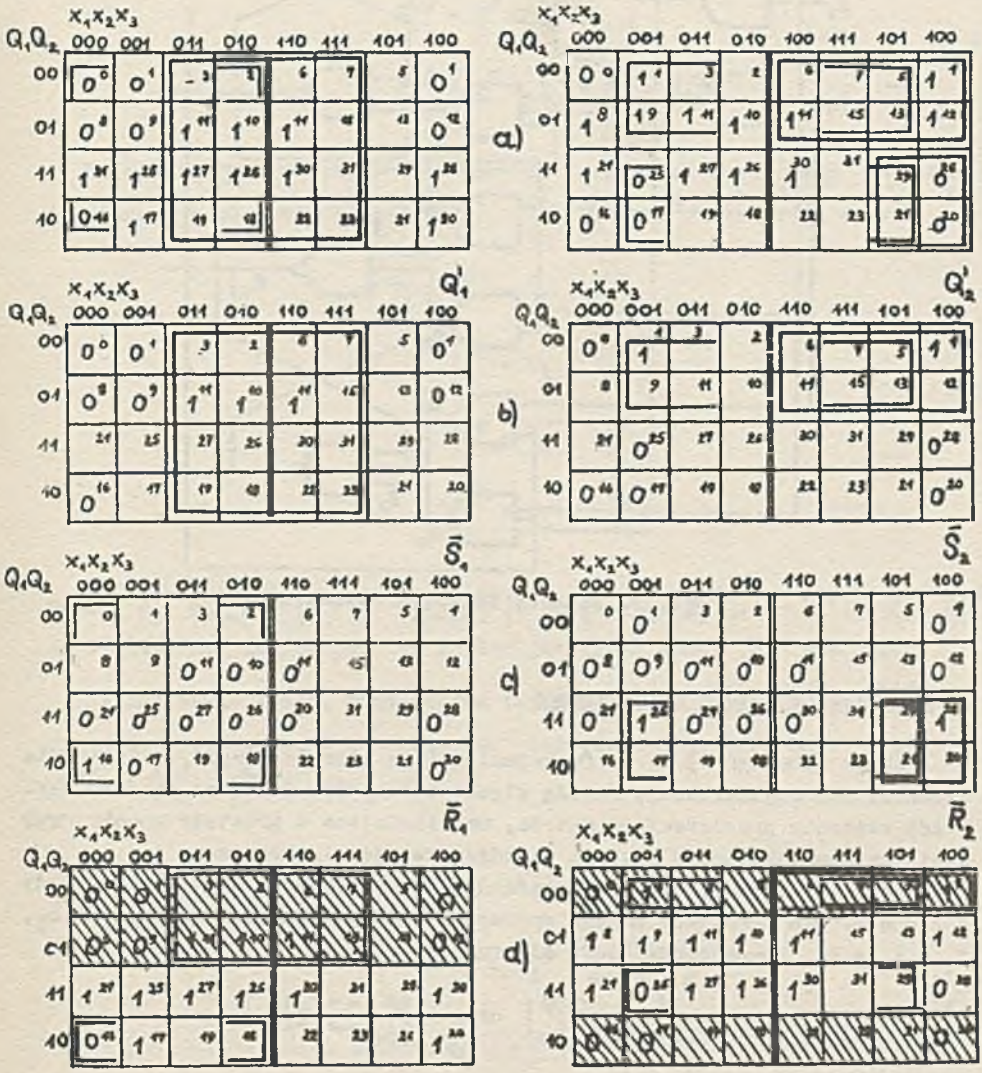
$\bar{S}_1 = \sum\left[2\text{-}3, 6\text{-}7, 10\text{-}11, 14\text{-}15, 18\text{-}19, 22\text{-}23, 26\text{-}27, 30\text{-}31\right] = x_2$

$\bar{R}_2 = \sum\left[17, 20\text{-}21, 25, 28\text{-}29\right] = Q_1\, \bar{x}_2\, x_3 + Q_1\, x_1\, \bar{x}_2 = \bar{R}_{21} + \bar{R}_{22}$

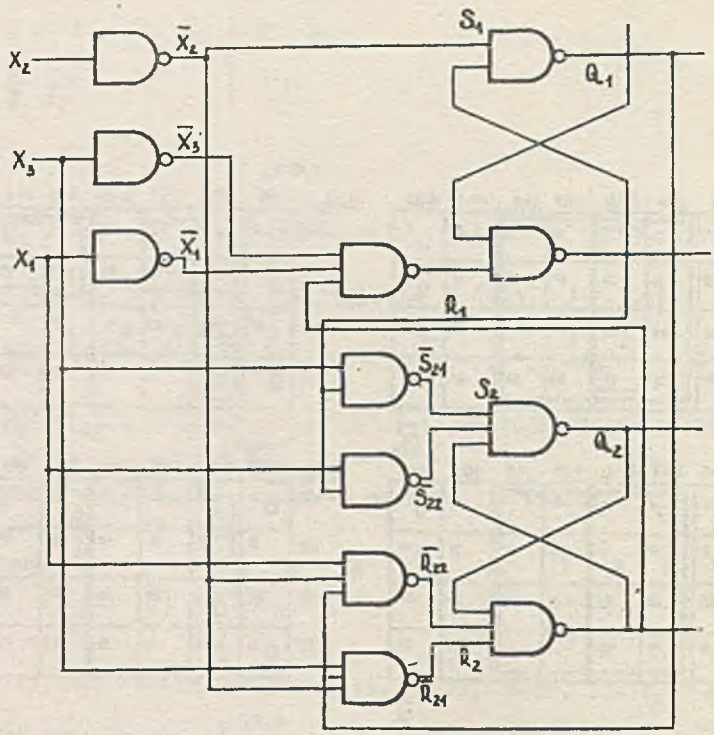
$\bar{S}_2 = \sum\left[1, 3\text{-}7, 9, 11, 12\text{-}15\right] = \bar{Q}_1\, x_3 + \bar{Q}_1\, x_1 = \bar{S}_{21} + \bar{S}_{22}$

W celu graficznej ilustracji toku postępowania podano siatki Karnaugha dla wejść $\bar{R}_1$, $\bar{S}_1$, $\bar{R}_2$, $\bar{S}_2$ przerzutników projektowanego układu (rys.1b,c)

Schemat logiczny automatu przedstawiono na rys. 2.



Rys. 1. Wyznaczanie funkcji wzbudzeń przerzutników $\bar{R}\bar{S}$
a) algorytm z [4, 5], b), c) algorytm 1, d) algorytm 4a



Rys. 2. Schemat logiczny automatu

4. Uproszczona metoda algebraiczna

Funkcje wzbudzeń (3.4) są funkcjami silnie nieokreślonymi, co utrudnia znacznie ich minimalizację matodą algebraiczną, np. Quine'a Mc Cluskeya. Niżej zostanie przedstawiona metoda, umożliwiająca w prostszy sposób otrzymanie zminimalizowanych funkcji wzbudzeń metodą algebraiczną.

Metodę uproszczoną można stosować dla przerzutników JK i RS, gdy R . S = 0. Dla skrócenia zapisu wprowadza się oznaczenia: $w_i = J_i = S_i$, $z_i = K_i = R_i$. Ponadto definiuje się funkcje

$$f_i^{0\emptyset} = \sum \left[\underline{F}_i^{0\emptyset} \right] \quad \text{oraz} \quad f_i^{1\emptyset} = \sum \left[\underline{F}_i^{1\emptyset} \right]:$$

$$\begin{aligned} f_i^{0\emptyset}(\underline{S}, \underline{X}) = 1 &\Longleftrightarrow (\langle \underline{S}, \underline{X} \rangle = \emptyset) \wedge (Q(\underline{S}) = 0) \\ f_i^{1\emptyset}(\underline{S}, \underline{X}) = 1 &\Longleftrightarrow (\langle \underline{S}, \underline{X} \rangle = \emptyset) \wedge (Q(\underline{S}) = 1), \end{aligned} \tag{4.1}$$

gdzie $\langle \underline{S}, \underline{X} \rangle = \emptyset$ - nieokreślony stan całkowity automatu.

Zbiory $\underline{F}_i^{0\emptyset}$ oraz $\underline{F}_i^{1\emptyset}$ wyznaczyć można z zależności:

$$F_i^{0\emptyset} = \underline{F}^{\emptyset} \cap \underline{N}_i^0$$
$$F_i^{1\emptyset} = \underline{F}^{\emptyset} \cap \underline{N}_i^1 = F^{\emptyset} - F_i^{0\emptyset}. \tag{4.2}$$

Wyłączając przed nawias $\bar{Q}_i$ lub Q_i z wyrażeń logicznych tworzących dysjunkcyjne postacie funkcji f_i^{01}, f_i^{10}, $f_i^{0\emptyset}$, $f_i^{1\emptyset}$, otrzymuje się:

$$f_i^{01} = \bar{Q}_i \cdot h_i^{01}$$
$$f_i^{10} = Q_i \cdot h_i^{10}$$
$$f_i^{0\emptyset} = \bar{Q}_i \cdot h_i^{0\emptyset} \tag{4.3}$$
$$f_i^{1\emptyset} = Q_i \cdot h_i^{1\emptyset},$$

gdzie: $h_i^{01} = \sum\left[\underline{H}_i^{01}\right]$, $h_i^{10} = \sum\left[\underline{H}_i^{10}\right]$, $h_i^{0\emptyset} = \sum\left[\underline{H}_i^{0\emptyset}\right]$, $h_i^{1\emptyset} = \sum\left[\underline{H}_i^{1\emptyset}\right]$ są wyrażeniami logicznymi nie zawierającymi zmiennej $\bar{Q}_1$ lub Q_i.

Na podstawie (4.3), wyznaczając funkcje f_i^{*01}, f_i^{*10}, $f_i^{*0\emptyset}$, $f_i^{*1\emptyset}$, w których $\bar{Q}_i$ jest zastąpione przez Q_i lub odwrotnie, definiuje się zbiory $\underline{F}_i^{*01}$, $\underline{F}_i^{*10}$, $\underline{F}_i^{*0\emptyset}$ oraz $F_i^{*1\emptyset}$:

$$f_i^{*01} = Q_i \cdot h_i^{01} = \sum\left[\underline{F}_i^{*01}\right]$$
$$f_i^{*10} = \bar{Q}_i \cdot h_i^{10} = \sum\left[\underline{F}_i^{*10}\right]$$
$$f_i^{*0\emptyset} = Q_i \cdot h_i^{0\emptyset} = \sum\left[\underline{F}_i^{*0\emptyset}\right] \tag{4.4}$$
$$f_i^{*1\emptyset} = \bar{Q}_i \cdot h_i^{1\emptyset} = \sum\left[\underline{F}_i^{*1\emptyset}\right]$$

Ze względu na to, że

$$\begin{aligned} \underline{F}_i^{*01} &\subset \underline{F}_i^{11} \\ \underline{F}_i^{*10} &\subset \underline{F}_i^{00} \\ \underline{F}_i^{*0\emptyset} &\subset \underline{F}_i^{11} \cup \underline{F}_i^{1\emptyset} \\ \underline{F}_i^{*1\emptyset} &\subset \underline{F}_i^{00} \cup \underline{F}_i^{0\emptyset} \end{aligned} \tag{4.5}$$

zależność (3.4) dla przerzutników JK i RS, gdy zachodzi R . S = 0, można zawsze przedstawić w postaci:

$$\begin{aligned} w_i &= \sum \left[\underline{F}_i^{01},\ F_i^{*01},\ (\underline{F}_i^{0\emptyset},\ F_i^{*0\emptyset})\right] = \sum \left[H_i^{01},\ (H_i^{0\emptyset})\right] \\ z_i &= \sum \left[F_i^{10},\ F_i^{*10},\ (\underline{F}_i^{1\emptyset},\ F_i^{*1\emptyset})\right] = \sum \left[H_i^{10},\ (H_i^{1\emptyset})\right] \end{aligned} \tag{4.6}$$

Konsekwencją tego jest, że funkcje wzbudzeń (4.6) nie zależą od Q_i lub $\bar{Q}_i$ i są odpowiednio równe:

$$\begin{aligned} w_i = w_i^1 \Big|_{Q_i = 0} &= \sum \left[\underline{W}_i^1,\ \underline{W}_i^{*1}\right] \\ z_i = z_i^1 \Big|_{Q_i = 1} &= \sum \left[\underline{Z}_i^1,\ \underline{Z}_i^{*1}\right] \end{aligned} \tag{4.7}$$

gdzie:

$$\begin{aligned} w_i^1 &= \sum \left[\underline{F}_i^{01},\ (\underline{F}_i^{0\emptyset})\right] = \sum \left[\underline{W}_i^1\right] \\ z_i^1 &= \sum \left[\underline{F}_i^{10},\ (\underline{F}_i^{1\emptyset})\right] = \sum \left[\underline{Z}_i^1\right] \end{aligned} \tag{4.8}$$

Zbiory $\underline{W}_i^1$ oraz $\underline{Z}_i^1$ określane są w procesie minimalizacji funkcji (4.8).

Numery konstytuent ze zbioru $\underline{W}_i^{*1}$ znajduje się, dodając do każdego numeru należącego do $\underline{W}_i^1$ liczbę $g_i = 2^{m+n-1}$.

Numery konstytuent ze zbioru $\underline{Z}_i^{*1}$ oblicza się, odejmując od każdego numeru należącego do $\underline{Z}_i^1$ liczbę $g_i = 2^{m+n-1}$.

W podobny sposób można otrzymać dualne wzory na obliczenie funkcji wzbudzeń w_i i z_i w postaci koniunkcyjnej:

$$w_i = \mathcal{K}\left[\underline{W}_i^0, \underline{W}_i^{*0}\right] = w_i^0 \Big|_{Q_i = 0}$$
$$z_i = \mathcal{K}\left[\underline{Z}_i^0, \underline{Z}_i^{*0}\right] = z_i^0 \Big|_{Q_i = 1} \tag{4.9}$$

gdzie:

$$w_i^0 = \mathcal{K}\left[\underline{F}_i^{00}, (\underline{F}_i^{0\emptyset})\right]$$
$$z_i^0 = \mathcal{K}\left[\underline{F}_i^{11}, (\underline{F}_i^{1\emptyset})\right] \tag{4.10}$$

Numery konstytuent zera należące do zbiorów $\underline{W}_i^{*0}$ oraz $\underline{Z}_i^{*0}$ oblicza się w ten sam sposób jak poprzednio $\underline{W}_i^{*1}$ oraz $\underline{Z}_i^{*1}$.

Algorytm 2a

$i = 1,2,\ldots n$

1. Wyznaczyć zbiory $\underline{F}_i^{01}$, $\underline{F}_i^{10}$, $F_i^{0\emptyset}$, $\underline{F}_i^{1\emptyset}$ (metodą tablicową) lub na podstawie wzorów (3.7), (3.8), (4.2).
2. Minimalizując funkcje logiczne (4.8), określić zbiory $\underline{W}_i^1$ oraz $\underline{Z}_i^1$. Zbiory te przedstawić jako zestawienie konstytuent jedności w postaci numerycznej.
3. Jeśli potrzebna jest numeryczna postać funkcji wzbudzeń (4.7) przejść do punktu 4, jeśli nie, przejść do punktu 7.
4. Do każdego numeru ze zbioru $\underline{W}_i^1$ dodać liczbę $g_i = 2^{m+n-i}$. Otrzymane numery tworzą zbiór $\underline{W}_i^{*1}$.
5. Od każdego numeru ze zbioru $\underline{Z}_i^1$ odjąć liczbę g_i. Otrzymane numery tworzą zbiór Z_i^{*1}.
6. Wypisać funkcje logiczne w_i i z_i w postaci numerycznej.
7. Podać wyrażenia logiczne na w_i i z_i: w konstytuentach jedności ze zbiorów $\underline{W}_i^1$ i $\underline{Z}_i^1$, pominąć zmienne $\bar{Q}_i$ oraz Q_i.

Algorytm 2b

$i = 1,2,\ldots,n$

1. Wyznaczyć zbiory $\underline{F}_i^{00}$, $\underline{F}_i^{11}$, $\underline{F}_i^{0\emptyset}$, $\underline{F}_i^{1\emptyset}$ (metodą tablicową lub na podstawie wzorów (3.6), (3.9), (4.2).

2. Minimalizując funkcje logiczne (4.10), określić zbiory $\underline{W}_i^0$ oraz $\underline{Z}_i^0$. Zbiory te przedstawić jako zestawienie konstytuent zera w postaci numerycznej.

3. Jeśli potrzebna jest numeryczna postać funkcji wzbudzeń (4.10), przejść do punktu 4, jeśli nie, przejść do punktu 7.

4. Do każdego numeru ze zbioru $\underline{W}_i^0$ dodać liczbę $g_i = 2^{m+n-i}$. Otrzymane numery tworzą zbiór $\underline{W}_i^{*0}$.

5. Od każdego numeru ze zbioru $\underline{Z}_i^0$ odjąć liczbę g_i. Otrzymane numery tworzą zbiór $\underline{Z}_i^{*0}$.

6. Wypisać funkcje logiczne w_i i z_i w postaci numerycznej.

7. Podać wyrażenia logiczne na w_i i z_i: w konstytuentach zera ze zbiorów $\underline{W}_i^0$ oraz $\underline{Z}_i^0$ pominąć zmienne Q_i oraz λ_i.

Przykład 2

Wyznaczenie funkcji wzbudzeń w_1 i z_1 przerzutnika ($i = 1$) z przykładu 1.

1. $\underline{F}_1^{01} = \{10, 11, 14\}$

$\underline{F}_1^{10} = \{16\}$

$F_1^{0\emptyset} = \{2\text{-}3, 5\text{-}7, 13, 15\}$

$F_1^{1\emptyset} = \{18\text{-}19, 21\text{-}23, 29, 31\}$

2. $\underline{W}_1^1$: 2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15 $[1, 4, 8]^*$

$\underline{Z}_1^1$: 16, 18 $[2]^*$

3. Tak

4. $g_1 = 2^{2+3-1} = 16$

$\underline{W}_1^{*1}$ = 18, 19, 22, 23 27, 30, 31 $[1, 4, 8]^*$

5. $\underline{z}_1^{*1} = 0, 2 \quad [2]^*$

6. $w_1 = \sum [2\text{-}3,\ 6\text{-}7,\ 10\text{-}11,\ 14\text{-}15,\ 18\text{-}19,\ 22\text{-}23,\ 27,\ 30,\ 31]$

$z_1 = \sum [0,\ 2,\ 16,\ 18]$

7. $w_1 = \cancel{Q_1} \cdot \cancel{Q_2}\, \cancel{x_1}\ x_2\, \cancel{x_3} = x_2$

$z_1 = \cancel{Q_1}\, \bar{Q}_2\, \bar{x}_1\, \cancel{x_2}\, \bar{x}_3 = \bar{Q}_2\, \bar{x}_1\, \bar{x}_3$

5. Uproszczona metoda tablicowa

Uproszczona metoda tablicowa jest tablicowym odpowiednikiem algorytmów 2.

Algorytm 3a

$i = 1,2,\ldots,n$

1. Podzielić tablicę Karnaugha funkcji przejść $Q_1' = f_i\ (\underline{S}, \underline{X})$ (np. przez zakreskowanie) na części o współrzędnej $Q_i = 0$ oraz $Q_i = 1$.

2. Zakreślić grupy jedynek w obszarze $Q_i = 0$ i pomijając zmienną $\bar{Q}_i$ w odpowiadających tym grupom wyrażeniach logicznych, wyznaczyć funkcję wzbudzeń w_i w postaci dysjunkcyjnej.

3. Zakreślić grupy zer w obszarze $Q_i = 1$, a następnie uważając je za grupy jedynkowe wyznaczyć odpowiadającą im dysjunkcyjną postać wyrażeń logicznych, pomijając równocześnie zmienną Q_i. Otrzymuje się w ten sposób funkcję z_i.

Algorytm 3b

$i = 1,2,\ldots,n$

1. Jak w algorytmie 3a.

2. Zakreślić grupy zer w obszarze $Q_i = 0$ i pomijając zmienną Q_i w odpowiadających tym grupom wyrażeniach logicznych wyznaczyć funkcję wzbudzeń w_i w postaci koniunkcyjnej.

3. Zakreślić grupy jedynek w obszarze $Q_i = 1$, a następnie uważając je za grupy zerowe wyznaczyć odpowiadającą im koniunkcyjną postać wyrażeń logicznych, pomijając równocześnie zmienną $\bar{Q}_i$. Otrzymuje się w ten sposób funkcję z_i.

Przykład 3

Wyznaczenie funkcji wzbudzeń automatu z przykładu 1 - rys. 2d. Dla porównania podano na rys. 1a sposób wyznaczania funkcji wzbudzeń metodą z [4]

6. Wnioski

Przedstawiona w niniejszej pracy metoda algebraiczna (algorytm 1) pozwala w łatwiejszy sposób od podanego w [8] wyznaczyć zbiory $\underline{F}_i^{00}$, $\underline{F}_i^{01}$, $\underline{F}_i^{10}$, $\underline{F}_i^{11}$, co uwidacznia się zwłaszcza w przypadku projektowania ręcznego (przykład 1). O celowości realizowania tej metody na maszynie cyfrowej decyduje, podobnie jak w przypadku metody algebraicznej z [8], stosowany w poprzednich lub następnych etapach syntezy zapis funkcji przełączających.

Funkcje wzbudzeń przerzutników JK i RS można wyznaczać algebraiczną metodą uproszczoną, która pozwala zredukować liczbę kroków przy minimalizacji co najmniej o połowę (algorytmy 2a i 2b). W ogólnym przypadku metoda ta prowadzi do rozwiązań quasi-optymalnych. Stosowanie tej metody podobnie jak metod [4-6] jest korzystne w przypadku projektowania układów asynchronicznych, gdyż wtedy przy określaniu funkcji wzbudzeń nie ma potrzeby tworzenia grup antyhazardowych (dowód w [1]). Ponadto, wówczas sygnał z drugiego wejścia przerzutnika jest zawsze dopełnieniem stanu wyjścia podstawowego [2, 6].

Algorytm 2a i 2b jest algebraicznym odpowiednikiem uproszczonej metody tablicowej.

Proponowana metoda tablicowa jest pewną odmianą sposobu postępowania podanego w [4-6]. W odróżnieniu od metod [4-6] pozwala on w łatwy sposób wyznaczyć zarówno postać dysjunkcyjną, jak i koniunkcyjną funkcji wzbudzeń, bezpośrednio z siatki zależności (Karnaugha).

Metodę algebraiczną uproszczoną, dającą takie same rezultaty jak sposób omawiany w [4-6] można stosować do tablic stanów o dowolnej liczbie wierszy i kolumn (również dla $n + m > 6$).

LITERATURA

[1] Kamionka-Mikuła H.: Przypadki nieszkodliwości hazardu statycznego w automatach sekwencyjnych. Archiwum Automatyki i Telemechaniki, 1971. Tom XVII, z. 1.

[2] Małysiak H.: Synteza automatów sekwencyjnych z zastosowaniem przerzutników. Praca doktorska wykonana w Katedrze Automatyki Procesów Przemysłowych - Politechnika Śląska. Gliwice 1969.

[3] Misiurewicz P., Perkowski M.: Teoria automatów. Materiały pomocnicze do ćwiczeń i laboratorium, Warszawa 1973, Wyd. Politechniki Warszawskiej.

[4] Pochopień B.: Określenie funkcji wzbudzeń przerzutników impulsowych oraz przerzutników JK i przerzutników T z siatek zależności. PAK, 1972, nr 11.

[5] Pochopień B.: Uproszczona metoda syntezy automatów sekwencyjnych z zastosowaniem przerzutników statycznych. PAK, 1972, nr 9.

[6] Pochopień B.: Algebraiczna metoda określania funkcji wzbudzeń przerzutników statycznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Automatyka, 1973, z. 23.

[7] Siwiński J.: Układy przełączające w automatyce. Warszawa 1968, WNT.

[8] Sosnowski J.: Wyznaczanie funkcji wzbudzeń automatów elementarnych. Archiwum Automatyki i Telemechaniki, 1972, tom XVII, z. 1.

[9] Traczyk W.: Układy cyfrowe automatyki. Warszawa 1974, WNT.

АЛГЕБРАИЧЕСКИЙ И ТАБЕЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ АВТОМАТОВ

Р е з ю м е

В статье представлен алгебраический и табельный метод определения функций возбуждения элементарных автомат в (триггеров).Приведены алгоритмы и примеры показывающие их действие.

THE ALGEBRAIC AND TABULAR METHODS FOR DETERMINING THE EXCITATION FUNCTIONS FOR MEMORY ELEMENTS

S u m m a r y

The paper presents some simple methods for determining the excitation functions for memory elements (flip-flops). Algorithms and examples have been given.