ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1971

Seria: AUTOMATYKA z. 19 Nr kol. 317

ANDRZEJ HŁAWICZKA

IMM O/Gliwice

IDENTYFIKACJA HAZARDU ORAZ JEGO ELIMINACJA W KOMBINACYJNYCH UKŁADACH LOGICZNYCH ZBUDOWANYCH Z ELEMENTÓW NOR

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodę identyfikacji i eliminacji statycznego hazardu za pomocą składania siatek Karnaugha w kombinacyjnych układach logicznych zrealizowanych na bazie elementów NOR. Wprowadzono i zdefiniowano pojęcie bezhazardowego prostego i złożonego implicentu. Podano liczne przykłady funkcji trzech czterech i pięciu zmiennych.

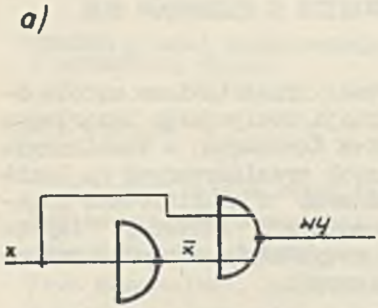
1. Wstęp

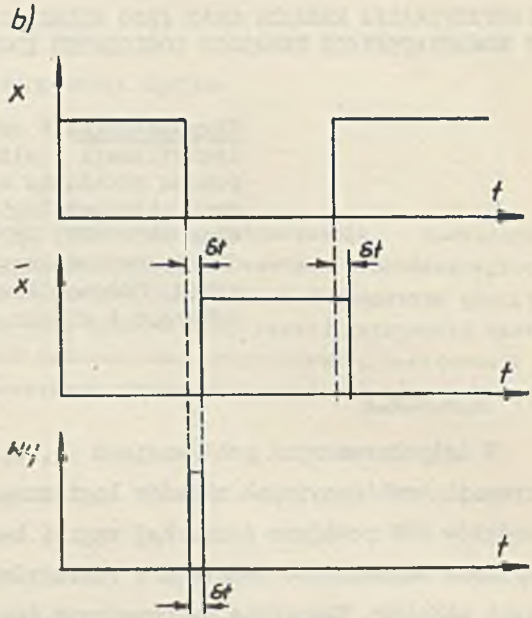
W dotychczasowych publikacjach (1, 2, 3, 4, 10) poświęconych faktoryzacji kombinacyjnych układów logicznego działania zrealizowanych z modułów NOR pomijano doniosłej wagi i bardzo istotne w układach sekwencyjnych zagadnienie związane z rzeczywistą pracą takich zminimalizowanych układów. Wszystkie wyprowadzone tam wzory itp. opierają się na stwierdzeniach zawartych w wyrażeniach:

$$X \cdot \bar{X} = 0 \quad \text{oraz} \quad X + \bar{X} = 1$$

Wyrażenia te są słuszne w danej określonej chwili przy założonej niezmienności wartości przyjmowanych przez zmienne. W rzeczywistości jednak wszelkiego rodzaju przekształcenia zachodzą na skutek zmian wartości zmiennych, które przebiegają w czasie rzeczywistym. W związku z tym w okresie zachodzącej zmiany powyższe wyrażenia mogą być nieprawdziwe, przyjmując znowu określoną wartość po zakończeniu przeprowadzenia zmiany.

I tak np. w układach zrealizowanych z NORów istnieją takie sytuacje w których sygnały osiągają ten sam element NOR w różnym czasie na skutek przechodzenia do niego dwoma różnymi drogami. Wskutek istniejącej różnicy w czasie między jednym dojściem sygnału, a drugim jest możliwość powstania wąskich pulsacji w niektórych punktach obwodu, natychmiast po zmianie argumentu. Na rys. 1a przedstawiono bezstykowy układ realizujący wyrażenie $X \cdot \bar{X} = 0$.





Rys. 1

W chwili zmiany sygnału na wejściu z 1 na 0 lub z 0 na 1 na skutek różnicy w czasie dojścia do elementu wyjściowego sygnału X i $\bar{X}$, na wyjściu pokaże się krótkotrwały sygnał "1" o czasie trwania δt. (rys. 1b).

To niepożądane zjawisko nazywane statycznym hazardem lub statyczną zawodnością strukturalną układu zostało już bardzo dokładnie omówione dla układów przełączających przekaźnikowych (stykowych) zarówno w literaturze krajowej (5, 6, 7) jak i zagranicznej, w której podano równocześnie sposoby jego eliminacji w drodze technicznej, jak również w drodze syntezy teoretycznej.

Dotychczasowe prace dotyczące hazardu w układach bezstykowych poświęcone były przede wszystkim układom zrealizowanym z elementów I, LUB oraz NIE. Sprawy hazardu w układach zbudowanych z elementów NOR potraktowane są raczej w tych pracach pobieżnie. Brak szczegółowej analizy hazardu w takich układach w dużym stopniu uzupełni niniejsza praca, która ma na celu przedstawienie sposobu identyfikacji hazardu i jego eliminacji.

2. Metoda identyfikacji hazardu statycznego przy pomocy składania siatek Karnaugha w układach kombinacyjnych zrealizowanych z elementów NOR

Większość układów logicznego działania zrealizowanych minimalnie lub nieminimalnie z elementów NOR, jak również pozostałe układy zrealizowane z tych elementów nieminimalnie można po drobnych modyfikacjach podzielić na charakterystyczne grupy modułów, co przykładowo przedstawiono dla dwóch funkcji przełączających na rys. 2. Ogólne postacie funkcji n-argumentowych zrealizowanych z elementów NOR podzielonych na takie charakterystyczne grupy modułów przedstawiono na rys. 3.

Obu tym schematom odpowiadają następujące algebraiczne wyrażenia[1]:

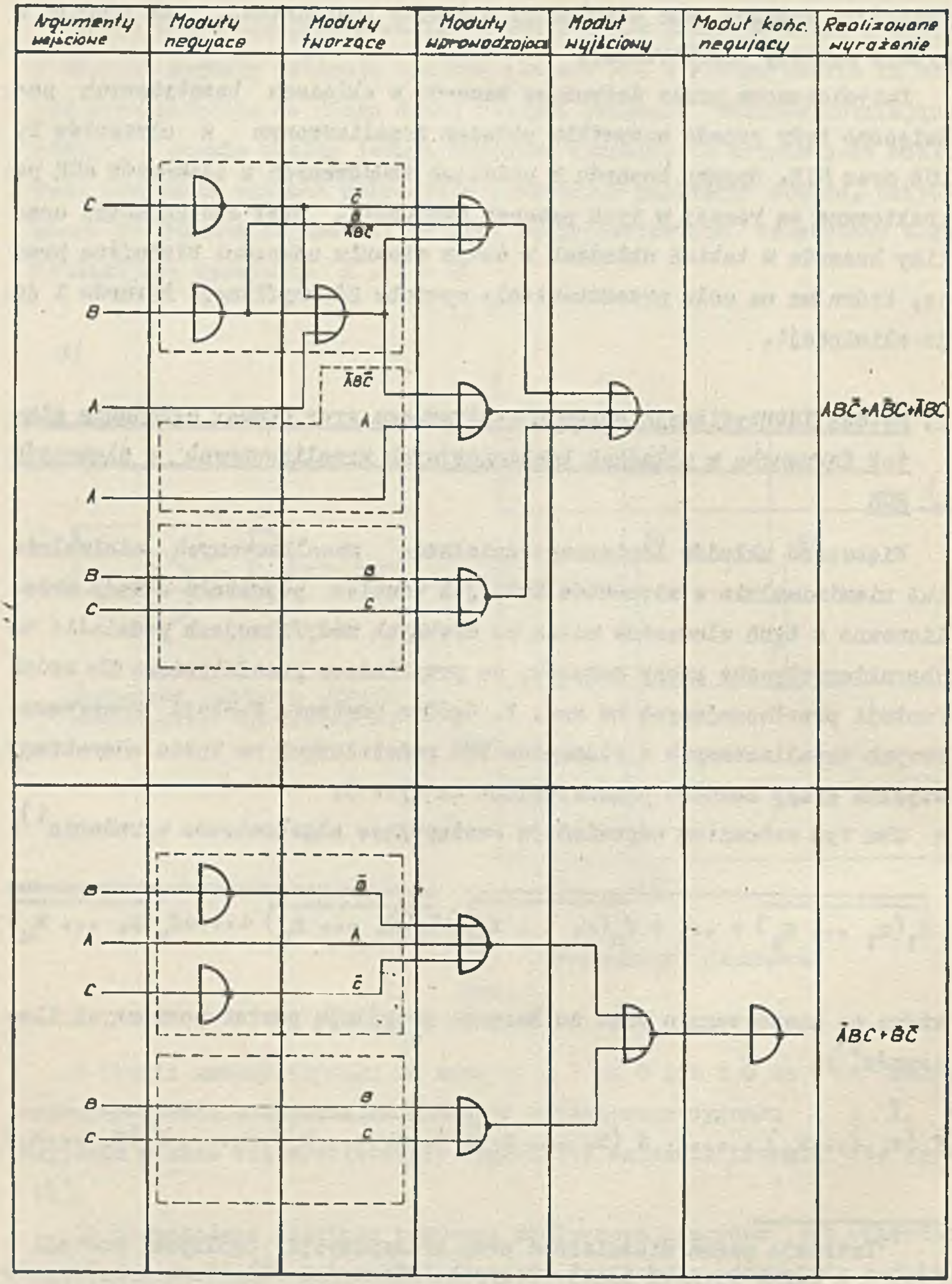
$$\overline{\overline{f_1(x_1 \dots x_n)} + \dots + \overline{f_m(x_1 \dots x_n)}}; \quad \overline{\overline{\overline{f_1(x_1 \dots x_n)} + \dots + \overline{f_m(x_1 \dots x_n)}}}$$

które po zastosowaniu praw de Morgana przyjmują postać poniższych iloczynów[2]:

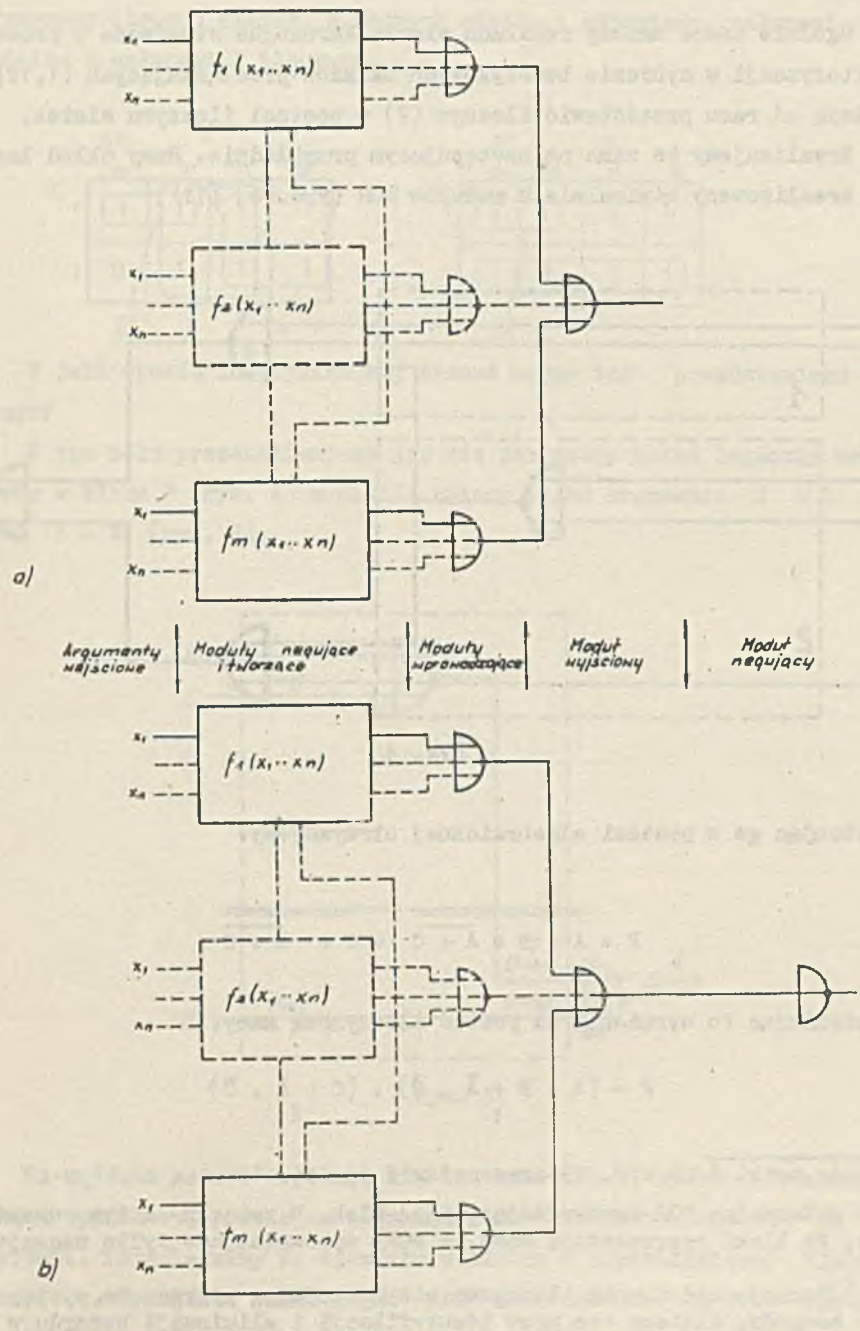
$$f_1(x_1 \dots x_n) \cdot \dots \cdot f_m(x_1 \dots x_n); \quad \overline{f_1(x_1 \dots x_n) \cdot \dots \cdot f_m(x_1 \dots x_n)}$$

---

[1] Istnieje pewna nieścisłość przy transpozycji ogólnych postaci z rys. 3 w formę wyrażeń algebraicznych. Mianowicie bloki na rys.3 przedstawiają składniki sumy, a nie sumę, które to działanie dokonuje się już w NORze wprowadzającym. Ponieważ jednocześnie w tymże samym NORze dokonuje się negacja sumy, nie można było inaczej przedstawić tej sumy



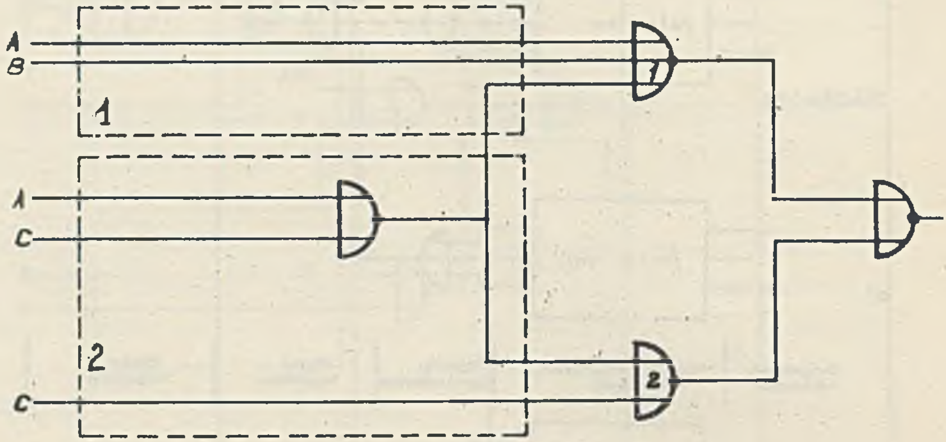
Rys. 2. Podział układów logicznego działania na charakterystyczne grupy modułów



Rys. 3. Ogólne postacie funkcji n-argumentowych zrealizowanych z modułów NOR

Ogólnie znane metody rozkładu siatki Karnaugha stosowane w procesie faktoryzacji w syntezie bezstykowych układów przełączających (1,12)pozwalają od razu przedstawić iloczyn (2) w postaci iloczynu siatek.

Zrealizujemy to samo na następującym przykładzie. Mamy układ logiczny zrealizowany minimalnie z modułów NOR (rys. 4) [1](11).



Rys. 4

Zapisując go w postaci algebraicznej otrzymujemy:

$$F = \overline{\overline{A + B + \overline{A + C}} + \overline{C + \overline{A + C}}}$$

Zamieniając to wyrażenie na postać iloczynową mamy:

$$F = \underset{1}{(A + B + \bar{A} . \bar{C})} . \underset{2}{(C + \bar{A} . \bar{C})}$$

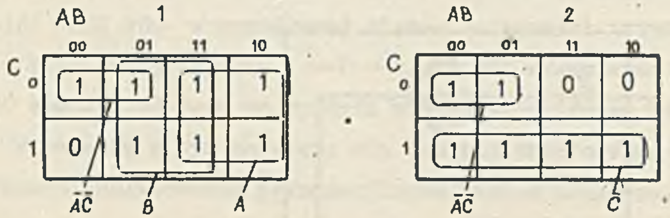
---

cd. notki 1 ze str. 19 oraz notka 2 ze str. 19

jak wyłączając NOR wprowadzający poza blok. W związku z tym umawiamy się, że bloki reprezentują sumę, a NORy wprowadzające tylko negację.

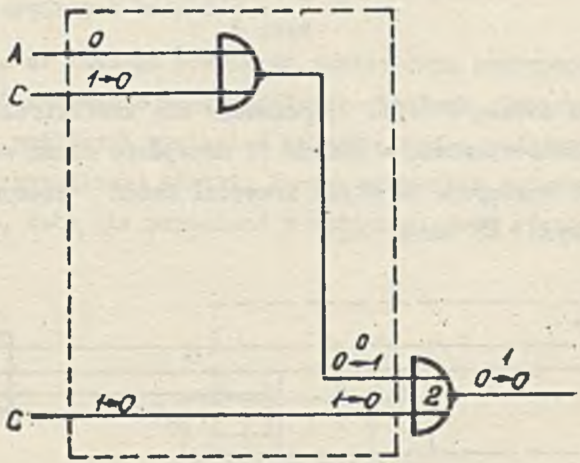
[2] Negacja nad drugim iloczynem nie ma żadnego wpływu na występowanie hazardu, dlatego też przy identyfikacji i eliminacji hazardu w układach z końcowym modułem negującym nie będziemy go w ogóle brali pod uwagę.

Tworzymy iloczyn siatek, z których siatka 1 odpowiada członowi 1, a siatka 2 członowi 2 iloczynu.



W jaki sposób identyfikujemy hazard mając tak przedstawiony iloczyn?

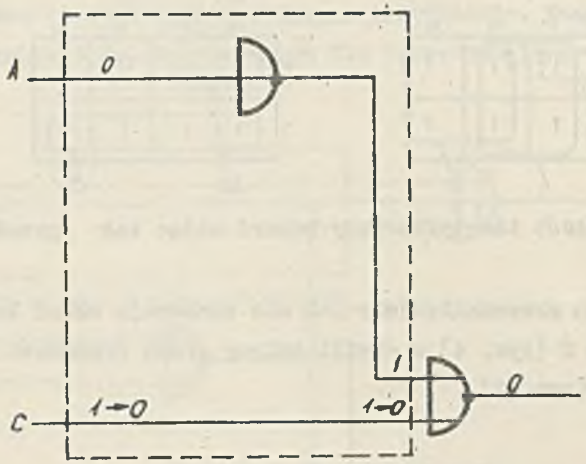
W tym celu przeanalizujemy jak się zachowuje układ logiczny narysowany w bloku 2 (rys. 4) w chwili zmiany stanu argumentu C z 1 na 0, gdy A = 0 (rys. 5).



Rys. 5

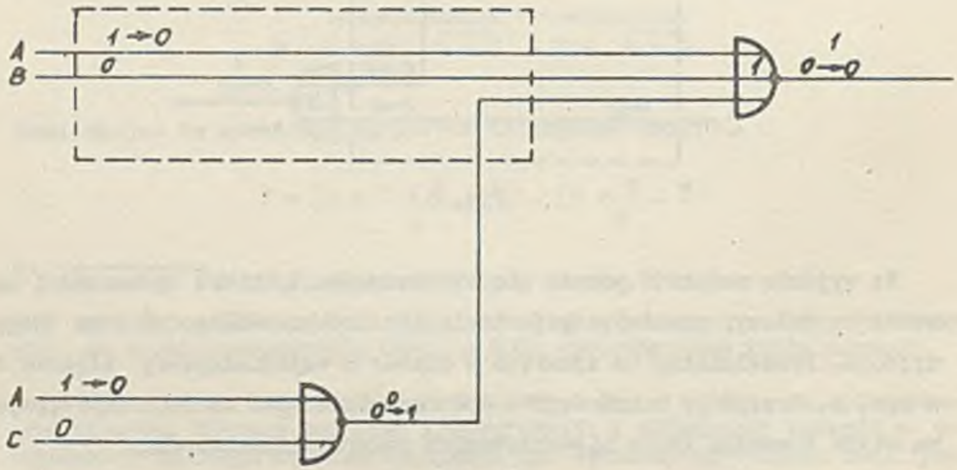
Na wyjściu modułu 2 pokaże się krótkotrwała 1, która przechodzi na moduł wyjściowy, powodując pojawienie się krótkotrwałego 0 na jego wyjściu. Prześledzimy to zjawisko w siatce 2 odpowiadającej blokowi 2 z rys. 4. Przejście stanu wejść ABC ze stanu 011 na 010 występuje na styku krawędzi dwóch niesprzężonych podgrup jedynkowych.

Przeanalizujemy teraz z kolei blok 1 z rys. 4 w chwili zmiany stanu argumentu A z 1 na 0, gdy B = 0 oraz C = 0.



Rys. 6

Na wyjściu modułu 1 (rys. 7) pokazuje się krótkotrwała jedynka. Prześledzimy to samo zjawisko w siatce 1. Przejście stanu wejść ABC ze stanu 100 na 000 występuje na styku krawędzi dwóch niesprzężonych podgrup jedynkowych $\overline{A}\overline{C}$ oraz A.



Rys. 7

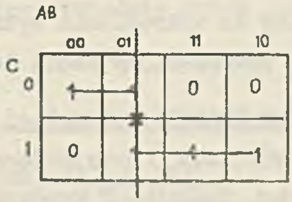
Gdy tą samą sytuację prześledzimy na wypadkowej siatce zależności uzyskanej w wyniku złożenia (wymnożenia) siatki 1 i 2 stwierdzamy, że krótkotrwały impuls 1 na wyjściu modułu 1 nie powoduje krótkotrwałego impulsu zerowego na wyjściu modułu wyjściowego, ponieważ dla stanu wejść ABC 100 w wypadkowej siatce zależności istnieje stan 0, czyli nie może być przejście 1→0→1. Innymi słowy stan wejść ABC równy 100 wymusza od razu na wyjściu modułu wyjściowego stan 0.

W związku z tym nasuwają się nam pierwsze ogólne wnioski dotyczące sposobu analizowania poszczególnych siatek iloczynu.

1. Na podstawie wypadkowej siatki zależności należy wyznaczyć miejsca (wykres) możliwych wystąpień hazardu między podgrupami jedynkowymi, który przenosi się na wyjście modułu wyjściowego.

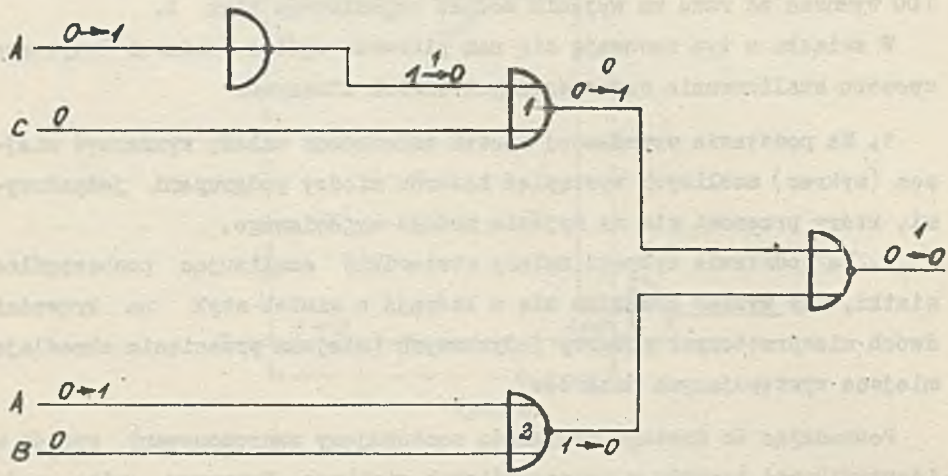
2. Na podstawie wykresu należy stwierdzić analizując poszczególne siatki, czy wykres przecina się w którejś z siatek styk na krawędzi dwóch niesprzężonych podgrup jedynkowych (miejsca przecięcia określają miejsca występujących hazardów).

Powracając do naszego przykładu zastosujemy zaproponowany sposób w identyfikacji hazardu w poszczególnych siatkach. Tworzymy więc najpierw wykres możliwych wystąpień hazardu między podgrupami jedynkowymi na podstawie wypadkowej siatki, łącząc wszystkie jedynki wspólną linią w ten sposób, żeby nie przecinać w żadnym miejscu stanów 0.



Pokrywając tak otrzymanym wykresem siatkę 1 stwierdzamy, że nie ma miejsc przecinania się styków krawędzi niesprzężonych podgrup z wykresem - czyli nie ma hazardu pojawiającego się na wyjściu układu. Pokrywając tym samym wykresem siatkę 2 identyfikujemy miejsce przecięcia między stanem wejść ABC 010, a 011, czyli tym samym identyfikujemy hazard pojawiający się na wyjściu układu.

Następnym krokiem, który należałoby uczynić, jest identyfikacja hazardu między podgrupami zerowymi, który jest wynikiem cpóźnień przy wchodzeniu sygnałów na różne moduły wprowadzające (np. układ na rys.8)



Rys. 8

W tym celu ponownie wykorzystujemy wypadkową siatkę, na której tym razem zaznaczamy miejsca mogących zaistnieć hazardów między podgrupami zerowymi, nazywając je wykresem możliwych wystąpień hazardów między podgrupami zerowymi.

Zanim jednak przystąpimy do wykreślenia wykresu możliwych wystąpień hazardów typu $0 \to 1 \to 0$ przypomnijmy sobie definicję implicentów.

Definicja 1. Implicentem funkcji bodowskiej $f(x_1 \ldots X_n)$ nazywa się każda funkcja boolowska $y(x_1 \ldots x_n)$ przyjmująca wartość 0 tylko w tych punktach w których wartości funkcji f wynoszą 0.

Definicja 2. Implicentem prostym funkcji $f(x_1 \ldots x_n)$ (prosta podgrupa zerowa) nazywamy natomiast elementarną sumę będącą implicentem, która zredukowana o dowolną literę przestaje być implicentem.

Np.

0	0	1	1
1	1	1	1

Do dalszych rozważań zdefiniujemy sobie wprowadzone w tej pracy przez autora nowe pojęcie implicentu złożonego.

Definicja 3. Implicentem złożonym funkcji $f(x_1...x_n)$ (złożoną pod grupę zerową) nazywamy każdy implicent, który nie jest prostym.

Np.

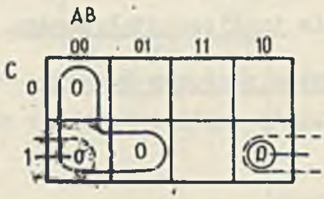
0	0	1	1
1	0	1	1

Dotychczasowe metody identyfikacji hazardu analizowały jedynie wzajemne położenie w siatce implicentów (implikantów) prostych, natomiast nie analizowały w ogóle wzajemnych położeń między implicentami złożonymi i prostymi, jak również między tylko implicentami złożonymi.

Powróćmy teraz do naszego poprzedniego przykładu. Rysujemy wykres możliwych wystąpień hazardu między implicentami. W tym celu na wypadkowej siatce zależności robimy obwiednie wokół implicentów.

C \ AB	00	01	11	10
0	1	1	0	0
1	0	1	1	1

Stwierdzamy, że nie istnieje hazard pomiędzy tymi podgrupami, ponieważ pomimo tego, że nie są ze sobą sprzęgnięte nie leżą w bezpośrednim sąsiedztwie nie stykając się obwiedniami. Gdyby zaistniała taka sytuacja, jak w siatce poniżej od razu stwierdzamy istnienie hazardu pomiędzy stanem wejść ABC 001, a 101.



Reasumując można metodę identyfikacji układów logicznych zbudowanych z elementów NOR podzielić na trzy następujące po sobie etapy (kroki).

Krok 1 - Zapis w formie algebraicznej identyfikowanego układu logicznego,
- przekształcenie wyrażenia algebraicznego w formę iloczynu,
- zapis algebraicznego iloczynu w formie iloczynu siatek.

Krok 2 - Naniesienie wykresu możliwych wystąpień hazardu typu 1→0→1 w każdej siatce iloczynu,
- naniesienie wykresu możliwych wystąpień hazardu typu 0→1→0

Krok 3 - Identyfikacja hazardu.

3. Eliminacja hazardu statycznego w układach logicznych zbudowanych z elementów NOR

Z każdego logicznego układu sekwencyjnego można wyodrębnić część kombinacyjną projektowaną przy pomocy znanych metod faktoryzacji, które jak już wspomniano we wstępie nie uwzględniają zjawisk hazardu. W związku z tym ostatnim większa część budowanych układów sekwencyjnych pracowałaby nieprawidłowo. W celu skorygowania pracy takich układów eliminuje się hazard statyczny z części kombinacyjnej. Taką eliminację hazardu można przeprowadzić w dwojaki sposób:

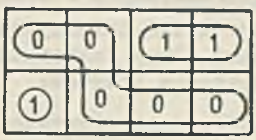
- laboratoryjny - polegający na wyszukaniu newralgicznych punktów układu logicznego za pomocą np. oscyloskopu (żmudna metoda) i sztucznym opóźnianiu sygnału na wyjściu elementu wprowadzającego hazard lub też polegający na dołączeniu na wyjściu sieci logicznej odpowiednich filtrów,
- projektowy - polegający na zmianie struktury układu logicznego, poprzez dobudowanie do istniejącego układu logicznego nowych elementów i torów sygnałowych, drogą analizy siatek Karnaugha.

Jeżeli chodzi o pierwszy sposób, to jest on obecnie powszechnie stosowany przy uruchamianiu wszelkich układów logicznych zbudowanych z elementów NOR. Jest to jednak metoda, która w zasadniczy sposób przedłuża czas przebiegu sygnału, co w dobie uzyskiwanych już na zachodzie czasów propagacji elementów scalonych rzędu kilku nanosekund wyklucza stosowanie tych metod do eliminacji hazardu w układach, gdzie zależy nam na dużych szybkościach przebiegów sygnałów (np. komputery).

Drugi sposób - projektowy dla układów zbudowanych z elementów NOR jest praktycznie rzecz biorąc jeszcze nie opracowany. W związku z tym prostą metodę eliminacji hazardu statycznego drogą projektową przy całkowitym wykorzystaniu metody identyfikacji hazardu przedstawionej w poprzednim punkcie przedstawiono poniżej na dwóch przykładach: Przed realizacją konkretnego przykładu zdefiniujemy sobie nowe pojęcia bezhazardowego implicentu, bezhazardowego implicentu prostego oraz bezhazardowego implicentu złożonego.

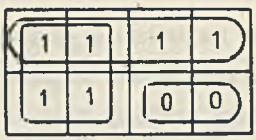
Definicja 4. Bezhazardowy implicent siatki to taki implicent, któremu odpowiada bezhazardowy stan wybranych w tej siatce implikantów.

Np.



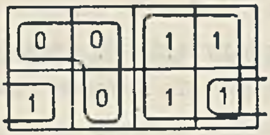
Definicja 5. Bezhazardowy implicent prosty siatki jest to taki implicent prosty, któremu odpowiada bezhazardowy stan wybranych w tej siatce implikantów.

Np.



Definicja 6. Bezhazardowy implicent złożony siatki jest to taki implicent bezhazardowy, który nie jest prosty.

Np.



Przejdźmy do przykładów[x].

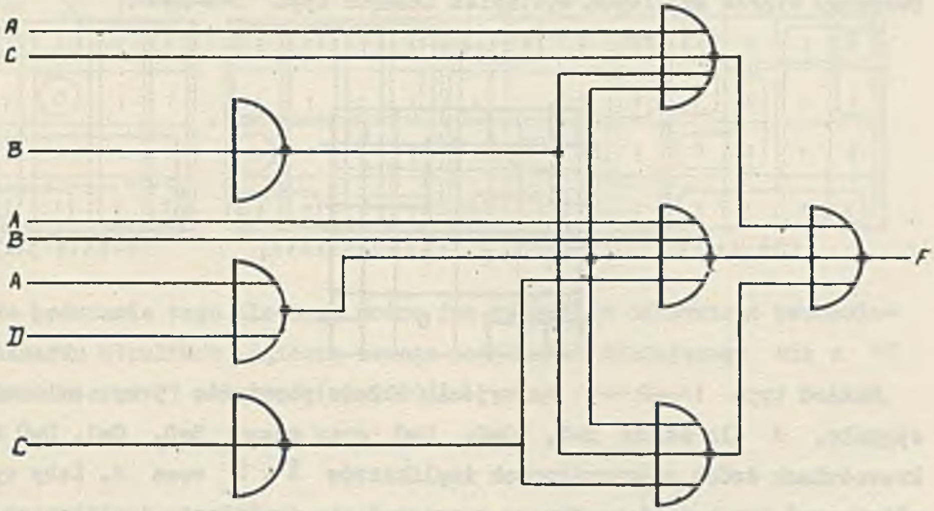
Mamy następujący kombinacyjny układ logiczny funkcji czterech zmiennych składających się z 7 elementów i 18 połączeń (rys. 9)

$$F = \overline{\overline{A + C + \bar{B} + \overline{AD}} + \overline{A + B + \overline{A\bar{D}} + \bar{C}} + \overline{\overline{A\bar{D}} + \bar{B} + \bar{C}}}$$

---

[x] Ze względu na trudności w uzyskaniu przykładów (jeszcze nie opanowana technika korzystania w tym zakresie z maszyn cyfrowych) optymalnie sfaktoryzowanych funkcji czterech i więcej zmiennych, posłużono się przykładem sfaktoryzowanego drogą intuicyjnego wyboru najbardziej minimalnej struktury logicznej. Przy faktoryzacji założono strukturę trzypoziomową oraz dwa kryteria kosztów:

- kryterium ilości elementów, jako pierwsze,
- kryterium ilości połączeń, jako drugie.



Rys. 9

Zamieniając to wyrażenie na postać iloczynową otrzymujemy:

$$F = (A + C + \bar{B} + \overline{AD}) \cdot (A + B + \overline{AD} + \bar{C}) \cdot (\bar{B} + \bar{C} + \overline{AD})$$

Tworzymy iloczyn trzech siatek

CD \ AB	00	01	11	10
00	1	1	1	1
01	1	0	1	1
11	1	1	1	1
10	1	1	1	1

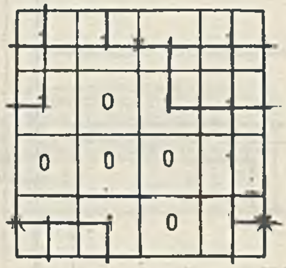
.

CD \ AB	00	01	11	10
00	1	1	1	1
01	1	1	1	1
11	0	1	1	1
10	1	1	1	1

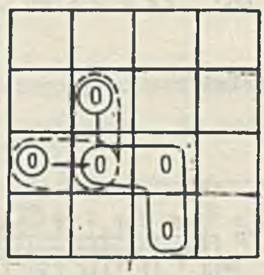
.

CD \ AB	00	01	11	10
00	1	1	1	1
01	1	1	1	1
11	1	0	0	1
10	1	1	0	1

Tworzymy wykres możliwych wystąpień hazardu typu $1 \to 0 \to 1$

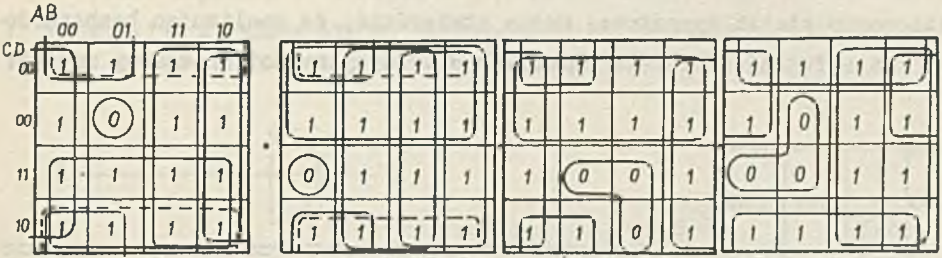


Hazard typu $1 \to 0 \to 1$ na wyjściu układu powstanie przy zmianach sygnału A dla stanu B=1, C=0, D=0 oraz stanu B=0, C=1, D=0 na krawędziach dwóch niesprzężonych implikantów $\bar{A} \cdot \bar{D}$ oraz A. Żeby wyeliminować ten hazard wystarczy sprzęgnąć oba implikanty implikantem D tworząc w ten sposób implicenty bezhazardowe. Narysujemy teraz wykres możliwych wystąpień hazardu typu $0 \to 1 \to 0$ na podstawie którego od



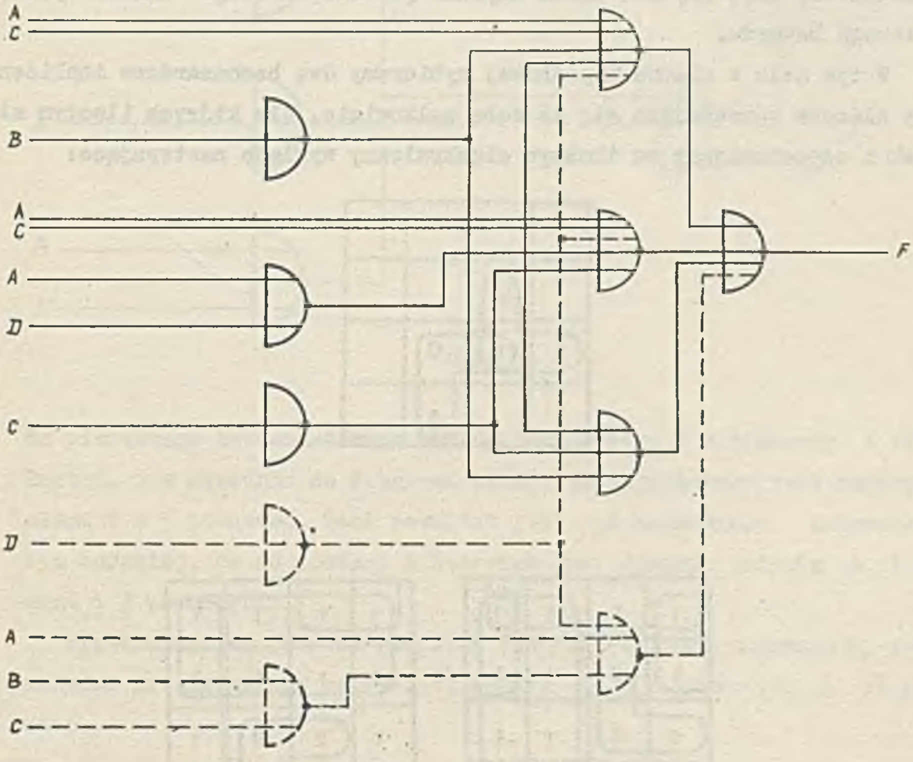
razu można zauważyć miejsca styków krawędzi dwóch implicentów prostych z implicentem złożonym, czyli hazard statyczny typu $0 \to 1 \to 0$. Ten hazard zlikwidować można przez wprowadzenie dodatkowych bezhazardowych implicentów prostych, bądź bezhazardowego implicentu złożonego, sprzęgającego niesprzęgnięte implicenty. Praktycznie wprowadzenie dodatkowego implicentu bezhazardowego przeprowadza się dołączając do iloczynu siatek nowy człon, czyli nową siatkę z bezhazardowym implicentem.

Zrealizujmy to w naszym przykładzie tworząc nowy iloczyn siatek.



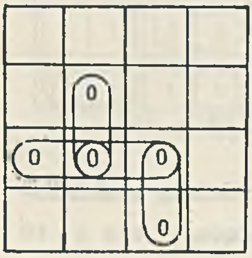
$(A+C+\bar{B}+\bar{A}\bar{D}+\bar{D})$ $(A+B+\bar{C}+\bar{A}\bar{D}+\bar{D})\cdot$ $(\bar{B}+\bar{C}+\bar{A}\bar{D})$ $(\bar{D}+A+\bar{B}\bar{C})$

Na podstawie tego iloczynu można już wykreślić całkowicie pozbawioną hazardu strukturę logiczną nowego przykładu składającego się z 10 elementów oraz 27 połączeń (rys. 10).



Rys. 10

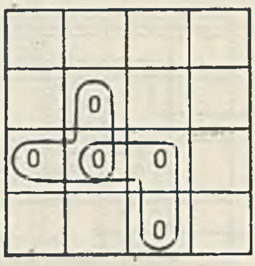
Na pierwszy rzut oka taki wynik zadowala, lecz po głębszym przeanalizowaniu siatki wypadkowej można stwierdzić, że realizując bezhazardowo naszą funkcję czterech zmiennych w tradycyjny dotychczasowy sposób:

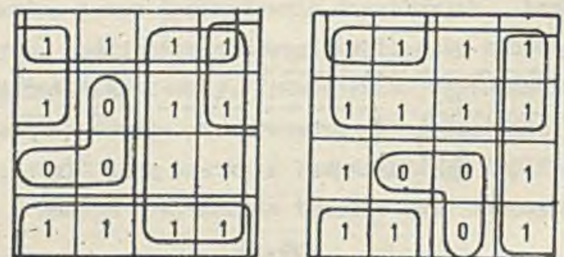


$$F = \overline{\overline{\bar{\bar{C}} + \bar{\bar{D}} + A} + \overline{A + \bar{\bar{B}} + \bar{\bar{D}}} + \overline{\bar{B} + \bar{\bar{C}} + \bar{\bar{D}}} + \overline{\bar{\bar{A}} + \bar{B} + \bar{\bar{C}}}}$$

otrzymujemy układ tańszy składający się z 9 elementów i 20 połączeń. Zastanówmy się, czy nie można uzyskać jeszcze tańszego układu pozbawionego hazardu.

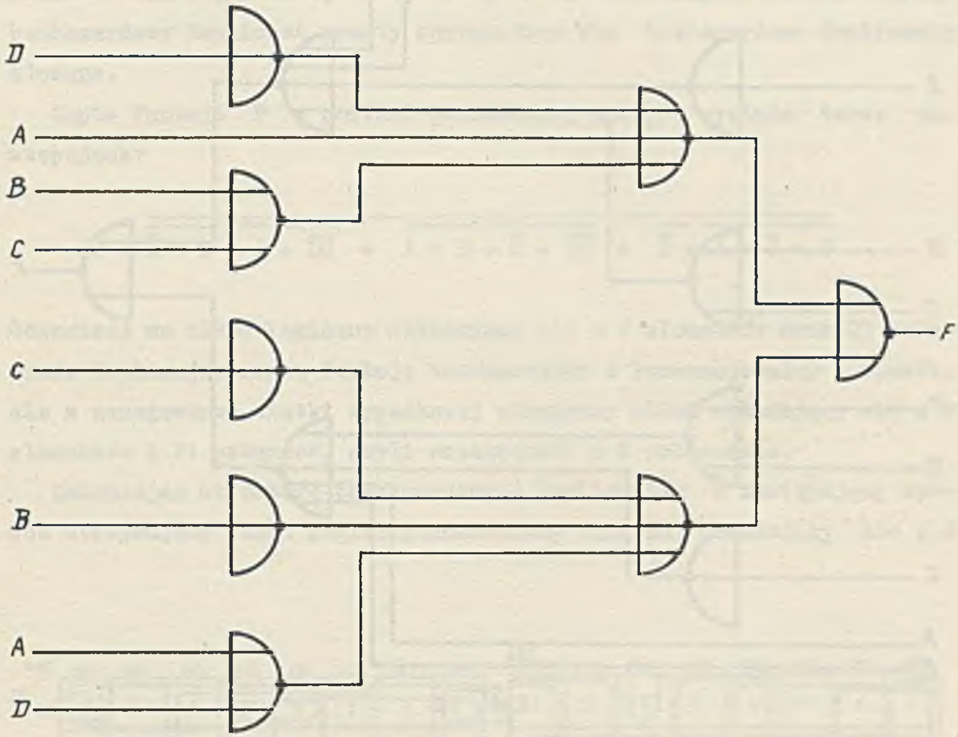
W tym celu w siatce wypadkowej wybierzmy dwa bezhazardowe implicenty złożone sprzęgające się ze sobą całkowicie, dla których iloczyn siatek i odpowiadający mu iloczyn algebraiczny wygląda następująco:





$$(\bar{D}+A+B\bar{C}) \cdot (\bar{C}+\bar{B}+\bar{A}\bar{D})$$

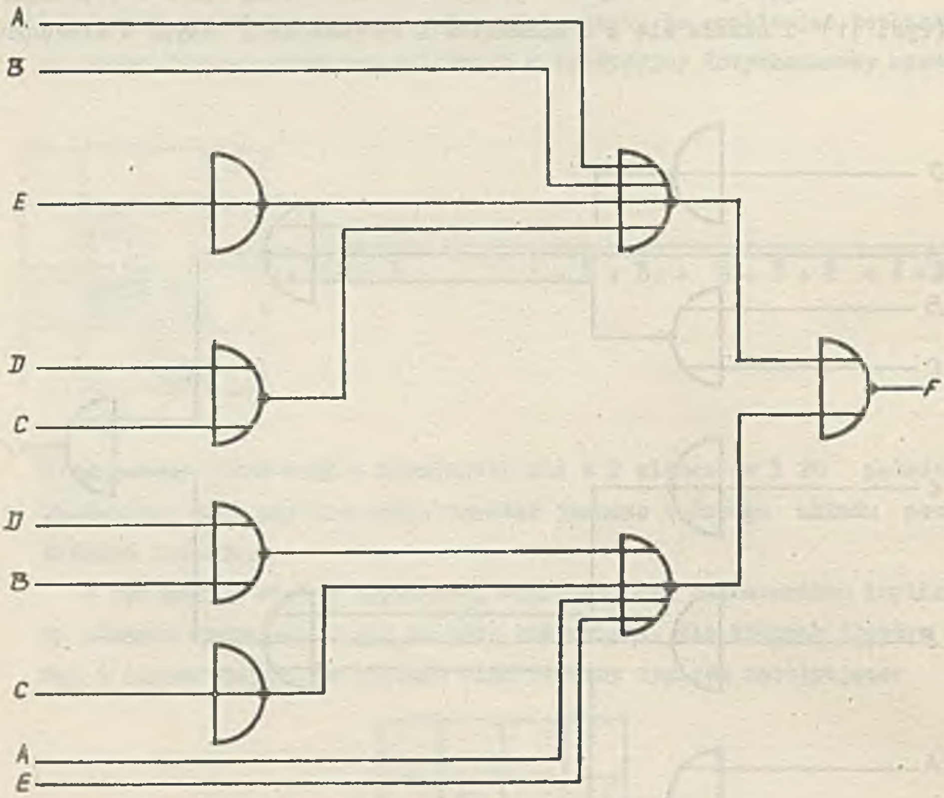
Układ logiczny w ten sposób przedstawionej funkcji jest następujący (rys. 11) i składa się z 8 elementów i 15 połączeń, czyli w stosunku



Rys. 11

do pierwszego bezhazardowego układu jest tańszy o 2 elementy i 12 połączeń, a w stosunku do drugiego układu bezhazardowego jest tańszy o 1 element i 5 połączeń. Taki rezultat jest już całkowicie zadowalający tym bardziej, że od postaci z hazardem jest droższy jedynie o 1 element i 2 połączenia.

Przeanalizujmy jeszcze przykład funkcji pięciu zmiennych, której schemat przedstawiony na rys. 12 składa się z 7 elementów i 16 połączeń.



Rys. 12

Schematowi temu odpowiada następujący zapis algebraiczny i iloczyn siatek

$$F = \overline{A + B + \bar{E} + \overline{\bar{D}\bar{C}}} + \overline{A + E + \bar{C} + \overline{\bar{B}\bar{D}}}$$

DE \ ABC	000	001	011	010	110	111	101	100
00	1	1	1	1	1	1	1	1
01	1	0	1	1	1	1	1	1
11	0	0	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1

DE \ ABC	000	001	011	010	110	111	101	100
α	1	1	0	1	1	1	1	1
01	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	0	0	1	1	1	1	1

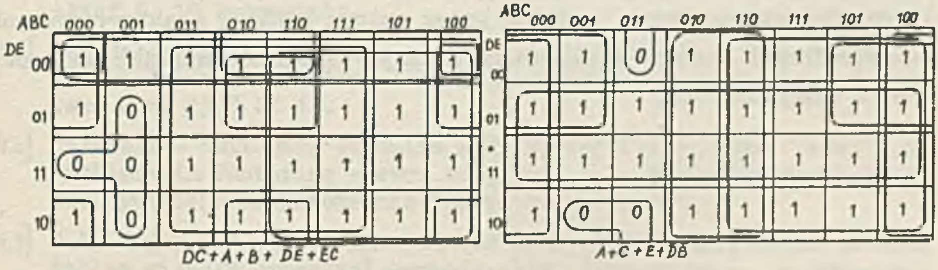
Układ nie posiada hazardu typu $1 \to 0 \to 1$, ponieważ implicenty złożone są bezhazardowe. Rysujemy więc od razu wykres możliwych wystąpień hazardu typu $0 \to 1 \to 0$, na którym zauważamy hazard przy zmianie sygnału C dla stanu D=1, A=0, B=0, C=1. Eliminujemy hazard tworząc bezhazardowy implicent prosty sprzęgający oba bezhazardowe implicenty złożone.

Zapis funkcji F w postaci pozbawionej hazardu wygląda teraz następująco:

$$F = \overline{\overline{\bar{E} + B + A + \overline{DC}} + \overline{A + E + \bar{C} + \overline{DB}} + \overline{\bar{D} + A + \bar{C} + B}}$$

Odpowiada mu układ logiczny składający się z 9 elementów oraz 23 połączeń. Realizując naszą funkcję bezhazardowo w konwencjonalny sposób, ale z zanegowanej siatki wypadkowej otrzymamy układ składający się z 9 elementów i 21 połączeń, czyli oszczędność o 2 połączenia.

Zmieniając strukturę bezhazardowych implicentów w następujący sposób otrzymujemy układ logiczny pozbawiony hazardu składający się z 8



elementów i 20 połączeń, czyli oszczędniejszy od pierwszego układu o 1 element i 3 połączenia, a od drugiego układu o 1 element i 1 połączenie.

4. WNIOSKI[x)]

Z przeprowadzonych rozważań wynika, że przy dokonywaniu syntezy układu bezstykowego nie można pominąć przeanalizowania możliwości wystąpienia hazardu statycznego lub inaczej statycznej zawodności strukturalnej. Zaproponowana wyżej metoda pozwala na identyfikację oraz eliminację hazardu statycznego w każdym układzie kombinacyjnym zrealizowanym z elementów NOR. Również układy kombinacyjne zrealizowane z elementów NAND można analizować przedstawionymi metodami. Jednakże trzeba zaznaczyć, że istnieją dwa aspekty projektowej eliminacji hazardu.

1. Gdy projektant nie ma możliwości szybkiej, a przede wszystkim taniej i opłacalnej przebudowy układu, wówczas decyduje się na eliminację hazardu drogą dobudowania dodatkowych elementów i połączeń (np. układ na rys. 10).

2. Wreszcie, gdy projektant ma możliwość przebudowy układu logicznego, wówczas hazard eliminuje drogę całkowitej przebudowy układu dzięki czemu otrzymuje układ ekonomicznie najtańszy (np. układ na rys. 11).

W związku z powyższym celowym byłoby opracowanie programu na maszynę cyfrową bezhazardowej metody faktoryzacji układów logicznych. W chwili obecnej opracowywany jest już przez autora katalog sfaktoryzowanych i pozbawionych hazardu statycznego funkcji trzech zmiennych zrealizowanych z elementów NOR.

[x)] Uogólnienia przedstawionego zagadnienia oraz metody syntezy kombinacyjnych bezhazardowych sieci logicznych przedstawił autor w dwóch późniejszych pracach:

- "Realizacja dowolnych funkcji n-zmiennych za pomocą kombinacyjnych bezhazardowych TUL-NOR" prace VKKA Gdańsk 1971.
- "O pewnej metodzie syntezy minimalnych kombinacyjnych bezhazardowych sieci TANT - Prace Instytutu Maszyn Matematycznych 1972.

LITERATURA

[1] D. Zissos, G. Copperwhite - Further developments in the design of minimal NOR (and NAND) combinational switching circuits for N-variables. Electronic Engineering 1966, 38 N 461.

[2] D. Zissos, G. Copperwhite - The design of minimal NOR/NAND logical circuits Electronic Engineering 1965, 37, N 451.

[3] R. Smith - Minimal three-variable NOR and NAND logic ciruits IEEE Transaction on Electronic Computers 1965 EC - 14 No 1.

[4] D. Ellis - A synthesis of combinational logic with NAND or NOR elements IEEE Transactions on Electronic Computers 1965 EC - 14 No 5.

[5] A. Pach - Możliwość eliminowania dynamicznej zawodności strukturalnej przy pomocy rozszerzonej matrycy stanów. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Z. 14 Automatyka.

[6] J. Siwiński - Układy przełączające w automatyce WWNT 1968.

[7] J. Bromirski - Teoria automatów WNT 1969.

[8] W. Traczyk - Projektowanie tranzystorowych układów przełączających WNT 1966.

[9] A.B. Howe, C.L. Coates - Logic hazards in threshold networks IEEE Tranactions on, Computers EC 17 March 1968 No 3.

[10] J. Frąckowiak - Metoda rozkładu tablic Karnaugha, jako metoda faktoryzacji funkcji logicznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Z. 15 Automatyka.

[11] Lee Hellerman - A catalog of three - variable Or - Invert and And Invert logical circuits. IEEE Transactions on Electronic Computers June 1963 EC 12.

[12] Caldwell - Switching circuits and logical design 1960 art. 5.9. Problems in Factoring - str. 169, art. 9.5. Factoring Problems in the Synthesis of Electronic Circuits - str. 348.

[13] S.H. Unger - A raw assignment for delay free realizations of flow tables without essential hazards. IEEE Transactions on Computers February 1968 C-17.

[14] W.H. Burkhart - Theorem Minimization Proceedings of the Associations for Computing Machinery, Pittsburgh, Pennsylvania, May 2 an 3 1952 - str. 259-263.

Rekopis złożono w Redakcji w dniu 10.III.1970 r.

ANALYSIS AND METHOD FOR HAZARDS ELIMINATION IN COMBINATIONAL NETWORKS REALISED ON NOR ELEMENTS

S u m m a r y

Detection method and static hazards elimination in combinational networks realised on NOR elements by Karnaugha maps integration are discussed. Concept of hazard - free compound and prime implicent are introduced and defined. The method is illustrated by examples of three four and five-variables functions.

АНАЛИЗ И СПОСОБ ЭЛИМИНАЦИИ АЗАРТА В КОМБИНАЦИОННЫХ ЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПОСТРОЕННЫХ ИЗ ЭЛЕМЕНТОВ ИЛИ-НЕ

Р е з ю м е

В статье представлено метод идентификации и ликвидация статического азарта с помощью составляния карт. Карно в комбинационных логических схемах построенных в базисе ИЛИ-НЕ. Введено и сформулировано понятие безазартного импликанта. Передано многочисленные примеры функции 3, 4 и 5 аргументов.