



Politechnika  
Śląska

**POLITECHNIKA ŚLĄSKA**  
**WYDZIAŁ AUTOMATYKI, ELEKTRONIKI I INFORMATYKI**  
**KIERUNEK INFORMATYKA**

**Projekt inżynierski**

Aplikacja do edycji i wspomagania rozwiązywania zadań metodą TKŁ

Autor: Leszek Komorowski

Kierujący pracą: dr inż. Adam Opara

Gliwice, Styczeń 2022

---

## 2.4 Metoda Siwińskiego

Inną z metod syntezy układów sekwencyjnych, jest metoda Siwińskiego, nazywana także metodą TKŁ. Stanowi ona alternatywne podejście dla metody Huffmana, która w bardziej rozbudowanych przypadkach staje się czasochłonna i skomplikowana.

Tablica kolejności łączeń jest sposobem opisu pracy układu w ramach cyklu jego działania. Tworzy się ją na podstawie innych form opisu takich jak opis słowny, przebiegi czasowe, czy tak jak wspomniano wcześniej - formułę łączeń.

Struktura tablicy jest następująca:

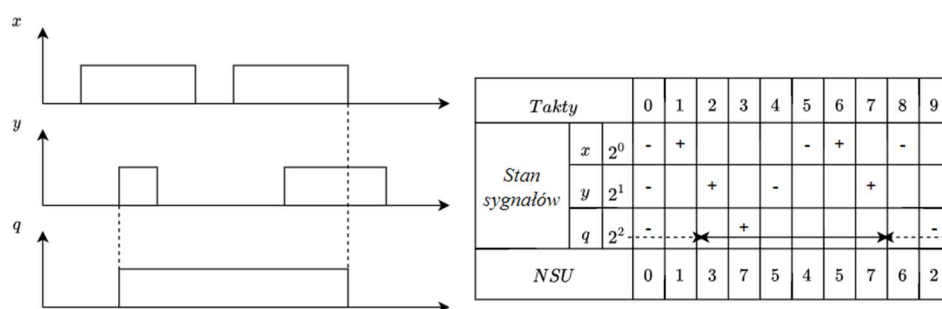
- Wiersze tablicy zawierają stan sygnałów zarówno wejściowych i wyjściowych. Każdemu sygnałowi przyporządkowana jest waga, będąca potęgą liczby 2.
- Kolumny tablicy, zwane także taktami, w których odnotowywana jest zmiana pojedynczego sygnału
- Wiersz NSU – numeryczny stan układu, będący sumą wag sygnałów aktywnych w danym takcie

Wypełnianie tablicy rozpoczyna się od taktu zerowego. Podaje się w nim stan wszystkich sygnałów w momencie rozpoczęcia cyklu pracy układu. Następnie w kolejnych taktach podaje się zmiany sygnałów w kolejności, w której występowały w opisie pracy układu. Zmiana na stan wysoki odnotowywana jest symbolem „+”, natomiast na stan niski symbolem „-”. W zależności od zmiany sygnału i jego wagi, aktualizowana jest wartość NSU. Ponieważ rozpatrywany jest układ wykonujący się cyklicznie, ostatnia zmiana sygnału jest powrotem do jego stanu początkowego, z tego powodu jest ona celowo upraszczana i niezapisywana na końcu TKŁ.

Po wypełnieniu tablicy następuje drugi etap – ocena rozwiązywalności. Rozpoczyna się ona wyznaczeniem warunków działania i niedziałania dla sygnałów wyjściowych. Warunki działania są składnikami jedynek funkcji realizującej dane wyjście, analogicznie warunki niedziałania są czynnikami zera tejże funkcji.

---

Zarówno warunki działania jak i niedziałania wyznaczone są w ten sam sposób. Warunki działania liczone są od taktu poprzedzającego zmianę danego sygnału wyjściowego na stan wysoki do taktu poprzedzającego jego zmianę na stan niski, z pominięciem tego taktu. W przypadku warunków niedziałania sytuację należy odwrócić – liczone są od taktu poprzedzającego zmianę na stan niski do taktu poprzedzającego zmianę na stan wysoki. Przyjmuje się, że warunki działania oznaczane są w TKŁ oznaczane linią ciągłą, natomiast warunki niedziałania linią przerywaną. Przykładowa rozwiązywalna tablica z przebiegami, na podstawie których została wyznaczona znajduje się na rysunku 22

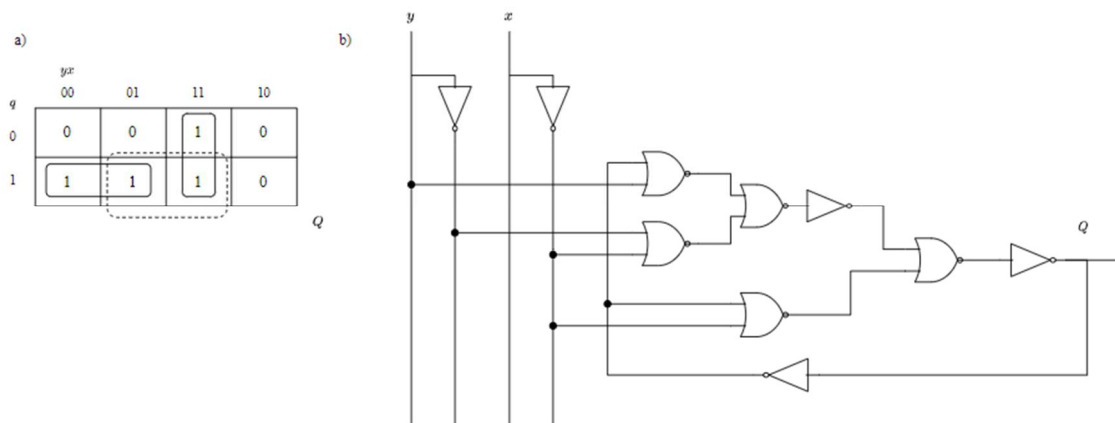


Rysunek 22.

Przykładowa rozwiązywalna TKŁ z przebiegami na podstawie, których została uzupełniona

Na tablicy zaznaczono zgodnie z regułami wspomnianymi wcześniej warunki działania i niedziałania. Tablica ta jest rozwiązywalna, ponieważ nie występuje w niej stan układu taki, który znajdowałby się zarówno w warunkach działania i niedziałania. Jedyńm powtarzającym się stanem jest stan 7, ale jest on niesprzeczny, ponieważ dotyczy tylko warunków działania.

Ponieważ tablica z rysunku 22 jest rozwiązywalna, to możliwe jest bezpośrednie wyznaczenie kanonicznych postaci sumy oraz iloczynu:  $Q = \left\{ \sum(3,4,5,7)_{qyx} \right\} / \left\{ \prod(0,1,2,6)_{qyx} \right\}$ . Na ich podstawie można przejść do minimalizacji wyrażeń metodą siatek Karnaugh'a. Uzyskane wyrażenie strukturalne wygląda w następujący sposób:  $Q = q\bar{y} + yx + qx$ , gdzie składnik  $qx$  jest grupą antyhazardową oznaczoną na siatce na rys. 23a. Podane wyrażenie można zrealizować na elementach NOR w następujący sposób:  $Q = \overline{\overline{q\bar{y}} + \overline{yx} + \overline{qx}} = \overline{\overline{q} + \overline{y} + \overline{y} + \overline{x} + \overline{q} + \overline{x}}$ . Schemat logiczny tego wyrażenia został zaprezentowany na rys 23b.



Rysunek 23.

a) siatka Karnaugh'a dla wyjścia Q b) uzyskany schemat logiczny

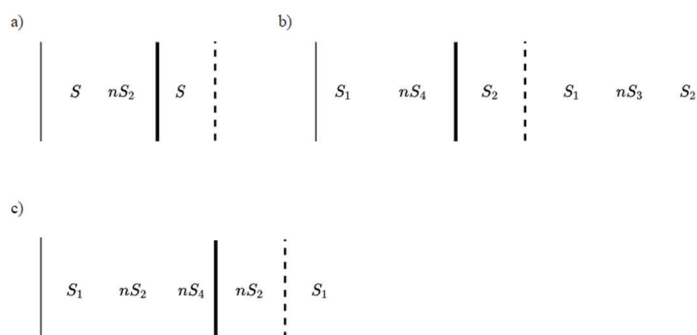
W wielu przypadkach może się jednak zdarzyć, że TKŁ po wypełnieniu nie jest rozwiązywalna, tzn. występują w niej pary stanów sprzecznych. Oznacza to, że z występujących w układzie sygnałów nie jest możliwe określenie warunków jego działania. Konieczne jest wówczas dołożenie dodatkowych sygnałów. O tym w jaki sposób dodać te sygnały decyduje algorytm rozwiązywania tablicy kolejności łączy, na który składają się dwa etapy:

- Wyznaczanie granic – inaczej wyznaczanie miejsc zmian sygnałów dodatkowych
- Kodowanie – etap polegający na ustaleniu stanu sygnałów dodatkowych w danych częściach wydzielonych granicami

Etap wyznaczania granic jest kluczowy dla syntezy układów sekwencyjnych metodą TKŁ, gdyż to w nim decydowane są miejsca sygnałów dodatkowych. W niektórych przypadkach istnieje możliwość intuicyjnego wyznaczenia takich miejsc, ale w większości konieczne może się okazać użycie wskazówek dotyczących stawiania granic:

- Granica musi oddzielać sprzeczne stany cyklu – niespełnienie tego warunku powoduje, że sprzeczności dalej będą występować (rys. 24a),
- Granica powinna być możliwie jak najbliżej stanu sprzecznego,
- Granica nie może występować po stanie sprzecznym logicznie do stanu znajdującego się w części po wydzielonej granicy (rys. 24b),
- Granica nie może przebiegać po stanie niesprzecznym logicznie do stanu kończącego kolejną część lub zawierającego się wewnątrz części przed postawioną granicą (rys. 24c). Wyjątkiem jest sytuacja, kiedy część poprzedzająca granicę podzielona jest na fragmenty rozdzielone innymi częściami i po każdym z niesprzecznych stanów wyznaczona jest granica [6].

Warunki te zostały przedstawione na rys. 24. Poprawnie postawiona granica została zaznaczona linią ciągłą, a niepoprawnie linią przerywaną.



Rysunek 24. Warunki stawiania granic

Etap stawiania granic składa się z kilku części. W pierwszej z nich określone są miejsca ich wystąpienia dla taktów od 0 do ostatniego taktu, zgodnie ze wspomnianymi wcześniej założeniami. Zakończenie tego etapu pozwala na określenie dwóch granic: granicy maksymalnej, będącej granicą najbliżej taktu kończącego cykl oraz granicy minimalnej, będącej granicą najbliżej taktu zerowego.

Ponieważ układ działa cyklicznie to samo stawianie granic w przedziale od taktu początkowego do ostatniego może nie być wystarczające. Należy jeszcze rozpatrzyć, czy w przedziale od granicy maksymalnej do minimalnej nie występują sprzeczności. Jeżeli takowe się pojawią, to należy je wyeliminować podobnie jak było to robione w pierwszej części tego etapu.

Częścią zamykającą etap stawiania granic jest tzw. redukcja. Polega ona na, o ile jest to dozwolone, eliminacji granic minimalnych, względem granicy postawionej w poprzednim etapie. Należy sprawdzić czy części oddzielone granicą minimalną można zredukować do jednej. Gdy redukcja zakończy się, możliwe jest przejście do etapu drugiego algorytmu – kodowania.

Kodowanie, jak już zostało wcześniej wspomniane, polega na wyznaczeniu stanów sygnałów dodatkowych w miejscach wydzielonych granicami. Podobnie jak w przypadku stawiania granic, należy posługiwać się założeniami:

- Części powinny być kodowane sygnałami sąsiednimi logicznie – dopuszczalna jest zmiana tylko jednego sygnału na poszczególną część,
- Należy użyć możliwie jak najmniejszej liczby sygnałów dodatkowych.

Niezachowanie tych warunków może spowodować zjawisko wyścigu krytycznego, co może mieć wpływ na działanie programu. Sposób kodowania pozostawia się najczęściej intuicji projektującego układ, gdyż w każdym przypadku istnieje wiele możliwości.

Gdy przedstawione etapy zostaną zakończone, należy sporządzić ponownie TKŁ z uwzględnieniem zmian sygnałów dodatkowych. Dodatkowe sygnały przyjmują kolejne wagi będące potęgą liczby 2. Zmiany sygnałów występują po taktach, w których postawiono granice i oznaczane są numerem taktu oraz znakiem „, ' ”. Po wypełnieniu tablicy, należy sprawdzić, czy wprowadzenie dodatkowego sygnału nie wprowadziło sprzeczności, czy to dla sygnału wyjściowego, czy dodatkowego. Jeżeli taka sytuacja ma miejsce, to jest to prawdopodobnie spowodowane błędnym kodowaniem lub źle wyznaczonymi granicami i należy ponownie podjąć się procesu wyznaczania granic.

Jeżeli uzyskana tablica jest rozwiązywalna, możliwe jest, tak jak w przypadku przykładu z rysunku 22, stworzenie wyrażeń strukturalnych funkcji wyjść oraz funkcji sygnałów dodatkowych oraz stworzenie na ich podstawie schematu logicznego. Etap ten kończy algorytm rozwiązywania układów asynchronicznych metodą TKŁ.

---