

Henryk Małysiak

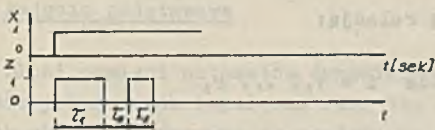
Instytut Automatyki Przemysłowej
i Pomiarów Politechniki Śląskiej

SYNTEZA PEWNEJ KLASY GENERATORÓW ZADANYCH CIĄGÓW IMPULSÓW

Streszczenie. W artykule przedstawiono sposób projektowania pewnej klasy generatorów zadanych ciągów impulsów. Omawiane generatory wyzwalane są sygnałami startowymi. Istnieje możliwość realizacji generatorów wydających różne ciągi impulsów w zależności od tego, który z sygnałów startowych pojawi się na wejściu. Czasy trwania impulsów i przerw w ciągu mogą być regulowane bez zmiany kolejności ich ukazywania się. Rozpatrywane generatory stanowią pewną klasę dynamicznych automatów sekwencyjnych objętych sprzężeniem zwrotnym przez elementy opóźniające decydujące o czasach trwania impulsów i przerw w ciągu.

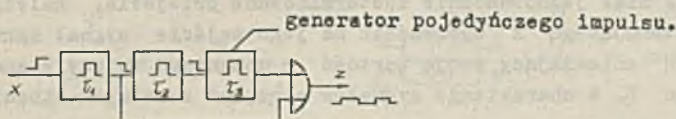
1. Wstęp

W układach sterowania programowego, jak również w urządzeniach służących do testowania układów cyfrowych, stosowane są często generatory zadanych ciągów impulsów. Przez zadany ciąg impulsów rozumieć będziemy ciąg zawierający określoną



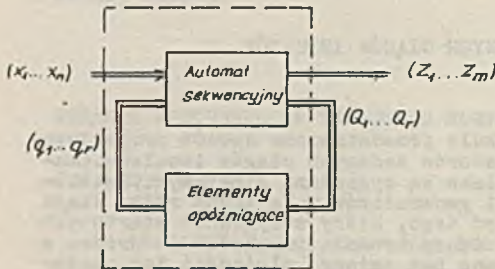
Rys. 1. Przykład ciągu zawierającego dwa impulsy

liczbę impulsów o zadanych długościach i odpowiednio rozmieszczonych w czasie. Na rys. 1 pokazany jest przykładowo ciąg impulsów zawierający dwa impulsy o długościach τ_1 i τ_2 warunkowany pojawieniem się sygnału startowego x . Tylne zbocze sygnału startowego x nie powinno mieć wpływu na generowany ciąg. W ogólnym przypadku powinna istnieć możliwość regulacji czasów τ_1 i τ_2 . Istnieje kilka sposobów realizacji generatorów zadanych ciągów impulsów (GZCJ). Do najprostszych z nich należy



Rys. 2. Realizacja generatora ciągu zawierającego dwa impulsy

szeregowe połączenie określonej liczby, np. generatorów pojedynczych impulsów, z których pierwszy jest wyzwalany sygnałem startowym x . Sygnał wyjściowy generatora (Z) otrzymuje się jako sumę logiczną sygnałów wyjściowych odpowiednich generatorów pojedynczych impulsów rys. 2. Wadą tego rozwiązania jest konieczność stosowania dużej liczby niezależnych elementów czasowych, szczególnie w przypadkach realizacji złożonych ciągów o dużej



Rys. 3. Struktura blokowa GZCJ

liczbie impulsów. Liczbę elementów czasowych można zmniejszyć, jeżeli GZCJ będzie zbudowany jako automat sekwencyjny objęty sprzężeniem zwrotnym. Tego typu generatory zawierają w pętli sprzężenia zwrotnego elementy opóźniające o regulowanych czasach opóźnień. Struktura blokowa tak rozumianego GZCJ przedstawiona jest na rys. 3.

Gdzie:

$(X_1 \dots X_n)$ - niepusty skończony zbiór sygnałów wejściowych (startowych),

$(Z_1 \dots Z_m)$ - niepusty skończony zbiór sygnałów wyjściowych,

$(Q_1 \dots Q_r)$ - niepusty skończony zbiór sygnałów sprzężeń zwrotnych wchodzących na elementy opóźniające,

$(q_1 \dots q_r)$ - opóźnione sygnały sprzężeń zwrotnych.

Sygnały sprzężeń zwrotnych związane są relacją:

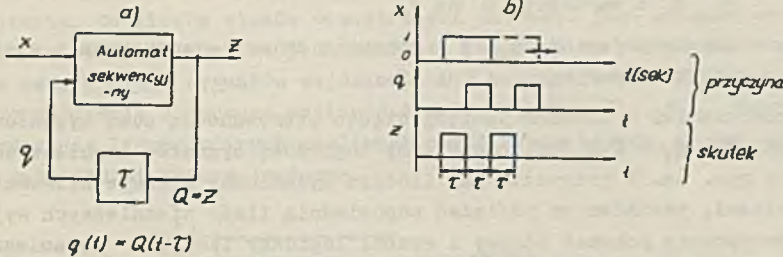
$$Q_i(t) = q_i(t + \tau_i) \quad \text{dla } i = 1, 2 \dots r,$$

przy czym $\tau_i \neq \tau_{i+1}$.

W ten sposób zbudowane GZCJ można więc traktować jako samosterujące się automaty sekwencyjne (sygnały startowe służą tylko do uruchomienia układu). Struktura logiczna automatu sekwencyjnego zależęć będzie od stopnia złożoności realizowanego ciągu impulsów. (Przez złożony ciąg impulsów rozumiemy będziemy ciąg zawierający dużą liczbę impulsów o różnych czasach trwania).

Sposób działania GZCJ ilustruje rys. 4. Na wyjściu rozpatrywanego układu powinny się pojawić dwa impulsy o czasie trwania τ . Aby automat sekwencyjny GZCJ miał jednoznacznie zdeterminowane przejścia, należy oprócz sygnału sterującego x wprowadzić na jego wejście sygnał sprzężenia zwrotnego q zmieniający swoją wartość w momentach zmiany stanu sygnału wyjściowego Z . W charakterze sygnałów sprzężeń zwrotnych stosuje się

najczęściej sygnały wyjściowe $Z_1 \dots Z_m$ opóźnione o odpowiednie czasy τ_i , o ile to wystarczy do zapewnienia jednoznacznej pracy układu.



Rys. 4. Schemat blokowy -a) i sposób działania GZCJ -b)

W ogólnym przypadku konieczne jest jednak stosowanie pomocniczych sygnałów sprzężeń zwrotnych (różnych od $Z_1 \dots Z_m$), o takich przebiegach, by możliwa była jednoznaczna realizacja użytecznych sygnałów wyjściowych. Połącza to za sobą oczywiście rozbudowanie wyjściowej części kombinacyjnej automatu sekwencyjnego. Automat sekwencyjny wchodzący w skład GZCJ może być układem statycznym (blok pamięci zawiera przerzutniki wyzwalane sygnałami statycznymi) lub dynamicznym (blok pamięci zawiera przerzutniki wyzwalane sygnałami impulsowymi). Sposób projektowania GZCJ zawierających statyczne automaty sekwencyjne został przedstawiony w [2]. Celem niniejszej pracy jest przedstawienie sposobu projektowania GZCJ na bazie pewnej klasy automatów dynamicznych.

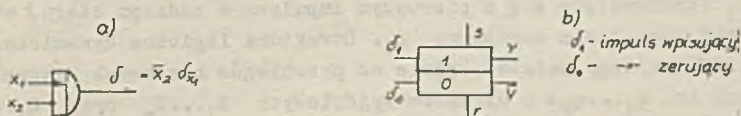
2. Pojęcia podstawowe

Bloki pamięci automatów dynamicznych są realizowane za pomocą przerzutników pobudzanych impulsowo rys. 5b. Układy takie są w niektórych przypadkach chętnie stosowane ze względu na prostotę otrzymywanych rozwiązań.

Do zamiany sygnałów statycznych na impulsowe wykorzystuje się iloczynny (bramki dynamiczne). Iloczyn dynamiczny realizuje funkcję $\delta = \bar{x}_2 \delta \bar{x}_1$ - rys. 5a.

Gdzie

- $\delta, \delta \bar{x}_1$ - sygnały impulsowe,
- x_1, x_2 - sygnały statyczne.



Rys. 5. Symbol iloczynu dynamicznego i przerzutnika wyzwalanego impulsowo z wejściami ustawiającym s, r

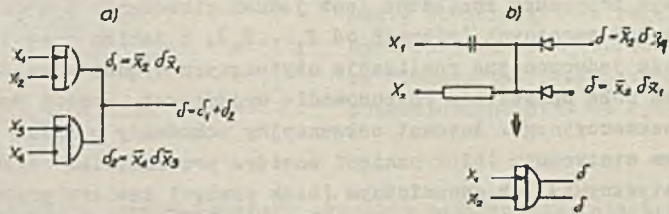
Dalej stosowane będą oznaczenie:

δ_x - impuls pojawiający się w momencie zmiany stanu sygnału statycznego x z wartości 0 na 1,

$\delta_{\bar{x}}$ - impuls pojawiający się w momencie zmiany stanu sygnału statycznego x z wartości 1 na 0.

Przerzutniki w blokach pamięci często sterowane są sumą sygnałów impulsowych $\delta = \delta_1 + \delta_2$. Realizację sumy logicznej sygnałów impulsowych przedstawia rys. 6a. W przypadku gdy iloczyn dynamiczny steruje kilkoma przerzutnikami, powinien on posiadać odpowiednią ilość niezależnych wyjść.

Uproszczony schemat ideowy i symbol logiczny iloczynu dynamicznego z dwoma niezależnymi wyjściami przedstawiony jest na rys. 6b.



Rys. 6. Realizacja

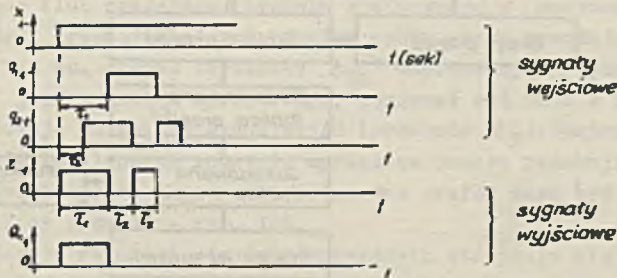
a) sumy sygnałów impulsowych, b) bramki dwuwyjściowej

3. Synteza GZCJ na bazie sekwencyjnych automatów dynamicznych objętych sprzężeniem zwrotnym

Projektowanie GZCJ sprowadza się do określenia sygnałów sprzężeń zwrotnych $q_1 \dots q_r$ na podstawie przebiegu czasowego zadanego sygnału wyjściowego Z (lub zadanym sygnałom wyjściowym) i struktury logicznej automatu dynamicznego.

Ilość koniecznych do wprowadzenia sygnałów sprzężeń zwrotnych jest jednoznacznie określona liczbą różnych cech czasowych impulsów i przerw składających się na generowany ciąg impulsów. Tak np. w GZCJ wysyłającym ciąg impulsów przedstawiony na rys. 7 powinny występować dwa sygnały sprzężeń zwrotnych q_1 i q_2 , ponieważ w zadanym ciągu występują tylko dwie różne cechy czasowe τ_1 i τ_2 . Sygnał q_2 otrzymuje się z sygnału Z ($Q_2 = Z$) opóźnionego odpowiednio o czas τ_2 . Opóźniony o czas τ_1 pomocniczy sygnał Q_1 (pokrywający się z pierwszym impulsem w zadanym ciągu) stanowi drugi sygnał sprzężenia zwrotnego q_1 . Struktura logiczna dynamicznego automatu sekwencyjnego zależeć będzie od przebiegów czasowych sygnałów wejściowych ($x, q_1 \dots q_r$) i sygnałów wyjściowych $Z_1 \dots Z_m$ oraz $Q_1 \dots Q_r$. Dla różnych nastawionych czasów $\tau_1 \dots \tau_r$ (przy niezmięnionej kolejności im-

pulsów w ciągu) kolejność zmian sygnałów wejściowych może być różna. Jeśli na cechy czasowe impulsów i przerw w ciągu nie są narzucone żadne ograniczenia, to liczba stanów wewnętrznych automatu jest stosunkowo duża. Wynika to stąd, że musi on jednoznacznie reagować na różnie zamieniające się w czasie ciągi sygnałów wejściowych. W rzeczywistych GZCJ występują pewne ograniczenia dotyczące możliwości zmian czasów τ_1, \dots, τ_x . Zmniejszają one znacznie liczbę różnych możliwych cykli pracy układu, a tym samym upraszczają ich strukturę logiczną.

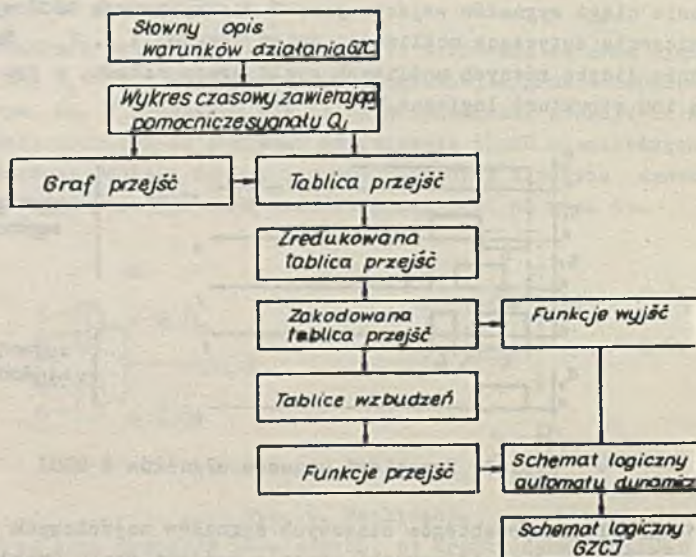


Rys. 7. Przebiegi czasowe sygnałów w GZCJ

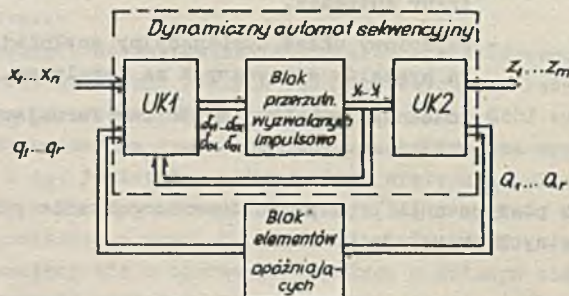
Po określeniu przebiegów czasowych sygnałów wejściowych i wyjściowych GZCJ należy przedstawić warunki pracy w postaci grafu przejść lub bezpośrednio tablicy przejść 1. Kolejne kroki syntezy automatu dynamicznego przedstawione są na rys. 8. Po uzupełnieniu zaprojektowanego automatu pętlami sprzężeń zwrotnych otrzymuje się szukany GZCJ - rys. 9. Gdzie

- $\left. \begin{matrix} \delta_{11} \dots \delta_{11} \\ \delta_{01} \dots \delta_{01} \end{matrix} \right\}$ - impulsowe funkcje wzbudzeń $\left\{ \begin{matrix} \text{wpisujące} \\ \text{zerujące} \end{matrix} \right.$
- $y_1 \dots y_1$ - sygnały wyjściowe przerzutników określające stan wewnętrzny automatu,
- UK1 - wejściowy układ kombinacyjny spełniający rolę przetwornika sygnałów statycznych na impulsowe,
- UK2 - kombinacyjny układ wyjściowy formujący statyczne sygnały wyjściowe.

Sposób postępowania przy projektowaniu zostanie przedstawiony pełniej na konkretnych przykładach.



Rys. 8. Kolejne etapy syntezy GZCJ realizowanego na bazie dynamicznego automatu sekwencyjnego



Rys. 9. Schemat blokowy GZCJ realizowanego na bazie dynamicznego automatu sekwencyjnego

Przykład 1

Zaprojektować GZCJ określony przebiegami czasowymi z rys. 7. Graf przejść otrzymany na podstawie przebiegów czasowych przedstawiony jest na rys. 10a. Stany stabilne przedstawione są na tym wykresie w postaci węzłów, a przejścia od jednego stanu stabilnego do drugiego przy pomocy łączących je gałęzi. Każda gałąź oznaczona jest symbolem impulsu, wywołującego odpowiadające jej przejście. Natomiast każdy węzeł oznaczony jest odpowiadającym mu stanem wyjść. Graf przejść zawiera tylko przejścia wywołane impulsami odpowiadającymi istotnym zboczom statycznych sygnałów wejściowych. Zbocze narastające (lub opadające) sygnału statycznego x nazywać będziemy istotnym, jeżeli przynajmniej raz w całym cyklu pracy powoduje ono zmianę stanu wyjść. Tak np. sygnał impulsowy $\delta_{\bar{q}_1}$ odpowiadający tylnemu zboczcu sygnału q_1 jest sygnałem nieistotnym, ponieważ ani razu w całym cyklu pracy nie powoduje on zmiany stanu wyjść (podobnie $\delta_{\bar{x}}$). Pominiecie nieistotnych sygnałów impulsowych znacznie upraszcza proces redukcji stanów równoważnych. Warunki pracy układu przedstawione grafem mogą być zapisane w postaci tablicy przejść - rys. 10b.

Po przeprowadzeniu redukcji stanów równoważnych otrzymuje się zredukowaną tablicę przejść (rys. 10d) zawierającą cztery stany wewnętrzne S_1 ($S_1 \equiv S_7$), S_2 ($S_2 \equiv S_3$), S_4 ($S_4 \equiv S_5$) i S_6 . Po zakodowaniu stanów wewnętrznych układu stanami wyjść przerzutników y_1, y_2 (rys. 10e) można bezpośrednio wyznaczyć funkcje wyjść określające strukturę logiczną UK2 (automat "Moore'a")

$$Z = \bar{y}_1 y_2 + y_1 \bar{y}_2$$

$$Q_1 = \bar{y}_1 y_2$$

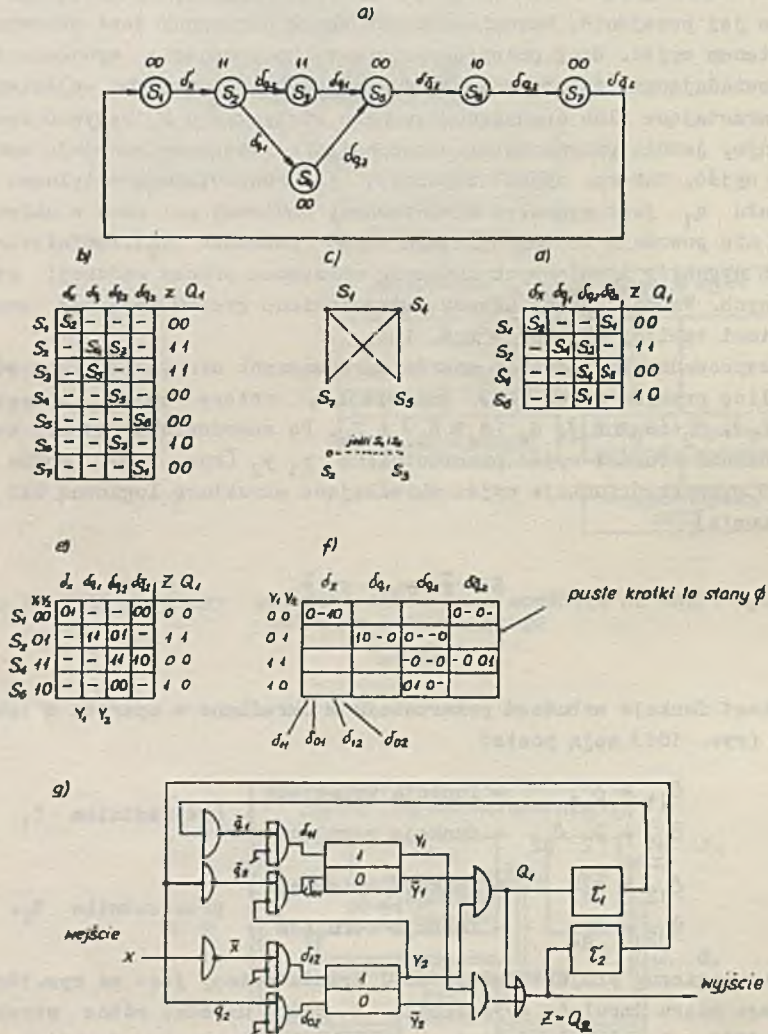
Natomiast funkcje wzbudzeń przerzutników określane w oparciu o tablicę wzbudzeń (rys. 10f) mają postać

$$\left. \begin{array}{ll} \delta_{11} = \delta_{q_1} & - \text{funkcja wpisująca} \\ \delta_{01} = \bar{y}_2 \delta_{q_2} & - \text{funkcja zerująca} \end{array} \right\} \text{przerzutnika } Y_1$$

$$\left. \begin{array}{ll} \delta_{12} = \delta_x & - \text{funkcja wpisująca} \\ \delta_{02} = \delta_{q_2} & - \text{funkcja zerująca} \end{array} \right\} \text{przerzutnika } Y_2$$

Schemat logiczny projektowanego GZCJ przedstawiony jest na rys. 10g. Dla tego samego ciągu impulsów wyjściowych Z można uzyskać różne struktury logiczne GZCJ zależnie od przyjętego sposobu kodowania i redukcji stanów równoważnych. Np. przyjmując za równoważne stany $S_1 = S_4 = S_5$, $S_2 = S_3$,

i kodując $S_1 - 00$ otrzymuje się
 $S_2 - 01$
 $S_4 - 11$
 $S_6 - 10$



Rys. 10. Kolejne etapy projektowania GZCJ (z przykładu 1)

a) graf przejść, b) tabela przejść, c) wykres redukcji stanów równoważnych, d) zredukowana tabela przejść, e) zakodowana tabela stanów, f) tabela wzbudzeń, g) schemat logiczny

GZCJ o strukturze logicznej określonej funkcjami:

$$Z_1 = y_2$$

$$Q_1 = \bar{y}_1 y_2.$$

W rozpatrywanym układzie nie wprowadzono żadnych warunków ograniczających zakres zmian czasów opóźnień τ_1 i τ_2 .

Dokładność uzyskiwanych wartości przedziałów czasowych zależy głównie od stałości i dokładności nastawiania odpowiednich wartości opóźnień w elementach czasowych znajdujących się w pętli. Ponadto wartości przedziałów czasowych w ciągu wyjściowym są zmniejszone przez opóźnienia wznoszone przez sam automat sekwencyjny. W przypadku gdy stałość przedziałów czasowych ciągu wyjściowego jest ważna, należy do budowy GZCJ użyć odpowiednio "szybkich" elementów logicznych.

Przykład 2

Zaprojektować GZCJ posiadający dwa wejścia sterujące x_1 , x_2 i jedno wejście Z . Na wyjściu powinny się pojawić trzy impulsy po wprowadzeniu sygnału sterującego x_1 i dwa impulsy po wprowadzeniu sygnału x_2 . Ciągi impulsów wyjściowych przedstawione są na rys. 11a. Zakłada się, że kolejny sygnał sterujący (x_1 lub x_2) może się pojawić dopiero po zakończeniu poprzedniego cyklu pracy wywołanego sygnałami x_1 lub x_2 . Wprowadzenie sygnału sterującego x_2 powoduje przejście automatu ze stanu S_1 do S_4 . W ten sposób realizowana jest tylko końcowa część programu (wyzwalanego sygnałem x_1) odpowiadająca pojawieniu się dwóch impulsów wyjściowych - rysunek 11b. Kolejne etapy syntezy rozpatrywanego GZCJ przedstawione są na rys. 11. Funkcje wyjść i wzbudzeń układu mają postać:

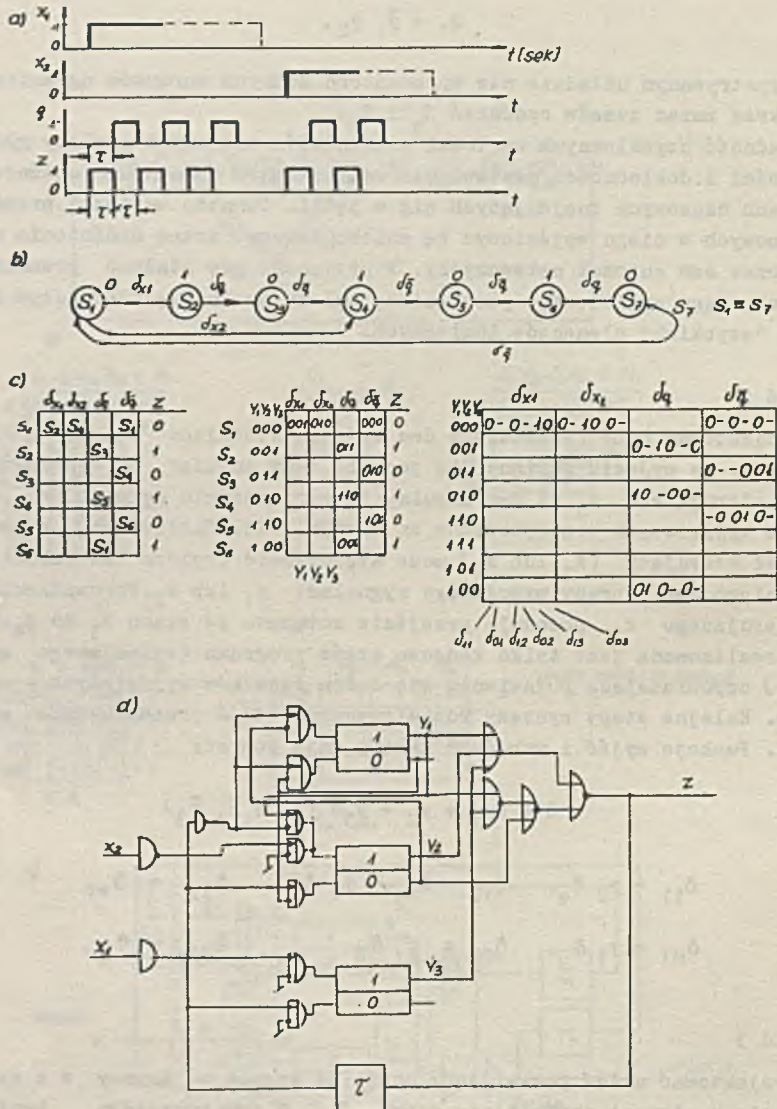
$$Z = (y_1 + y_2 + y_3) (\bar{y}_2 + \bar{y}_1 \bar{y}_3)$$

$$\delta_{11} = y_2 \delta_q, \quad \delta_{12} = \delta_{x_2} + \bar{y}_1 \delta_q, \quad \delta_{13} = \delta_{x_1}$$

$$\delta_{01} = y_1 \delta_q, \quad \delta_{02} = y_1 \delta_{\bar{q}}, \quad \delta_{03} = \delta_{\bar{q}}.$$

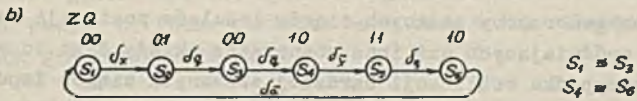
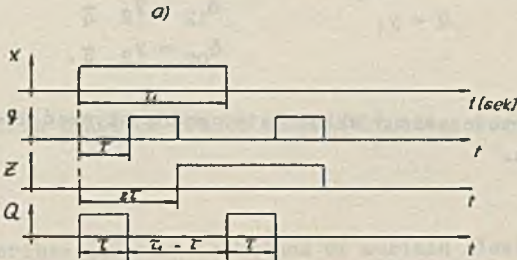
Przykład 3

Zaprojektować układ pozwalający opóźnić sygnał wejściowy x o czas 2τ (w oparciu o element opóźniający o czas τ). W tym przypadku konieczne jest wprowadzenie pomocniczego sygnału wyjściowego Q takiego, by jednoznacznie można było "zarejestrować" początek i koniec sygnału wejściowego x - rys. 12a. Zadanie to spełni ciąg dwu impulsów o czasie (trwania τ) pojawiających się w momencie pojawienia się i zaniku sygnału wejściowego x .



Rys. 11. Synteza dwujeściowego GZCJ

a) przebiegi czasowe, b) graf przejść, c) tablica przejść, tablica wzbudzeń, d) schemat logiczny



c)

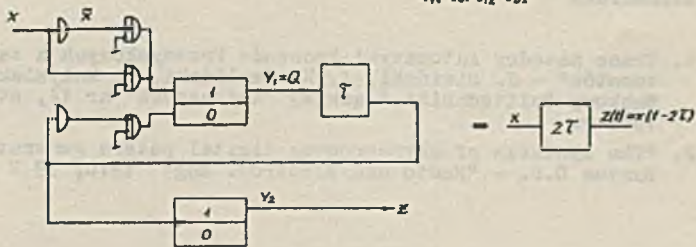
$X_1 X_2$	d_1	d_2	d_3	d_4	Z	Q
00 = S_1					0	0
10 = S_2					0	1
01 = S_4					1	0
11 = S_5					1	1

$Y_1 Y_2$	d_1	d_2	d_3	d_4	Z	Q
S_1 -00	1	0	0	1	0	0
S_4 -01		1	1	0	1	0
S_5 -11			0	1	1	1
S_2 -10			0	0	0	1

$Y_1 Y_2$	d_1	d_2	d_3	d_4
00	1	0	0	1
01		1	0	0
11			0	1
10			0	0

$Y_1 Y_2$

$d_{11} \quad d_{21} \quad d_{31} \quad d_{41}$



Rys. 12. Realizacja układu do podwojenia czasu opóźnienia

Na czas trwania sygnału wejściowego x nie narzuca się żadnego warunku ograniczającego. Wykres przejść, tablice przejść i schemat logiczny układu podwajającego opóźnienie τ pokazane są na rys. 12. Funkcje logiczne określające strukturę układu mają postać:

$$\begin{aligned} Z &= y_2 \\ Q &= y_1 \end{aligned} \quad \begin{aligned} \delta_{11} &= \delta_x + \bar{x} \\ \delta_{01} &= \delta_q \\ \delta_{12} &= \bar{y}_2 \bar{q} \\ \delta_{02} &= y_2 \bar{q}. \end{aligned}$$

W oparciu o przedstawiony układ łatwo można uzyskać $2n$ -krotne zwiększenie opóźnienia.

4. Zakończenie

Omówione generatory zadanych ciągów impulsów posiadają mniejszą liczbę elementów opóźniających niż inne równoważne układy. Jest to widoczne szczególnie w przypadku realizacji bardziej złożonych ciągów impulsów. Zmniejszenie liczby elementów czasowych (do ilości równej liczbie różnych cech czasowych w ciągu) uzyskuje się kosztem nieraz znacznego rozbudowania pozostałej części logicznej (automatu sekwencyjnego) generatora.

LITERATURA

1. Prace Katedry Automatyki Procesów Przemysłowych z zakresu "Teorii Automatów" - J. Siwiński, A. Niederliński, H. Małysiak F. Wagner - Zeszyt Naukowy Politechniki Śląskiej "Automatyka" nr 14, str. 181-213. Gliwice 1969 r.
2. "The synthesis of asynchronous digital pattern generators" - Waters M.C. Burton D.P. - "Radio and Electron. Eng" 1970, 39 N 4, 179-184.

СИНТЕЗ НЕКОТОРОГО КЛАССА ГЕНЕРАТОРОВ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ИМПУЛЬСОВ

Резюме

В статье описан метод синтеза генераторов определенных последовательностей импульсов. В описанных генераторах используются динамические автоматы, которые имеют в логических цепях обратные связи элементы задержки.

SYNTHESIS OF CERTAIN CLASS OF PULSES GENERATORS

Summary

The paper describes a synthesis method of certain class of pulses generators. In these generators the dynamic sequential circuits are used.

The feedback paths of these circuits have the delay elements. Some examples of such generators are shown.