

Marian PASKO

Lesław TOPÓR-KAMIŃSKI

Instytut Elektrotechniki
Teoretycznej i Przemysłowej
Politechniki Śląskiej

UKŁADY NIELINIOWE SC STEROWANE CZĘSTOTLIWOŚCIĄ KLUCZOWANIA

Streszczenie. W pracy opisano uniwersalny nieliniowy układ zbudowany w klasie układów SC wykonujący operacje matematyczne typu mnożenie, dzielenie i sterowanie wykładnikiem oraz pewne inne zależności nieliniowe. Układ zbudowano opierając się na dwóch układach bazowych: mnożącym (rys. 1) i wykładniczym (rys. 3). Zasada ich pracy polega na wielokrotnym sumowaniu napięcia wejściowego w okresie funkcji przełączającej (układ pierwszy) lub napięcia wyjściowego będącego wynikiem poprzedniego kroku sumy (układ drugi). Wypadkowy układ nieliniowy (rys. 4) w zależności od stanu przełączników P1 i P2 wykonuje w różnej kolejności oba działania, w wyniku czego jego pracę opisują relacje (16), (17) i (18).

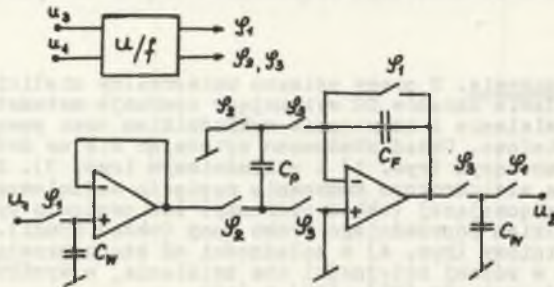
W układach wykorzystano zasadę modulacji częstotliwości lub okresu impulsów sterujących kluczami przez zewnętrzne sygnały wejściowe, na których wykonuje się operacje matematyczne.

1. Wprowadzenie

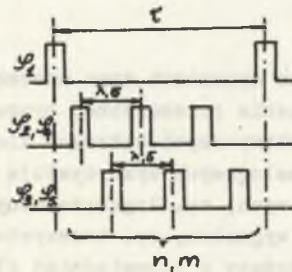
Operacje matematyczne na sygnałach typu mnożenie, dzielenie i potęgowanie, ważne z punktu widzenia przenoszonej przez nie informacji, są niemożliwe do wykonania w elektrycznych układach liniowych i stacjonarnych. Do realizacji mnożników analogowych wykorzystuje się elementy o pewnych charakterystykach nieliniowych, np. logarytmicznych lub elementy o parametrach sterowanych innym sygnałem, np. tranzystor polowy. Mając do dyspozycji analogowy układ mnożący o odpowiedniej klasie dokładności mnożenia, można tworzyć sieci elektryczne o zadanych z góry własnościach nieliniowości lub niestacjonarności czasowej. Obecnie wskutek powszechnego wprowadzenia do praktyki cyfrowych systemów sterujących (mikroprocesory) oraz sterowanych nimi układów analogowych (filtry przestrajane cyfrowo) zachodzi konieczność stosowania układów mnożących jednocześnie sygnały analogowe i cyfrowe. Istnieją także układy, w których sygnały o wartościach ciągłych (dowolna liczba rzeczywista) są przetwarzane dla dyskretnych momentów czasowych, np. układy SC. Obecnie pojawia się tendencja wprowadzania do tych układów bloków o nieliniowych funkcjach przetwarzania sygnałów. W niniejszej pracy przedstawione są koncepcje budowy układów w klasie SC wykonujących operacje mnożenia, dzielenia oraz sterowania

wykładnikiem potęgi. Rezultaty te otrzymuje się przez sterowanie częstotliwością przełączania niektórych kluczy, uzyskując efekt wielokrotnego sumowania się ładunków na pewnych kondensatorach.

2. Bazowy układ mnożąco-dzielący



Rys. 1



Rys. 2

Na rys. 1 przedstawiona jest koncepcja układu SC umożliwiającą mnożenie sygnałów u_1 i u_3 oraz dzielenie ich przez u_4 . W układzie tym proces mnożenia zmieniany jest na wielokrotne sumowanie napięcia wejściowego u_1 (z nieokreślonym współczynnikiem C_p/C_w) na kondensatorze C_p , przez sumowanie ładunków, a dokonywany jest w okresie jego kwantyzacji (rys. 2), przy czym wartość drugiego napięcia mnożonego u_3 przetwarzana jest na częstotliwość impulsów φ_2 i φ_3 sterujących pewnymi kluczami, wpływając na krotność dokonywanego sumowania.

W układzie tym ładunek na kondensatorze C_p po zamknięciu kluczy φ_2 wynosi:

$$Q_p = C_p u_1. \quad (1)$$

Po zamknięciu kluczy φ_3 ładunek Q_p jest równy Q_p . Po drugim cyklu φ_2 i φ_3 ładunek ten wynosi:

$$Q_p = Q_p + Q_p = 2C_p u_1. \quad (2)$$

Stąd po n -tym cyklu Q_p wyraża się relacją:

$$Q_p = n C_p u_1. \quad (3)$$

Po podzieleniu obustronnie przez wartość pojemności C_p otrzymuje się napięcie u_p równe wyjściowemu u_2 , czyli

$$u_p = \frac{Q_p}{C_p} = n \frac{C_p}{C_p} u_1. \quad (4)$$

Krotność n wykonania całej operacji zależy od części całkowitej liczby będącej stosunkiem okresów przebiegów sterujących τ/λ , zatem:

$$u_2 = \frac{C_p}{C_p} \cdot \frac{\tau}{\lambda} u_1 \quad (5)$$

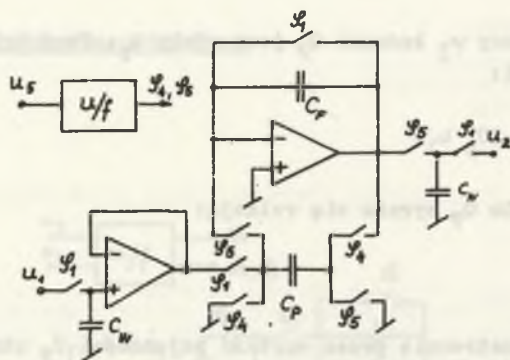
przy tym, jeżeli częstotliwości tych przebiegów będą zależne od napięć u_2 i u_4 zgodnie z relacjami

$$\frac{1}{\lambda} = a u_3 \quad (6)$$

$$\frac{1}{\tau} = b u_4 \quad (7)$$

otrzymuje się układ mnożąco-dzielący działający według zależności:

$$u_2 = \frac{C_p}{C_p} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{u_1 u_3}{u_4}. \quad (8)$$

3. Dzwojowy układ wykładniczy SC

Rys. 3

Na rys. 3 przedstawiona jest koncepcja układu SC umożliwiającego realizację funkcji wykładniczej o wykładniku sterowanym sygnałem u_5 .

Proces potęgowania zamieniany jest na wielokrotne sumowanie napięcia wyjściowego (będącego wynikiem poprzedniego kroku sumy) na kondensatorze C_p , przy czym ilość sumowań zależna jest od stosunku τ/δ częstotliwości impulsów φ_1 do φ_4 i φ_5 (rys. 2).

Dla pierwszego cyklu przełączeń klucze φ_4 i φ_5 ładunek z kondensatora C_p przeniesiony zostaje na kondensator C_f i napięcie wyjściowe wzmacniacza wynosi:

$$u_{p1} = \frac{C_p}{C_f} u_1. \quad (9)$$

W drugim cyklu przełączeń kondensator C_p ładowany jest do tego napięcia, a jego ładunek ponownie przepływa na kondensator C_f wytwarzając na nim napięcie:

$$u_{p2} = \left(\frac{C_p}{C_f}\right)^2 u_1 + \frac{C_p}{C_f} u_1. \quad (10)$$

Po $m+1$ okresach przełączeń impulsów φ_4 i φ_5 w czasie τ napięcie na kondensatorze C_p opisuje relacja:

$$u_{P(m+1)} = \frac{C_p}{C_F} u_1 \left(\frac{C_p}{C_F} + 1 \right)^m, \quad (11)$$

co wobec $m = \tau/\delta$ daje:

$$u_2 = \frac{C_p}{C_F} u_1 \left(1 + \frac{C_p}{C_F} \right)^{\frac{\tau}{\delta}}. \quad (12)$$

Zakładając przykładowo $C_p/C_F = 1$, otrzymuje się:

$$u_2 = 2^{\frac{\tau}{\delta}} u_1. \quad (13)$$

Jeżeli dodatkowy sygnał u_4 steruje częstotliwością impulsów przełączających φ_4 i φ_5 , wtedy:

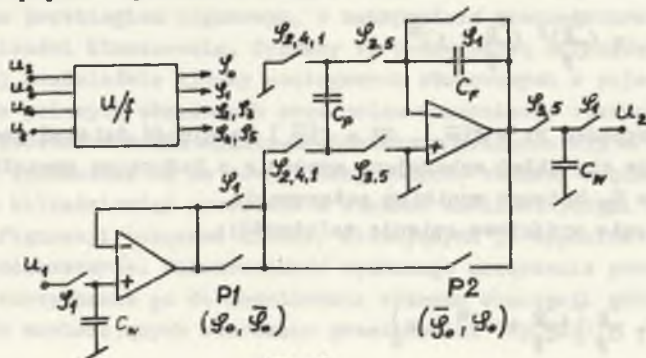
$$\frac{1}{\delta} = f_4 = 6u_5, \quad (14)$$

natomiast:

$$u_2 = u_1 \frac{C_p}{C_F} \left(1 + \frac{C_p}{C_F} \right)^{\tau 6u_5}. \quad (15)$$

4. Układ mnożaco-wykładniczy

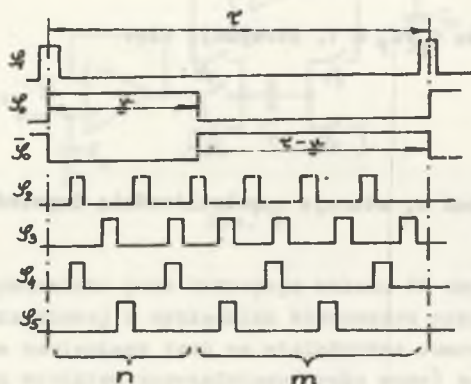
Przedstawione poprzednio układy mnożący i potęgujący mogą być wykonane jako jeden układ uniwersalny, przy czym kondensator C_p zależnie od potrzeby przełącza napięcie wejściowe lub wyjściowe.



Rys. 4

Na rys. 4 przedstawiony jest uniwersalny układ nieliniowy SC, w którym w czasie trwania okresu τ funkcji sterującej φ_1 może być wykonane jednocześnie działanie mnożenia i sterowania wykładnikiem.

Funkcja wypadkowa opisująca układ zależy od stanu przełączników P1 i P2 sterowanych przebiegami φ_0 i $\bar{\varphi}_0$, od kolejności ich załączenia oraz długości okresu γ przebiegów φ_0 i $\bar{\varphi}_0$ (rys. 5).



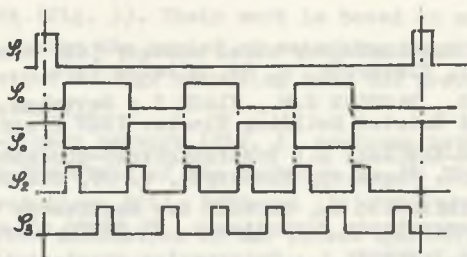
Rys. 5

Jeżeli $P1 = f(\varphi_0)$, $P2 = f(\bar{\varphi}_0)$, wtedy pierwsze w okresie τ zostanie wykonane mnożenie, a następnie potęgowanie wyniku mnożenia. Zatem po n cyklach w okresie γ otrzymuje się napięcie zgodne z relacją (4), a po $(m+1)$ cyklach w okresie $\tau - \gamma$ na podstawie wzoru (11) i uwzględnieniu zależności (4) napięcie ostateczne:

$$u_P = u_1 n \left(\frac{C_P}{C_F}\right)^2 \left(\frac{C_P}{C_F} + 1\right)^m. \quad (16)$$

Dla przypadku $P1 = f(\bar{\varphi}_0)$, $P2 = f(\varphi_0)$ kolejność działań jest odwrotna i otrzymuje się układ wykonujący mnożenie z ładunkiem początkowym na kondensatorze C_P będącym wynikiem potęgowania. Stąd napięcie wyjściowe opisuje zależność:

$$u_P = u_1 \frac{C_P}{C_F} \left[\left(\frac{C_P}{C_F} + 1\right)^m + n \right]. \quad (17)$$



Rys. 6

Trzecia możliwość pracy układu z rys. 4 zachodzi dla sterowania kluczami synchronicznie z cyklami przebiegów φ_2 i φ_3 (rys. 6), przez co działania mnożenia i potęgowania są wykonywane naprzemiennie po jednym cyklu. Otrzymuje się wtedy dla n cykli napięcie na kondensatorze C_F o postaci:

$$u_F = u_1 \frac{C_P}{C_F} \sum_{l=1}^n \left(\frac{C_P}{C_F} + 1 \right)^l \quad (18)$$

W przedstawionym uniwersalnym układzie, który w zależności od stanu kluczy P1 i P2 może być mnożącym, potęgującym lub mieszającym przy założeniu ciągłości sygnałów u_1 i u_2 , można pozostałe parametry (częstotliwości sygnałów sterujących φ) zadawać cyfrowo, tworząc nieliniowe przetworniki cyfrowo-analogowe.

Poprawność teoretycznych koncepcji przedstawionych nieliniowych sieci SC sprawdzono na uniwersalnym układzie do modelowania wykonanym w tym celu przez autorów. Układ ten zawierający elementy dyskretne składa się z dwu części: sterującej i układowej. Część pierwsza sterująca zawiera bramki logiczne TTL i pozwala uzyskać wymagane sygnały φ sterujące kluczami, synchronizowane przebiegiem zegarowym, o maksymalnie szesnastokrotnym podziale częstotliwości kluczowania. Sygnały te podawane są do części drugiej zawierającej dwadzieścia kluczy analogowych zbudowanych z pojedynczych tranzystorów polowych złączowych oraz osiem wzmacniaczy operacyjnych ULY7741. Potrzebne w danym modelu kondensatory podłącza się z zewnątrz. Obie części wyposażone są na zewnętrznej ścianie obudowy w gniazda miniaturowe oraz kilkadziesiąt przewodów z wtykami umożliwiającymi modelowanie żądanej konfiguracji połączeń kluczy, sterujących je sygnałów oraz wzmacniaczy i kondensatorów. Uniwersalność opisanego urządzenia pozwala na wielokrotne wykorzystanie go do modelowania różnych koncepcji układów SC, a także innych zawierających sterowane przełączniki (np. SR).

LITERATURA

- [1] TOPÓR-KAMIŃSKI L.: Analogowy układ mnożący jako element teorii obwodów. Z.N.Pol.Sl. Elektryka, z. 54, Gliwice 1976.
- [2] VISWANATHAN T.R., FARUGUE S.M., VLACH I.: Switched - Capacitor Trans-conductance and Related Building Blocks. IEEE Trans. CAS, No 6, 1980.
- [3] FRYCZ S., TOPÓR-KAMIŃSKI L.: Przełącznikowo-kondensatorowy układ mnożący. Z.N.Pol. Śląskiej, Elektryka, z. 95, Gliwice 1985.
- [4] CICHOCKI A., FILIPOWICZ S., OSOWSKI S.: Realizacja C-przełączanych nieliniowych generatorów funkcyjnych. XI SPETO Gliwice - Wisła 1988.
- [5] PASKO M., TOPÓR-KAMIŃSKI L.: Uniwersalny przełącznikowo-kondensatorowy układ nieliniowy. XI KKT01UE Ryto, 1988.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Stanisław Osowski

Wpłynęło do Redakcji dnia 21 lutego 1989 r.

НЕЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ SC УПРАВЛЯЕМЫЕ ЧАСТОТНОЙ МАНИПУЛЯЦИЕЙ

Резюме

В статье описана универсальная нелинейная система класса SC выполняющая также математические действия как умножение, деление и управление показателем степени, а также некоторые другие нелинейные зависимости. Система построена на основании двух фундаментальных систем множительной /Рис. 1/ и экспоненциальной /Рис. 3/. Принципы их действия заключается в многократном суммировании входного напряжения в периоде переключающей функции /первая система/ или выходного напряжения, являющегося результатом предыдущего шага суммы /вторая система/. Результирующая нелинейная система /Рис. 4/ в зависимости от состояния переключателей P1, P2 выполняет в разной очередности оба действия поэтому её работу описывают формулы /16/, /17/, /18/. В системах применено правило частотной модуляции или интервала импульсов управляющих переключателями внешними входными сигналами, на которых выполняются математические действия.

SC NON-LINEAR NETWORKS CONTROLLED WITH FREQUENCY OF KEYING

Summary

A universal non-linear network belonging to the SC class performing such mathematical operations like multiplication, division and control of the exponent and some other non-linear functions have been described in the paper.

The network consists of two basic networks: a multiplier (fig. 1) and an exponential network (fig. 3). Their work is based on multiple addition of the input voltage during the period of switching function (the first network) or of the output voltage resulting from the preceding step of the sum (the second network).

The resultant non-linear network (fig. 4) performs both operations in the order depending on the state of the switches P1 and P2, so its work is described by the relations (16), (17) and (18). The principle of frequency modulation and period modulation of the pulses controlling the keys by the external input signals on which mathematical operations are performed have been used.