

Lesław TOPÓR-KAMIŃSKI

ZASTOSOWANIE DIODY POJEMNOŚCIOWEJ W UKŁADACH NIELINIOWYCH SC

Streszczenie. Przedstawiono możliwość wykonania układów nieliniowych SC z zastosowaniem złącz p-n jako pojemności zależnych od przyłożonego napięcia. Przedstawiono wyniki pomiarów przykładowych pięciu diod krzemowych, charakterystyki napięciowe badanego układu SC oraz przebiegi pojemności statycznych tych diod w funkcji napięcia wejściowego. Dla porównania pokazano także wyniki badań typowej diody pojemnościowej. Przedstawiono przykładowy układ SC dokonujący odejmowania charakterystyk nieliniowych p-n w celu uzyskania charakterystyki niemonotonicznej z ekstremum. Otrzymane z jego pomiarów wyniki przedstawiono w postaci wykresu.

Elementem nieliniowym w układach SC analogicznym do nieliniowej rezystancji w układach rezystancyjnych jest nieliniowa pojemność, w której zgromadzony ładunek nie zależy liniowo od przyłożonego napięcia. Najpowszechniej dostępną pojemnością nieliniową jest złącze półprzewodnikowe spolaryzowane zaporowo. Funkcja zmian ładunku gromadzonego w złączu w zależności od przyłożonego napięcia zależy od koncentracji domieszek spowodowanej rodzajem technologii ich wytwarzania [2]. Do teoretycznego opisu tego zjawiska przyjmuje się dwa wyidealizowane modele rozkładu domieszek: skokowy (technologia stopowa, epitaksjalna i dyfuzyjna) i liniowy (technologia głęboko dyfuzyjna).

Przyrost ładunku na złączu skokowym spolaryzowanym zaporowo w funkcji napięcia opisuje zależność [1]:

$$q = K_a \left(\sqrt{\psi_0} - \sqrt{\psi_0 - U_z} \right), \quad (1)$$

w której:

ψ_0 - napięcie kontaktowe półprzewodników w złączu,

K_a - stała zależna od powierzchni złącza i szybkości zmian koncentracji domieszek.

W typowych zastosowaniach wykorzystujących pojemności złącza p-n (diody pojemnościowe) istotna jest pojemność różniczkowa złącza, którą opisuje zależność:

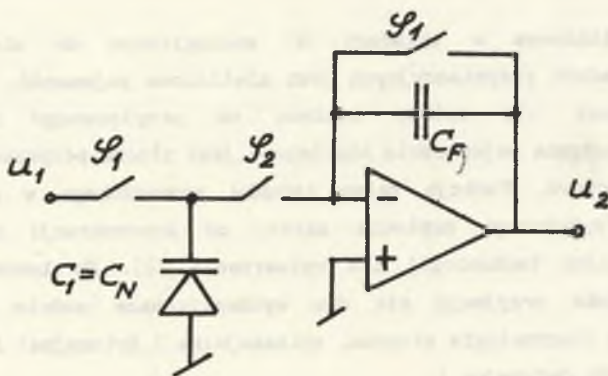
$$C_J = \frac{dQ}{dU_z} \quad (2)$$

gdyż pracują one tam dla małych sygnałów dużej częstotliwości, a przestrajane są słabym napięciem U_0 .

W układach SC pojemności ładowane są do wartości sygnałów wejściowych wolnozmiennych modulowanych częstotliwością przełączającą klucze. Istotna jest zatem w nich pojemność statyczna złącza C_N w zależności od napięcia polaryzacji:

$$C_N = \frac{Q_N}{U_z} \quad (3)$$

W celu przebadania pracy złącza p-n w układach SC zbudowano układ pokazany na rys.1.



Rys.1.

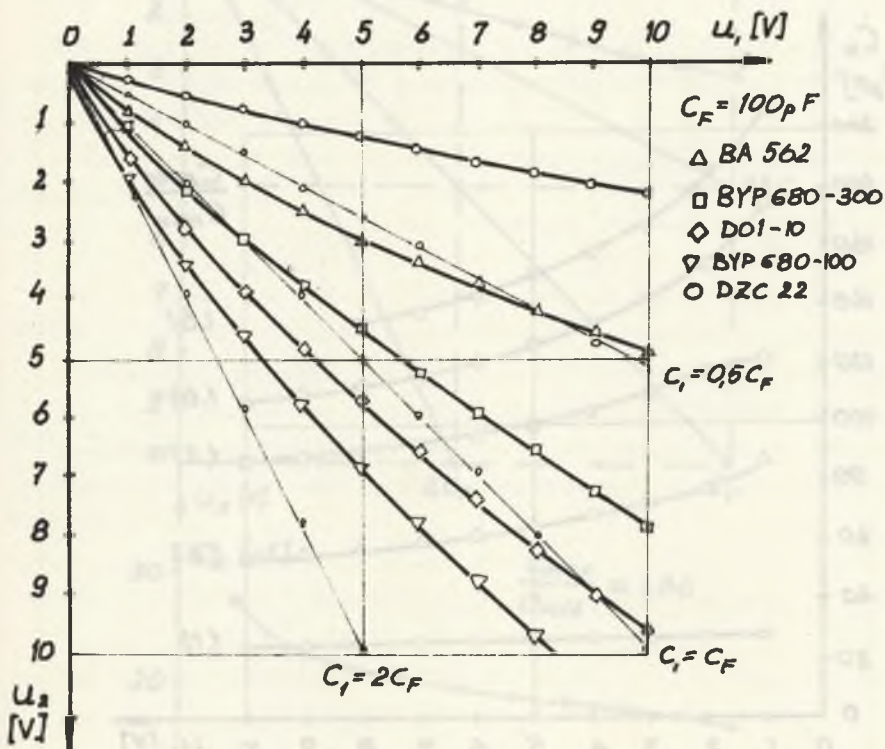
W układzie tym Q_N zgromadzony na pojemności złącza C_N zależy nieliniowo od napięcia u_1 i ładuje pojemność liniową C_F wytwarzając napięcie wyjściowe u_2 zgodnie z zależnością:

$$u_2 = - \frac{Q_N}{C_F} \quad (4)$$

Korzystając z relacji (3) można zapisać (4) inaczej jako:

$$u_2 = - \frac{Q_N}{C_F} u_1. \quad (5)$$

W przedstawionym układzie przebadano pięć zwykłych diod półprzewodnikowych prostowniczych jako przykłady złącz o różnych charakterystykach pojemnościowych. Wyniki pomiarów przedstawiono na rys.2.



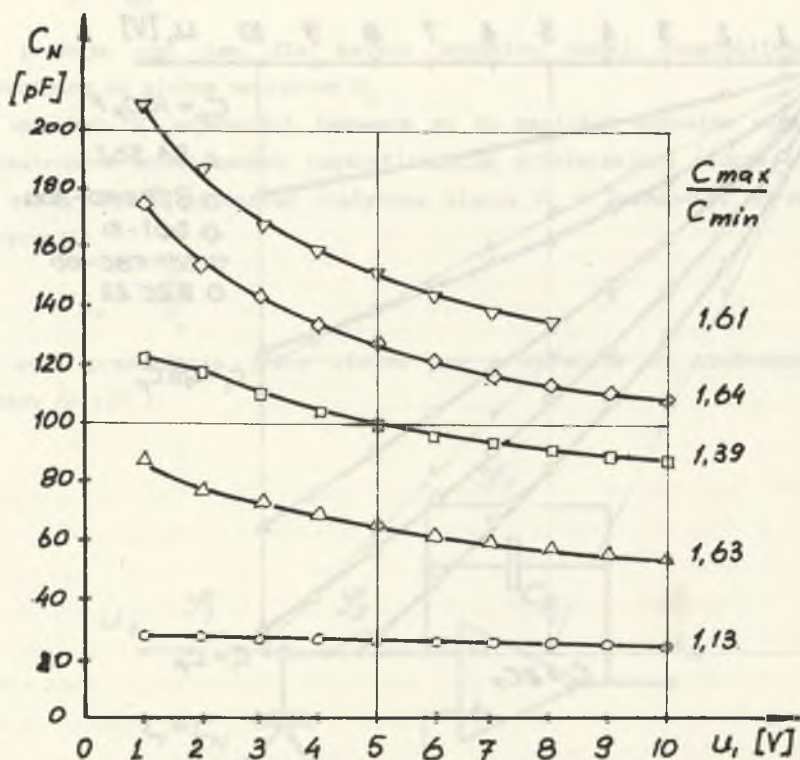
Rys. 2.

Sygnal wejściowy u_1 był napięciem stałym 0-10 V, natomiast sygnał wyjściowy u_2 mierzono woltomierzem wartości szczytowej w celu wygładzenia przebiegu impulsowego.

Linie proste na wykresie otrzymano z pomiarów dla pojemności C_1 liniowych o wartościach będących wielokrotnościami pojemności C_F . Wyznaczono je w celu weryfikacji dokładności działania układu (np. liniowość kluczy).

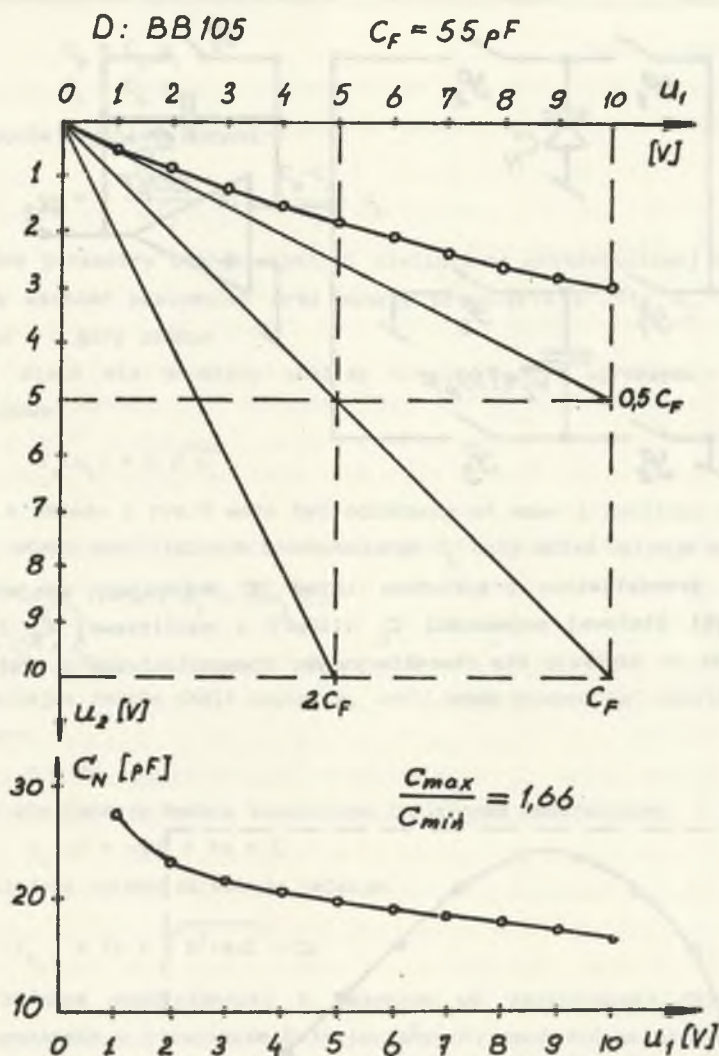
Na rys.3 przedstawiono przebiegi C_N dla każdego przykładowego złącza obliczone według przekształconej relacji (5) na podstawie wyników pomiarów w

układzie z rys. 2. Zamieszczono także wartości stosunków największej pojemności C_N do najmniejszej w badanym zakresie napięć, określających w przybliżeniu względny zakres zmian pojemności statycznej złącza. Zbadane diody są zwykłymi diodami prostowniczymi o różnych powierzchniach złącza (różne prądy znamionowe).



Rys. 3.

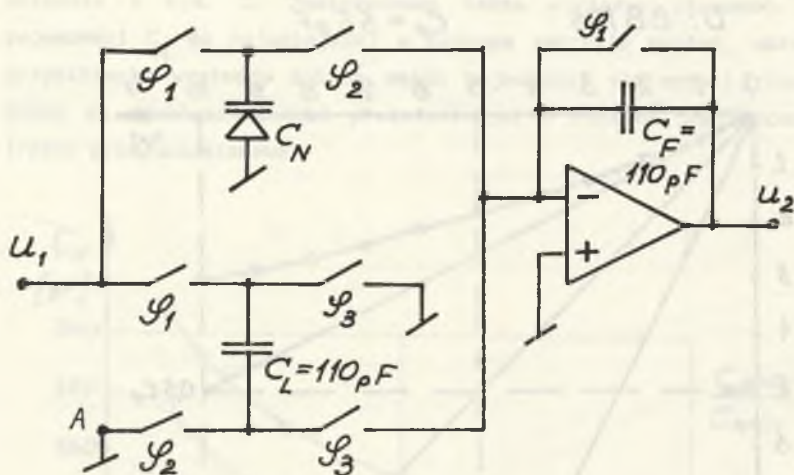
Na rys.4 przedstawione są natomiast wyniki pomiarów diody krzemowej BB105, specjalnie skonstruowanej jako pojemnościowa. Wykazuje ona mniejsze wartości bezwzględne pojemności złącza (mała powierzchnia złącza), lecz największą jej zmienność w stosunku do pozostałych diod.



Rys. 4.

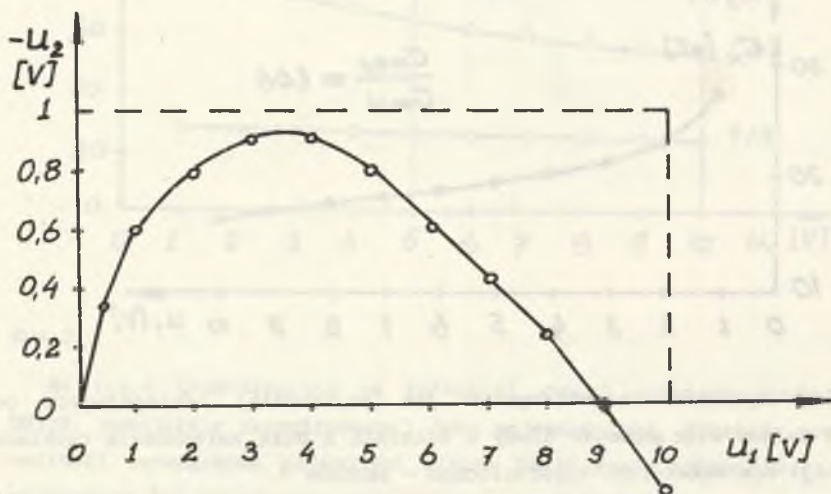
W celu uzyskania charakterystyk jak najbardziej odbiegających od liniowych należy więc stosować diody o złączach z dużą zmiennością rozkładu koncentracji domieszek (np. hiperboliczno - skokowe).

Inne charakterystyki nieliniowe można uzyskać przez zastosowanie rozbudowanych układów SC przekształcających pierwotne charakterystyki pojemności C_N przez wykonanie na nich takich operacji, jak: odwrótność, dodawanie i odejmowanie.



Rys. 5.

Na rys.5 przedstawiono przykładowy układ SC dokonujący odejmowania charakterystyki liniowej pojemności C_L (110pF) i nieliniowej C_N (dioda DO1-10), przez co uzyskuje się charakterystykę niemonotoniczną z ekstremum (rys.6).



Rys. 6.

W układzie tym klucze sterowane są zegarem trójfazowym. Na pojemnościach wejściowych gromadzą się ładunki Q_N i Q_L sumowane następnie na pojemności C_F o wartościach:

$$Q_N = C_N u_1, \quad (6)$$

$$Q_L = C_L u_1. \quad (7)$$

Stąd napięcie wyjściowe wynosi:

$$u_2 = - \frac{Q_N + Q_L}{C_F} = - \frac{C_N - C_L}{C_F} u_1. \quad (8)$$

Niektóre parametry charakterystyki nieliniowej przedstawionej na rys.6, takie jak wartość maksymalna oraz punkty przecięcia z osią u_1 , mogą być regulowane i z góry zadane.

I tak niech dla prostoty analizy krzywa $f_N(u_1)$ aproksymuje funkcja pierwiastkowa:

$$f_N(u_1) = b \sqrt{u_1}. \quad (9)$$

Punkt A układu z rys.5 może być odłączony od masy i zasilany napięciem stałym E, wtedy przy liniowym kondensatorze C_L cały układ opisuje zależność:

$$u_2(u_1) = b \sqrt{u_1} - (a u_1 - E), \quad (10)$$

gdzie $a = C_L / C_F$.

Wprowadzając zmianę skali napięcia, czyli nową zmienną "z" zdefiniowaną następująco:

$$z = \sqrt{x} \quad (11)$$

otrzymuje się funkcję będącą klasycznym trójmianem kwadratowym:

$$u_2(z) = -az^2 + bz + E. \quad (12)$$

Jego miejsca zerowe określają relacje:

$$z_{1,2} = (b \pm \sqrt{b^2 + 4aE}) / 2a. \quad (13)$$

Przy zadanym współczynniku b zależnym od zastosowanej diody można wyliczyć parametr a i napięcie E takie, aby otrzymać żądane miejsca zerowe na podstawie relacji (13), z których otrzymuje się zależności:

$$a = b / (z_1 + z_2), \quad (14)$$

$$c = -0,25 b (z_1 + z_2). \quad (15)$$

Wartość ekstremum otrzymanej nieliniowości można określić wstawiając do relacji (12) zmienną z o wartości:

$$z_m = (z_1 + z_2) / 2 \quad (16)$$

Ekstremum to może być dodatkowo regulowane bez zmiany położenia miejsc zerowych przez dodatkowy stopień wzmacniający napięcie u_2 , dołączony do

wyjścia całego układu.

Przedstawiony układ może mieć zastosowanie do aproksymacji funkcji

$f_N(z) = k \sin \alpha z$ w granicach $0 < \alpha z < \pi / 2$, czyli:

$$f_N(z) = k [A(z/\alpha) - B(z/\alpha)^2] \quad (17)$$

Przy założeniu $k, \alpha = 1$ i punktach aproksymacji $z_1 = 0,736$ rad i $z_2 = \pi/2$ rad otrzymuje się funkcję aproksymującą o postaci:

$$f_N(z) = 1,15z - 0,33z^2, \quad (18)$$

przy czym maksymalny błąd odchylenia od funkcji zadanej nie przekracza $\pm 2,1\%$.

Podobnie można poszukiwać współczynników dla aproksymacji przy podstawieniu $z^2 = u_1$.

Układy aproksymujące funkcję sinus mogą mieć zastosowanie w generatorach funkcyjnych budowanych w technice SC.

Przy badaniu przedstawionych układów nie zauważono, większego niż błąd pomiaru, wpływu zmian częstotliwości kluczowania przełączników w granicach od 1,8 do 36 kHz na przebieg badanych zależności nieliniowych. Radań wpływu temperatury na modelowane charakterystyki nie przeprowadzono, lecz, jak wynika z przytoczonej literatury, nie ma ona znaczącego wpływu na wartość pojemności złącza.

Przedstawione układy i przeprowadzone pomiary wskazują na możliwość zastosowania półprzewodnikowych złączy p-n jako pojemności nieliniowych w układach SC.

LITERATURA

- [1] Gray P.E., Searle C.L.: Electronic Principles, Physics, Models and Circuits. John Wiley, New York 1969.
- [2] Marciniak W.: Przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone. WNT, Warszawa 1984.
- [3] Pasko M., Topór-Kamiński L.: Uniwersalny przełącznikowo-kondensatorowy układ nieliniowy. XI KKT0iUE, Ryto 1988.
- [4] Topór-Kamiński L.: Układ nieliniowy SC z komparatorem napięcia. SPETO, Wisła 1989.
- [5] Pasko M., Topór-Kamiński L.: Modelowanie funkcji ciągłych odcinkami liniowymi w układach SC z komparatorami. XII KKT0iUE, Myczkowce, 1989.

Recenzent: doc.dr hab.inż. Andrzej Cichocki

Wpłynęło do Redakcji dnia 24 maja 1990 r.

USE OF CAPACITANCE DIODE IN NONLINEAR SC NETWORKS

S u m m a r y

The possibilities of obtaining of nonlinear SC networks with the use of p-n functions depending on applied voltage have been shown. The results of the measurements of five selected silicon diodes, voltage characteristics of the examined SC network substracting nonlinear p-n characteristics to obtain nonmonotonous characteristic with extremum has been shown as the example. Its experimental characteristics have been plotted.

ПРИМЕНЕНИЕ ЕМКОСТНОГО ДИОДА В НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЯХ SC

Р е з ю м е

Представлена возможность построения нелинейных цепей SC с применением переходов p-n как емкостей зависящих отложенного напряжения. Представлены результаты измерений пяти примерных кремневых диодов, электрические характеристики исследуемой цепи SC, а также изменения статических емкостей этих диодов в зависимости от входящего напряжения. Для сравнения указаны также результаты измерений типичного емкостного диода. Представлена примерная цепь SC выполняющая операцию отнимания нелинейных характеристик p-n с целью получения немонотонной характеристики с максимумом. Полученные результаты измерения представлены в виде графика.