INSTYTUT TECHNOLOGII ELEKTRONICZNEJ POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ
INSTYTUT PODSTAW ELEKTRONIKI POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ
SEKCJA UKŁADÓW ELEKTRONICZNYCH KOMITETU ELEKTRONIKI
I TELEKOMUNIKACJI POLSKIEJ AKADEMII NAUK

III KRAJOWA KONFERENCJA
„TEORIA OBWODÓW I UKŁADY ELEKTRONICZNE"

Teksty referatów

Stawiska k/Gdańska, 24 – 27 października 1979

Dariusz Lewandowski
Bogdan Wilamowski
Instytut Technologii Elektronicznej
Politechniki Gdańskiej

MODELOWANIE UKŁADÓW TYPU I^2L

I. Wstęp

Modelowanie układów typu I^2L jest ostatnio przedmiotem zainteresowań wielu autorów. Wyróżnić można dwa kierunki badań. Jeden związany z analizą i modelowaniem zjawisk fizycznych w strukturze I^2L głównie w celu identyfikacji parametrów [1][2][3]. Drugi to tworzenie makromodeli podstawowej struktury [4][5]. Ten drugi jest o tyle ważny, że układy I^2L charakteryzuje się niewielką obciążalnością, która istotnie ogranicza możliwości połączeń pomiędzy układami. Modele uwzględniają zarówno dynamiczne jak i statyczne właściwości układów.

II. WŁASCIWOSCI DYNAMICZNE

Iloczyn czasu opóźnienia τ i prądu zasilającego bramkę I_s jest w szerokim zakresie prądów wielkością stałą

$$\tau \times I_s = \frac{V_{sw}}{I_i} C_p I_s = \frac{1}{\alpha_i} V_{sw} C_p \qquad /1/$$

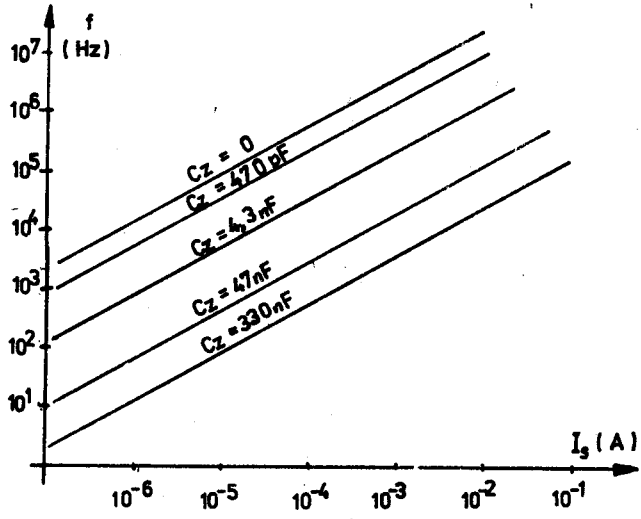
gdzie V_{sw} - amplituda logiczna
I_i - prąd injektora
C_p - złączowe pojemności pasożytnicze
α_i - sprawność injektora

Przy uwzględnieniu rezystancji szeregowych R_s i składowej dyfuzyjnej pojemności $C_d = \tau_o I_i / V_T$ wartość opóźnienia bramki wynosi:

$$\tau = \left(\frac{V_{sw}}{I_i} + R_s\right) \times \left(C_p + \frac{\tau_o I_i}{V_T}\right) \qquad /2/$$

gdzie $V_T = \frac{kT}{q}$ - potencjał termiczny
τ_o - wypadkowy czas powstawania nośników mniejszościowych w obszarach aktywnych struktury.

O wartości iloczynu $\tau \times I_s$ decyduje wartość złączowych pojemności pasożytniczych. Potwierdzają to pomierzone charakterystyki czasu opóźnienia bramki od prądu przy wykorzystaniu pierścienia oscylatora złożonego z inwerterów typu I^2L. Charakterystyki zdjęto dołączając do każdego z inwerterów zewnętrzne pojemności C_z. Uzyskane wyniki ilustruje rys. 1.



rys. 1

Określenie właściwości dynamicznych bramki I^2L w szerokim zakresie prądów zasilania jest zatem zagadnieniem stosunkowo prostym sprowadzającym się do znalezienia wartości złączowych pojemności pasożytniczych. Natomiast bardziej skomplikowanym jest określenie zminimalizowanego czasu opóźnienia bramki związanego z istnieniem pojemności dyfuzyjnych. Wymaga to szczegółowej analizy zjawisk fizycznych w podstawowej strukturze układu, a wartość tego opóźnienia zależy od wymiarów geometrycznych i poziomu domieszkowania obszarów aktywnych struktury. Zagadnienie to zostało szczegółowo przedyskutowane w innej pracy autorów [6].

III. MODELOWANIE WŁASCIWOSCI STATYCZNYCH

Celem znalezienia charakterystyk przejściowych bramki I^2L ze względu na jej silnie nieliniowy charakter, wymagana jest numeryczna analiza układu. Przyjęto uproszczony model tranzystora

słuszny dla szerokiego zakresu temperatur.

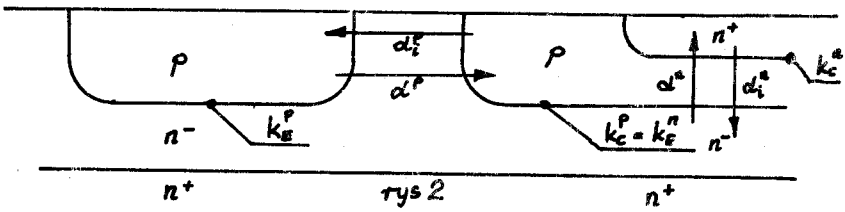
$$I_c = \alpha k_E \exp\left(\frac{V_{EB} - E_g}{V_T}\right) + k_c \exp\left(\frac{V_{CB} - E_g}{V_T}\right) \qquad /3/$$

$$I_E = k_E \exp\left(\frac{V_{EB} - E_g}{V_T}\right) + \alpha_i k_c \exp\left(\frac{V_{CB} - E_g}{V_T}\right) \qquad /4/$$

Przykładowe parametry modelu dla tranzystorów pnp i npn w strukturze I^2L zastosowano w tabeli

	E_g	α	α_i	k_E	k_c
npn	1,21V	0,95	0,99	$5\cdot10^6$A	$6\cdot10^6$A
pnp	1,21V	0,6	0,02	$5\cdot10^5$A	$5\cdot10^6$A

Przekrój struktury I^2L ilustruje rys. 2. Indeks p oznacza parametry tranzystora pnp, a indeks n parametry tranzystora npn.



rys 2

Można zauważyć, że $k_c^p = k_E^n$ jest to bowiem to samo złącze. Również $\alpha^n + \alpha_i^p < 1$, warunek ten wynika z rozpływu prądów dziurowych i elektronowych w tym złączu

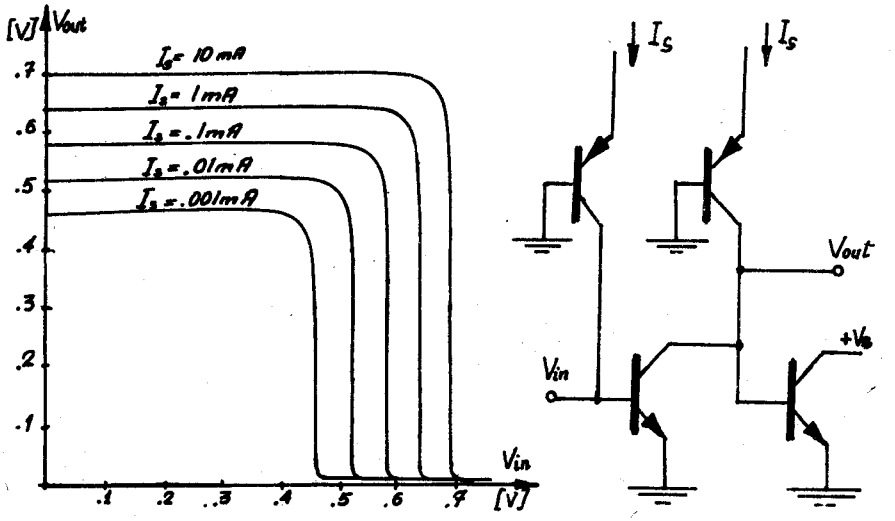
Obliczone napięciowe charakterystyki dla różnych prądów zasilania ilustruje rys. 3, zaś ta sama charakterystyka dla różnych temperatur przedstawiona jest na rys. 4.

Przejściowe charakterystyki prądowe ilustruje rys. 5. Charakterystyki te praktycznie nie zależą od temperatury, jeżeli założyć że współczynniki wzmocnienia tranzystorów α, α_i są stałe. Przy przyjęciu, że współczynniki wzmocnienia tranzystorów rosną o 1% na 1°C, charakterystyka nieznacznie się przesuwa.

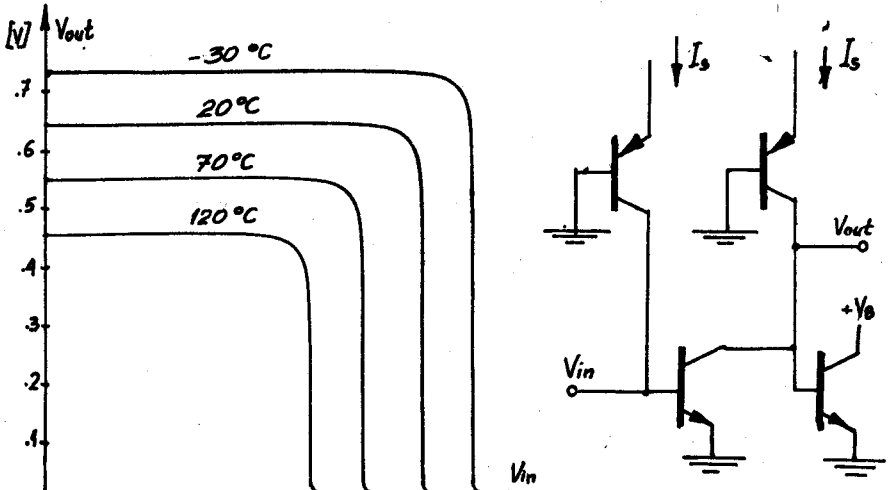
Stosunek I_{out} do I_{in} przy ustalonym prądzie zasilania można również obliczyć analitycznie.

$$\gamma = \frac{I_{out}}{I_{in}} = \frac{1}{1 - \alpha^n - \alpha^p \alpha_i^n} \cdot n \qquad /5/ = \frac{\beta_n}{1 - \alpha_i^p \alpha^p}$$

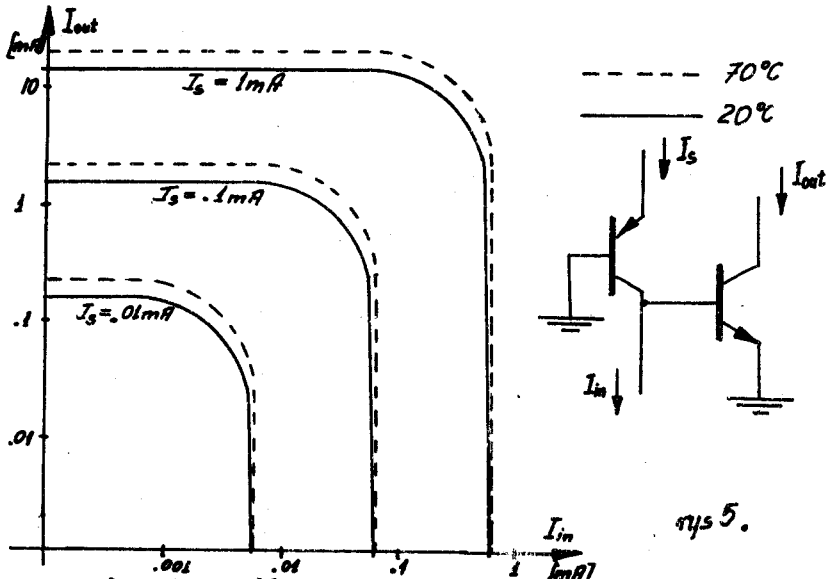
gdzie n - liczba kolektorów jednej bramki.


[V] Vout
I_s= 10 mA
I_s= 1mA
I_s = .1mA
I_s = .01mA
I_s = .001mA
.7
.6
.5
.4
.3
.2
.1
Vin
.1 .2 .3 .4 .5 .6 .7 [V]
I_s
I_s
Vout
+Vb
Vin

rys 3


[V] Vout
-30 °C
20°C
70°C
120 °C
.7
.6
.5
.4
.3
.2
.1
Vin
.1 .2 .3 .4 .5 .6 .7
I_s
I_s
Vout
+Vb
Vin

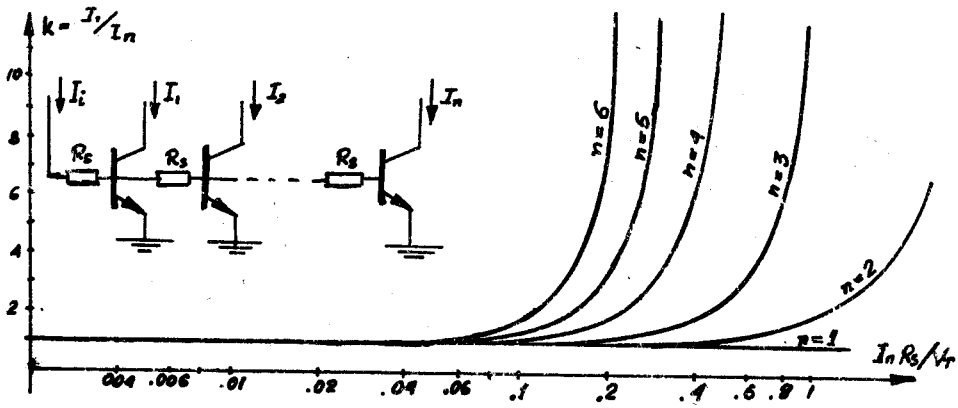
rys 4



rys 5.

IV. NIERÓWNOMIERNOŚĆ ROZPŁYWU PRADU

Fakt istnienia rezystancji szeregowych baz tranzystorów npn powoduje efekt nierównomierności rozpływu prądów. Jest on szczególnie istotny w zakresie dużych prądów, gdzie czas opóźnienia bramki jest minimalny. Można wprowadzić współczynnik k określający stosunek prądów, pierwszego i ostatniego kolektora. Obliczanie wartości tego współczynnika sprowadza się do wielokrotnej analizy nieliniowego układu i możliwe jest tylko przy wykorzystaniu komputera. Rys. 6 ilustruje wartość współczynnika k w funkcji znormalizowanej wartości prądu, przy ilości kolektorów n jako parametrze.



rys 6

Warunkiem poprawnej pracy układów I^2L jest by maksymalny prąd wyjściowy bramki był większy od sumy maksymalnych prądów wejściowych dołączonych bramek. Z warunku tego określić można maksymalną liczbę bramek dołączonych do jednego wyjścia.

$$\rho < \frac{\gamma m}{n k} \qquad /7/$$

gdzie m - stosunek prądu zasilającego bramkę do średniej wartości prądów zasilających dołączonych bramek,

n, γ, k - określone zostały wcześniej.

V. WNIOSKI

Warunkiem poprawnej pracy układów jest spełnienie zależności /7/. Wartość parametru γ określonego wzorem /6/ powinna być jak największa. Wynika stąd warunek na jak największy współczynnik sprawności wstrzykiwania emitera tranzystora npn. Narzuca to określone warunki konstrukcyjne takie jak szerokości baz tranzystorów npn i pnp oraz określa poziomy domieszkowania obszarów.

Temperatura ma wpływ na wartość napięciowej amplitudy logicznej, jednak różnice temperatur przy łączeniu różnych układów typu I^2L nie są istotne i nie mają praktycznie wpływu na obciążalność i margines szumów bramek logicznych. Logika ta jest logiką typu prądowego. Obciążalność jest prostą funkcją prądu zasilania. Ma to szczególne znaczenie przy łączeniu układów I^2L zasilanych różnymi wartościami prądów. Celowym jest zasilanie większym prądem układów sterujących niż sterowanych.

VI. BIBLIOGRAFIA

1 F.M. Klaassen, IEEE Trans.Electron Devices, vol.ED-22, pp. 145-152, Mar. 1975

2 S.S. Rafail, M.I.Elmasry, E.L.Heasel, IEEE Trans. Electron Devices, vol, ED-24, pp. 234-241, Mar. 1977.

3 S.S.Rafail, M.I.Elmasry, E.L.Heasell, Trans. Electron Devices, vol. ED-25, pp. 1120-1125, Sept. 1978.

4 D.B.Estreich, R.W.Dutton, B.W.Wong, IEEE J. Solid-State Circuits, vol. SC-11, pp. 648-656, Oct. 1976.

5 H.H. Berger, Microelectronics Journal, vol. 9, pp. 16-23 April 1979.

6 D.Lewandowski, B.M.Wilamowski, Model ładunkowy do wyznaczania właściwości dynamicznych inwertera SITL, przygotowane do opublikowania na III Krajowej Konferencji Teorii Obwodów i Układów Elektronicznych, 1979r.