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

Bogdan Wilamowski
Instytut Technologii Elektronicznej
Politechniki Gdańskiej

MODELOWANIE PODUKŁADÓW SCALONYCH Z UWZGLĘDNIENIEM ZJAWISK CIEPLNYCH

1. WSTĘP

Układy scalone charakteryzują się niewielkimi rozrzutami parametrów pomiędzy elementami tego samego układu. Również różnice temperatur na powierzchni układu są stosunkowo niewielkie. Powoduje to określoną specyfikę projektowania układów scalonych i narzuca rozwiązania kompensujące wpływ temperatury zewnętrznej.

Fakt, że temperatura układu scalonego skutkiem wydzielonej mocy różni się często od temperatury otoczenia powoduje, że pomierzone charakterystyki tych układów różnią się czasami znacznie od charakterystyk obliczonych bez uwzględnienia efektu samogrzania. Większość metod komputerowej analizy i projektowania układów scalonych nie uwzględnia niestety wpływu temperatury.

2. MODEL TRANZYSTORA

W analizie statycznych charakterystyk podukładów scalonych przyjęto model tranzystora, który w obszarze aktywnym opisany jest następującymi zależnościami:

$$I_C = K \cdot \exp\left(\frac{V_{EB} - E}{V_T}\right) \qquad /1/$$

$$I_C = A \cdot \left(1 - \frac{B}{T}\right) \cdot \left(1 - \left(\frac{I_C}{C}\right)^m \cdot T\right) \cdot I_B \qquad /2/$$

gdzie $V_T = kT/q$

A, B, C, E, K, m - parametry modelu, które dla tranzystora z układu SFC2046 wynoszą odpowiednio: 550, 180 K, 1850 mA, 1.21 V, $2.6 \cdot 10^8$ mA, 1.7.

Model ten ma prostszą postać, niż model oparty na zjawiskach fizycznych [1]. Jest on słuszny dla zakresu średnich i dużych prądów. Uwzględnia temperaturową zależność szerokości przerwy energetycznej i rezystancji szeregowych. Uwzględniana jest też zależność współczynnika wzmocnienia β od temperatury i zmiana znaku we współczynniku $\frac{d\beta}{\beta dT}$ przy dużych prądach.

Aktualną wartość temperatury powierzchni układu określono z zależności.

$$T = T_a + R_{th} \cdot \Sigma P \qquad /3/$$

gdzie T_a - temperatura otoczenia

R_{th} - wypadkowa rezystancja termiczna

ΣP - suma mocy wydzielonych w układzie

3. ANALIZA I POMIARY ŹRÓDEŁ PRADOWYCH

W celu wykazania istotności sprzężeń cieplnych przeprowadzono komputerową analizę typowego źródła prądowego o stałej wydajności, którego schemat ilustruje rysunek 1. Na rysunku 2 przedstawiono wyniki obliczeń prądu źródła I_z od napięcia na źródle V_z dla różnych wartości rezystora R_E przy uwzględnieniu /linia ciągła/ i bez uwzględnienia /linia przerywana/ zjawiska samogrzania. Obliczeń dokonano przy wykorzystaniu minikomputera HP 9830 A. Można zauważyć, że przy uwzględnieniu zjawisk cieplnych źródło ma ujemną wartość rezystancji wyjściowej:

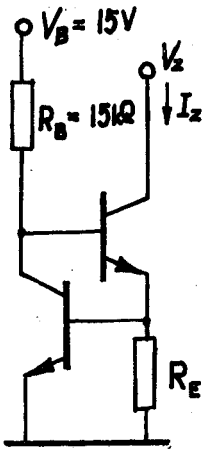
$$R_n = - R_E \frac{T}{(V_{EB} - E) \cdot R_{th} \cdot I_z} \qquad /4/$$

To przybliżone wyrażenie otrzymać można z zależności

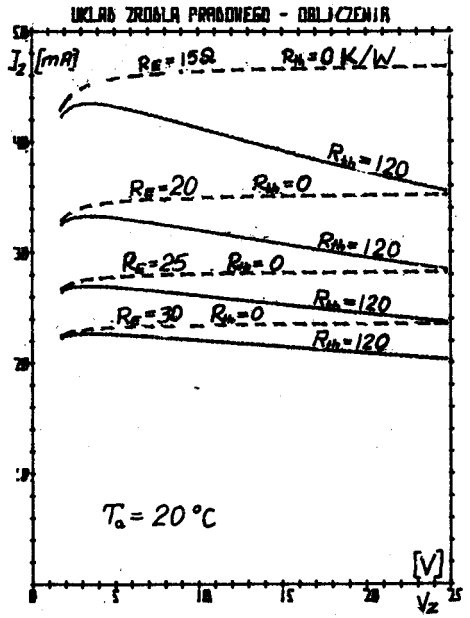
$$\frac{dV_{EB}}{dT} = \frac{V_{EB} - E}{T} \qquad /5/$$

$$\frac{dT}{dP} = R_{th} \qquad /6/$$

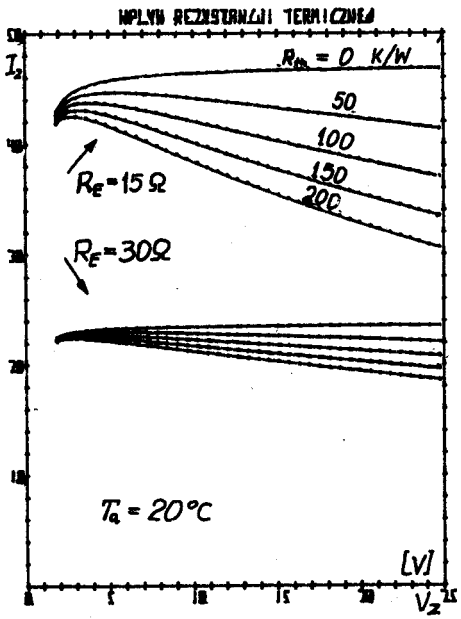
Na rysunku 3 przedstawiono obliczone charakterystyki wyjściowe źródła prądowego z rys. 1 dla dwóch wartości rezystancji R_E i różnych wartości rezystancji termicznej R_{th}. Rysunek 4



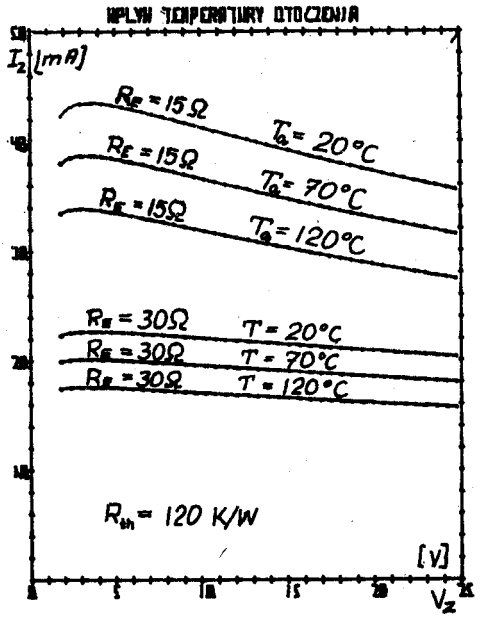
rys 1



rys 2



rys 3

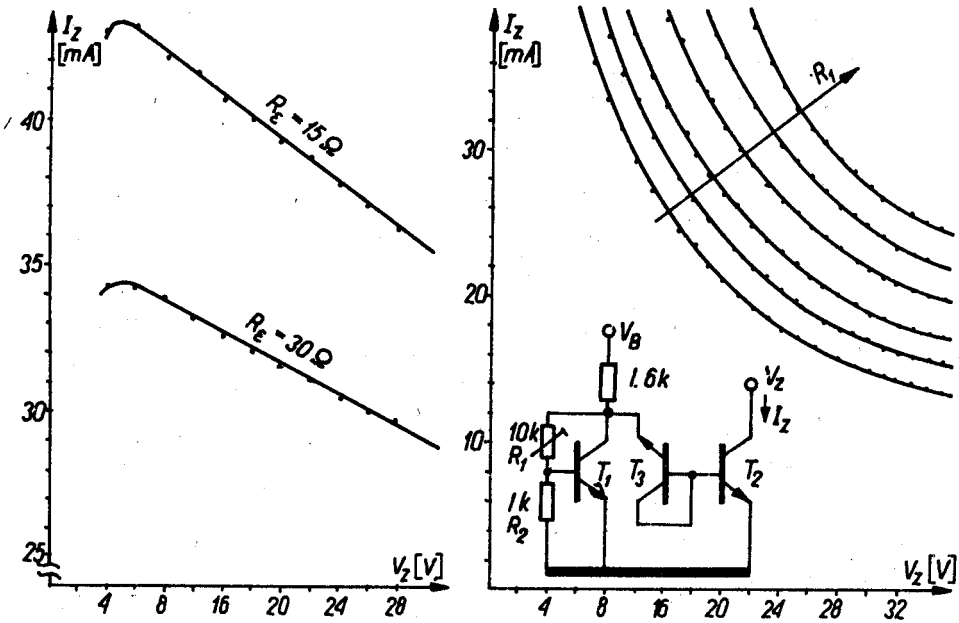


rys 4

ilustruje wpływ temperatury otoczenia.

Układ z rysunku 1 zamodelowany został przy wykorzystaniu tranzystorów z układu scalonego SFC 2046 i rezystorów zewnętrznych. Pomierzone charakterystyki wyjściowe układu dla dwóch wartości rezystorów $R_E = 15\Omega$ i $R_E = 20\Omega$ przedstawione są na rysunku 5. Charakterystyki te pokrywają się z obliczonymi charakterystykami z rysunku 2 przy uwzględnieniu efektu samogrzania.

Opracowany został również układ w którym występuje bardzo silny efekt ujemnej rezystancji wyjściowej spowodowany zjawiskami cieplnymi. Schemat tego układu i pomierzone charakterystyki dla różnych wartości mocy traconej w układzie ilustruje rysunek 6.



Kształt pomierzonej charakterystyki wyjściowej zbliżony jest do hiperboli $P = I_Z \cdot V_Z$, a wynika to z faktu, że temperatura powierzchni układu w niewielkim stopniu zależny od napięcia kolektora tranzystora T_2.

4. WNIOSKI

W modelowaniu i komputerowej analizie układów scalonych, dla uzyskania poprawnych wyników, niezbędne jest nie tylko uwzględnienie modeli tranzystorów z parametrami zależnymi od temperatury, ale i uwzględnienie sprzężeń termicznych. Badane źródło prądowe skutkiem efektu samogrzania zachowywało się jak element o ujemnej rezystancj wyjściowej.

Najprostszą metodą uwzględniania sprzężeń cieplnych w układach scalonych jest obliczanie łącznej mocy traconej w układzie i wynikających stąd zmian temperatury elementów. Uwzględnienie tylko tego efektu samogrzania, czasami okazać się może nie wystarczające. W przypadku, gdy duże są różnice temperatur na powierzchni układu scalonego należy uwzględnić bardziej złożoną, wieloparametrową postać rezystancji termicznych [2].

5. BIBLIOGRAFIA

[1] W. Janke, S. Święciński, B. Wilamowski, Stałoprądowy model tranzystora, Rozprawy Elektrotechniczne, 1978, 24, z.1, ss 181-190.

[2] B. Wilamowski, Problemy projektowania bipolarnych układów scalonych, praca habilitacyjna, Politechnika Gdańska 1977.