

Gerd RESZKA
Ośrodek ETO
Politechniki Śląskiej

PRZYKŁAD ANALIZY STAŁOPRĄDOWEJ UKŁADU PRZEŁĄCZAJĄCEGO
PRZY POMOCY PROGRAMU NOLCAP-DC¹⁾

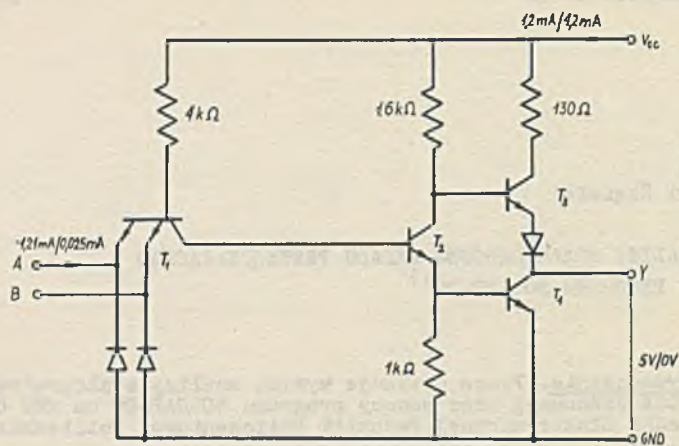
Streszczenie. Praca obejmuje wyniki analizy stałoprądowej bramki SF.C400E dokonanej przy pomocy programu NOLCAP-DC na EMC ODRA 1204 w Ośrodku Elektronicznej Techniki Obliczeniowej Politechniki Śląskiej.

Analiza stałoprądowa układów przełączających wymaga modeli elementów półprzewodnikowych, obejmujących cały obszar charakterystyk roboczych tych elementów (odcięcie, praca liniowa, nasycenie), lub zmiany tych modeli w zależności od punktu pracy elementu. Ta ostatnia ewentualność jest dość kłopotliwa i nie zawsze łatwa do realizacji, ze względu na konieczność znajomości a priori obszaru pracy tych elementów. Modelem wolnym od powyżej podanych niedogodności jest wykładniczy model złącza p-n, którego pochodną jest model tranzystora, zwany modelem Ebersa-Molla. Model ten jest modelem uniwersalnym (model dużych sygnałów). Niestety, schematy zastępcze układów elektronicznych budowane na bazie nieliniowego modelu złącza p-n prowadzą do zagadnienia analizy sieci nieliniowych zawierających źródła sterowane. Program NOLCAP-DC umożliwia analizę stałoprądową sieci elektrycznych ze źródłami sterowanymi wszystkich klas i zawierających nieliniowości typu wykładniczego. Użyjemy go więc do badania rozprężu prądów w elemencie przełączającym SF.C400E. Schemat elektryczny bramki SF.C400E firmy SESCOSEM przedstawia rys. 1.

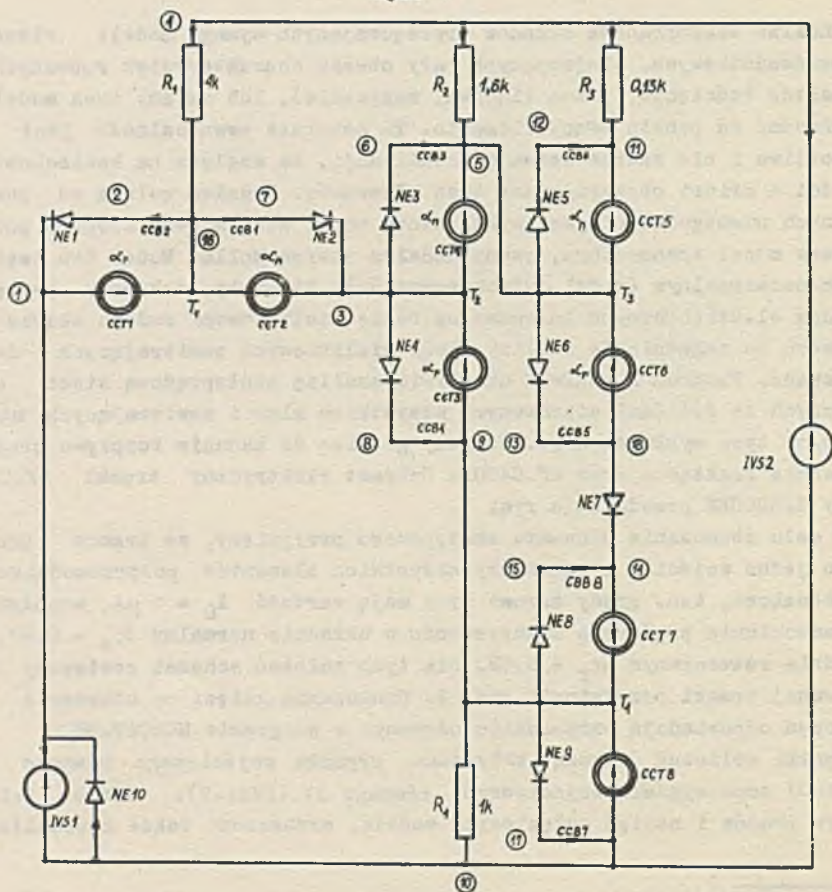
W celu zbudowania schematu zastępczego przyjmamy, że bramka posiada tylko jedno wejście, a parametry wszystkich elementów półprzewodnikowych są jednakowe, tzn. prądy zerowe diod mają wartość $I_0 = 1 \mu A$, współczynniki wzmocnienia prądowego tranzystorów w układzie normalnym $\alpha_n = 0,99$, a w układzie rewersyjnym $\alpha_r = 0,02$. Dla tych założeń schemat zastępczy analizowanej bramki przedstawia rys. 2. Oznaczenia gałęzi na schemacie zastępczym odpowiadają oznaczeniom używanym w programie NOLCAP-DC.

Wyniki obliczeń dotyczą przypadku sygnału wejściowego równego zeru ($IVS_1=0$) oraz sygnału wejściowego równego 5V ($IVS_1=5$). Oprócz pełnego zbioru prądów i napięć gałęziowych modelu, wyznaczono także znormalizowa-

¹⁾ Program NOLCAP-DC jest częścią pracy doktorskiej autora.



Rys. 1



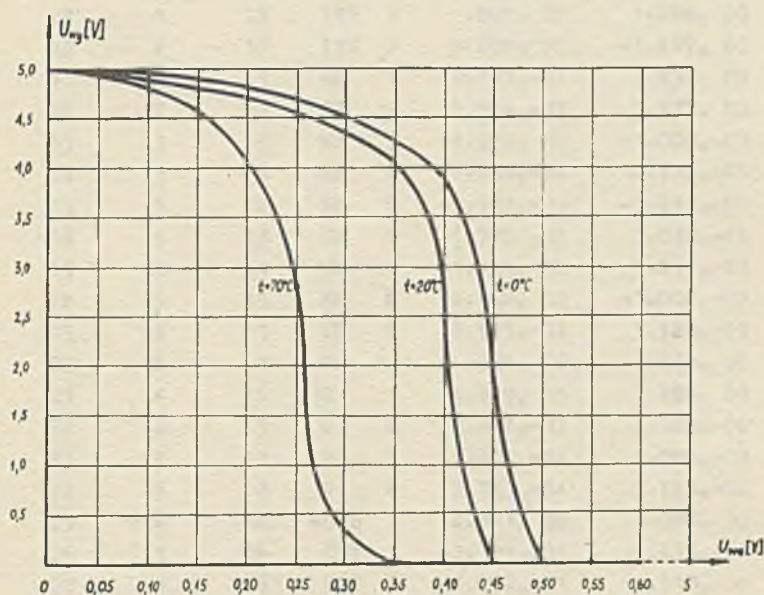
Rys. 2

ne współczynniki czułości w postaci $\frac{\partial u_{wy}}{\partial p_i}$, pozwalające ocenić wpływ zmian wartości poszczególnych parametrów na napięcie wyjściowe bramki. Z analizy tych współczynników widać, że jedynym parametrem, który w znaczny sposób wpływa na napięcie wyjściowe bramki jest napięcie zasilania (IVS2), co oznacza, że brak jest elementów, których zmiany byłyby krytyczne w obu stabilnych stanach bramki. Chodzi tu oczywiście o względnie małe zmiany wartości tych elementów (wynikłe np. w procesie produkcyjnym).

Poza tym wyznaczono także charakterystykę statyczną elementu postaci $U_{wy} = f(U_{we})$. Charakterystykę tę wyznaczono dla trzech wartości temperatur złącz p-n:

- dla temperatury $t_n = 20^\circ\text{C}$, dla której wyznaczono też rozkład prądów i napięć w bramce;
- dla temperatur $t_{\min} = 0^\circ\text{C}$ i $t_{\max} = 70^\circ\text{C}$, jako temperatur skrajnych przewidzianych przez producenta.

Wyniki obliczeń zawiera Dodatek A a omawiane charakterystyki przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3

Na rys. 1 naniesiono także najważniejsze prądy i napięcia wynikające z analizy modelu. Przedstawiono je w postaci $w1/w2$, gdzie $w1$ jest wartością danej wielkości (prądu lub napięcia) dla $U_{we}=0$ a $w2$ wartością tej wielkości dla $U_{we} = 5\text{V}$. Dioda d10, która nie wpływa praktycznie na wyniki obliczeń, została uwzględniona w modelu celem wytestowania procedury ite-

racyjnej programu NOLCAP-DC (10 zamiast 9 równań nieliniowych). Czas jednej analizy, tzn. wyznaczenie rozptywu prądów i współczynników czułości, wyniósł około 2 min.

LITERATURA

- [1] RESZKA G.: Analiza maszynowa pewnej klasy obwodów elektronicznych z uwzględnieniem wykładniczego modelu złącza p-n. Praca doktorska.
- [2] TTL-CIRCUITS. Katalog SESCOSEM.

DODATEK A

Wyniki obliczeń

UKŁAD SCALONY SF.C400E 27.03.1974

No	NODE		BRANCH	BRANCH	BRANCH
	INITIAL	FINAL	LIST	VOLTAGE [V]	CURRENT [mA]
1	16	7	CCB 1	.000 ₁₀ 00	1.217 ₁₀ 00
2	16	2	CCB 2	.000 ₁₀ 00	1.230 ₁₀ 00
3	6	5	CCB 3	.000 ₁₀ 00	-1.000 ₁₀ -03
4	8	9	CCB 4	.000 ₁₀ 00	-2.728 ₁₀ -05
5	13	18	CCB 5	.000 ₁₀ 00	1.038 ₁₀ -03
6	12	11	CCB 6	.000 ₁₀ 00	-5.211 ₁₀ -05
7	17	10	CCB 7	.000 ₁₀ 00	3.925 ₁₀ -05
8	15	14	CCB 8	.000 ₁₀ 00	-1.000 ₁₀ -03
9	1	10	IVS 1	.000 ₁₀ 00	1.206 ₁₀ 00
10	4	10	IVS 2	5.000 ₁₀ 00	-1.207 ₁₀ 00
11	2	1	NE 1	1.797 ₁₀ -01	1.230 ₁₀ 00
12	7	3	NE 2	1.794 ₁₀ -01	1.217 ₁₀ 00
13	3	6	NE 3	-4.998 ₁₀ 00	-1.000 ₁₀ -03
14	3	8	NE 4	-6.984 ₁₀ -04	-2.728 ₁₀ -05
15	5	12	NE 5	-1.351 ₁₀ -03	-5.211 ₁₀ -05
16	5	13	NE 6	1.798 ₁₀ -02	1.038 ₁₀ -03
17	18	14	NE 7	1.799 ₁₀ -02	1.039 ₁₀ -03
18	9	15	NE 8	-4.962 ₁₀ 00	-1.000 ₁₀ -03
19	9	17	NE 9	9.723 ₁₀ -04	3.925 ₁₀ -05
20	10	1	NE 10	.000 ₁₀ 00	.000 ₁₀ 00
21	4	16	R 1	4.820 ₁₀ 00	1.205 ₁₀ 00
22	4	5	R 2	1.492 ₁₀ -03	9.323 ₁₀ -04
23	4	11	R 3	1.403 ₁₀ -04	1.080 ₁₀ -03
24	9	10	R 4	9.723 ₁₀ -04	9.723 ₁₀ -04
25	×14	×10	×OVB	4.963 ₁₀ 00	.000 ₁₀ 00
26	1	16	CCT 1	-1.797 ₁₀ -01	2.434 ₁₀ -02
27	3	16	CCT 2	-1.794 ₁₀ -01	1.218 ₁₀ 00
28	9	3	CCT 3	6.984 ₁₀ -04	-2.000 ₁₀ -05
29	5	3	CCT 4	4.998 ₁₀ 00	-2.700 ₁₀ -05
30	11	5	CCT 5	1.351 ₁₀ -03	1.027 ₁₀ -03
31	18	5	CCT 6	-1.798 ₁₀ -02	-1.042 ₁₀ -06
32	14	9	CCT 7	4.96	-05
33	10	9	CCT 8	-9.723 ₁₀ -04	-2.000 ₁₀ -05

NORMALIZED SENSITIVITY COEFFICIENTS

No	NSC
1	.000 ₁₀ 00
2	.000 ₁₀ 00
3	.000 ₁₀ 00
4	.000 ₁₀ 00
5	.000 ₁₀ 00
6	.000 ₁₀ 00
7	.000 ₁₀ 00
8	.000 ₁₀ 00
9	.000 ₁₀ 00
10	4.867 ₁₀ 00
11	1.130 ₁₀ -03
12	-1.130 ₁₀ -03
13	-1.525 ₁₀ -03
14	6.558 ₁₀ -05
15	8.930 ₁₀ -05
16	1.254 ₁₀ -02
17	1.255 ₁₀ -02
18	-2.507 ₁₀ -02
19	-9.391 ₁₀ -04
20	.000 ₁₀ 00
21	-8.946 ₁₀ -07
22	-1.404 ₁₀ -03
23	-4.514 ₁₀ -06
24	-8.879 ₁₀ -04
25	.000 ₁₀ 00
26	1.807 ₁₀ -08
27	1.131 ₁₀ -03
28	-1.825 ₁₀ -05
29	4.069 ₁₀ -05
30	1.543 ₁₀ -03
31	1.104 ₁₀ -05
32	-9.750 ₁₀ -04
33	1.826 ₁₀ -05

No	NODE		BRANCH		BRANCH
	INITIAL	FINAL	LIST	VOLTAGE [V]	CURRENT [mA]
1	16	7	CCB 1	.000 ₁₀ 00	1.123 ₁₀ 00
2	16	2	CCB 2	.000 ₁₀ 00	-1.000 ₁₀ -03
3	6	5	CCB 3	.000 ₁₀ 00	1.105 ₁₀ 00
4	8	9	CCB 4	.000 ₁₀ 00	4.119 ₁₀ 00
5	13	18	CCB 5	.000 ₁₀ 00	1.199 ₁₀ -01
6	12	11	CCB 6	.000 ₁₀ 00	-1.000 ₁₀ -03
7	17	10	CCB 7	.000 ₁₀ 00	4.085 ₁₀ 00
8	15	14	CCB 8	.000 ₁₀ 00	3.924 ₁₀ 00
9	1	10	IVS 1	5.000 ₁₀ 00	-2.446 ₁₀ -02
10	4	10	IVS 2	5.000 ₁₀ 00	-4.193 ₁₀ 00
11	2	1	NE 1	-4.402 ₁₀ 00	-1.000 ₁₀ -03
12	7	3	NE 2	1.774 ₁₀ -01	1.123 ₁₀ 00
13	3	6	NE 3	1.770 ₁₀ -01	1.105 ₁₀ 00
14	3	8	NE 4	2.102 ₁₀ -01	4.119 ₁₀ 00
15	5	12	NE 5	-4.741 ₁₀ 00	-1.000 ₁₀ -03
16	5	13	NE 6	1.211 ₁₀ -01	1.199 ₁₀ -01
17	18	14	NE 7	1.211 ₁₀ -01	1.199 ₁₀ -01
18	9	15	NE 8	2.090 ₁₀ -01	3.924 ₁₀ 00
19	9	17	NE 9	2.100 ₁₀ -01	4.085 ₁₀ 00
20	10	1	NE 10	-5.000 ₁₀ 00	-1.000 ₁₀ -03
21	4	16	R 1	4.402 ₁₀ 00	1.101 ₁₀ 00
22	4	5	R 2	4.757 ₁₀ 00	2.973 ₁₀ 00
23	4	11	R 3	1.556 ₁₀ -02	1.197 ₁₀ -01
24	9	10	R 4	2.100 ₁₀ -01	2.100 ₁₀ -01
25	×14	×10	×OVB	1.014 ₁₀ -03	.000 ₁₀ 00
26	1	16	CCT 1	4.402 ₁₀ 00	2.246 ₁₀ -02
27	3	16	CCT 2	-1.774 ₁₀ -01	-9.900 ₁₀ -04
28	9	3	CCT 3	-2.102 ₁₀ -01	2.210 ₁₀ -02
29	5	3	CCT 4	-1.770 ₁₀ -01	4.078 ₁₀ 00
30	11	5	CCT 5	4.741 ₁₀ 00	1.187 ₁₀ -01
31	18	5	CCT 6	-1.211 ₁₀ -01	-2.000 ₁₀ -05
32	14	9	CCT 7	-2.090 ₁₀ -01	4.044 ₁₀ 00
33	10	9	CCT 8	-2.100 ₁₀ -01	7.849 ₁₀ -02

NORMALIZED SENSITIVITY COEFFICIENTS

No	NSC
1	.000 ₁₀ 00
2	.000 ₁₀ 00
3	.000 ₁₀ 00
4	.000 ₁₀ 00
5	.000 ₁₀ 00

6	.000 ₁₀ 00
7	.000 ₁₀ 00
8	.000 ₁₀ 00
9	-1.726 ₁₀ -06
10	-4.332 ₁₀ -04
11	-3.451 ₁₀ -07
12	-2.217 ₁₀ -06
13	3.772 ₁₀ -04
14	-3.797 ₁₀ -04
15	6.373 ₁₀ -08
16	3.744 ₁₀ -04
17	3.744 ₁₀ -04
18	2.487 ₁₀ -02
19	-2.525 ₁₀ -02
20	.000 ₁₀ 00
21	3.853 ₁₀ -04
22	-3.892 ₁₀ -06
23	-9.918 ₁₀ -10
24	-1.981 ₁₀ -05
25	.000 ₁₀ 00
26	-7.864 ₁₀ -06
27	4.978 ₁₀ -09
28	-5.541 ₁₀ -06
29	-1.412 ₁₀ -03
30	1.544 ₁₀ -07
31	6.243 ₁₀ -08
32	-2.564 ₁₀ -02
33	-7.404 ₁₀ -06

U0[V]

MP

t=0 C

4.962 ₁₀ 00	5.000 ₁₀ -02
4.938 ₁₀ 00	1.000 ₁₀ -01
4.868 ₁₀ 00	1.500 ₁₀ -01
4.754 ₁₀ 00	2.000 ₁₀ -01
4.615 ₁₀ 00	2.500 ₁₀ -01
4.461 ₁₀ 00	3.000 ₁₀ -01
4.283 ₁₀ 00	3.500 ₁₀ -01
3.973 ₁₀ 00	4.000 ₁₀ -01
1.706 ₁₀ 00	4.500 ₁₀ -01
6.261 ₁₀ -04	5.000 ₁₀ -01
5.992 ₁₀ -04	5.500 ₁₀ -01
5.961 ₁₀ -04	6.000 ₁₀ -01
5.958 ₁₀ -04	6.500 ₁₀ -01

U0[V]	MP	t=20 C
4.950 ₁₀ 00	5.000 ₁₀ -02	
4.905 ₁₀ 00	1.000 ₁₀ -01	
4.813 ₁₀ 00	1.500 ₁₀ -01	
4.687 ₁₀ 00	2.000 ₁₀ -01	
4.540 ₁₀ 00	2.500 ₁₀ -01	
4.369 ₁₀ 00	3.000 ₁₀ -01	
4.102 ₁₀ 00	3.500 ₁₀ -01	
2.479 ₁₀ 00	4.000 ₁₀ -01	
9.606 ₁₀ -02	4.500 ₁₀ -01	
1.030 ₁₀ -03	5.000 ₁₀ -01	
1.016 ₁₀ -03	5.500 ₁₀ -01	
1.014 ₁₀ -03	6.000 ₁₀ -01	

U0[V]	MP	t=70 C
4.860 ₁₀ 00	5.000 ₁₀ -02	
4.796 ₁₀ 00	1.000 ₁₀ -01	
4.583 ₁₀ 00	1.500 ₁₀ -01	
4.128 ₁₀ 00	2.000 ₁₀ -01	
2.805 ₁₀ 00	2.500 ₁₀ -01	
3.587 ₁₀ -01	3.000 ₁₀ -01	
4.964 ₁₀ -03	3.500 ₁₀ -01	
4.722 ₁₀ -03	4.000 ₁₀ -01	
4.679 ₁₀ -03	4.500 ₁₀ -01	
4.671 ₁₀ -03	5.000 ₁₀ -01	
4.669 ₁₀ -03	5.500 ₁₀ -01	
4.669 ₁₀ -03	6.000 ₁₀ -01	

ПРИМЕР АНАЛИЗА НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬНОЙ СХЕМЫ
ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММЫ NOLCAP-DC

Резюме

В статье подаются результаты анализа на постоянном токе интегральной схемы СФ.Ц400Е. Анализ был выполнен при помощи программы NOLCAP-DC на ЭЦМ ОДРА-1204 в вычислительном центре Силезского политехнического института.

THE SWITCHING CIRCUIT DC ANALYSIS
BY THE PROGRAM NOLCAP-DC

Summary

In the paper the results of DC-Analysis of an Integrated Circuit SF.C400E, performed by the NOLCAP-DC program on the ODRA 1204 computer installed in the Computer Centre of the Silesian Technical University, are presented.