

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Кафедра мікроелектроніки

ЗВІТ
про виконання лабораторної роботи №6
з дисципліни: «Напівпровідникова електроніка»
Тема роботи: «Дослідження тиристорів»

Виконав студент 3-го курсу групи ДП-91
Ремез Сергій Олександрович

(підпис)

(дата здачі)

Перевірів Королевич Любомир Миколайович

(підпис)

(дата здачі)

1. МЕТА РОБОТИ

Теоретичне вивчення структури і принципу роботи тиристорів. Експериментальне дослідження характеристик і визначення основних параметрів тиристора.

2. ЗАВДАННЯ

1. Вивчити устрій і фізичні принципи роботи тиристорів, ознайомитись з їх паспортними характеристиками
2. Зібрати установку для дослідження тиристорів.
3. Зняти вихідні вольт-амперні характеристики тиристора при різних струмах управління: сімейство $U_{AK} = f(I_A)$ [для $I_y = const$].
4. Зняти характеристику управління тиристора – залежність анодної напруги вмикання від струму управляючого електрода: $U_{\text{вм}} = \varphi_i(I_y)$.
5. *Провести температурні дослідження: зняти вольт-амперну характеристику і характеристику управління при температурі $+70^\circ\text{C}$.
6. За отриманими даними побудувати графіки ВАХ і характеристик управління та визначити основні параметри тиристора.
7. Провести аналіз результатів досліджень і зробити висновки з роботи.

3. СХЕМА ВИМІРЮВАННЯ

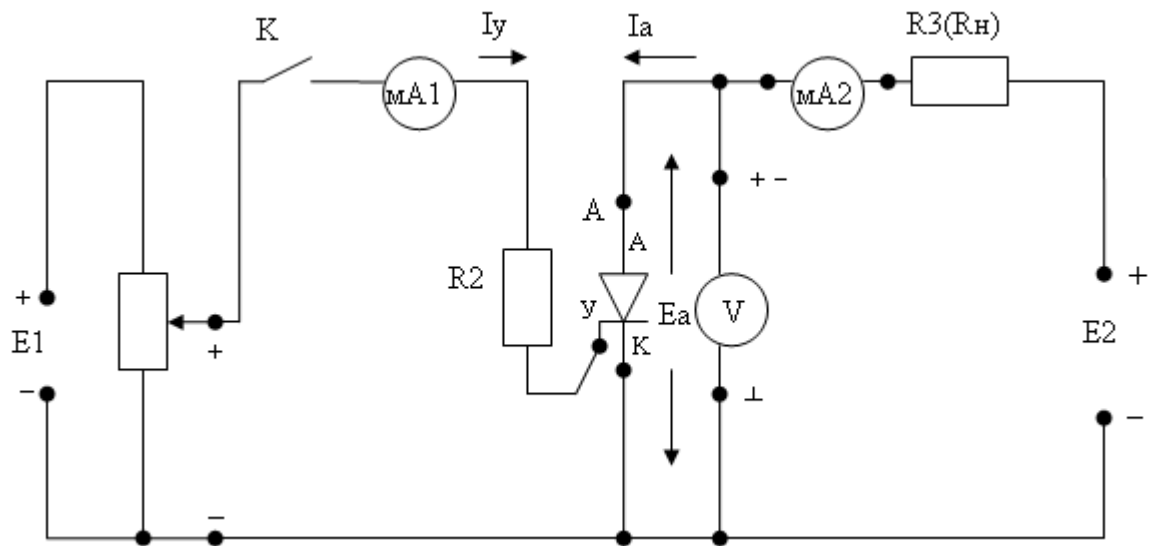


Рис. 1. Схема вимірювання ВАХ тиристора

mA_1 — міліамперметр зі шкалами 0.3-1.5-3.0 мА для вимірювання I_y ;

mA_2 — міліамперметр зі шкалами 1.5...15 мА для вимірювання струму анода;

V — вольтметр постійного струму (електронний);

E_1 — джерело живлення на 10...30 В;

E_2 — джерело живлення на 100...300 В;

K — ключ однополюсний (або звичайний роз'єднувальний контакт);

R_1, R_4 — реостати по 1000 Ом (чи використовуються регульовальні потенціометри вбудовані в блоки живлення);

$R_2 = 2...10$ кОм; $R_3 = 6...20$ кОм — навантажувальні резистори.

4. ОБРОБКА ДАНИХ

Експериментальні дані наведені у розділі Додатки. За отриманими значеннями напруги та струму побудуємо сімейство прямих гілок та зворотну гілку ВАХ.

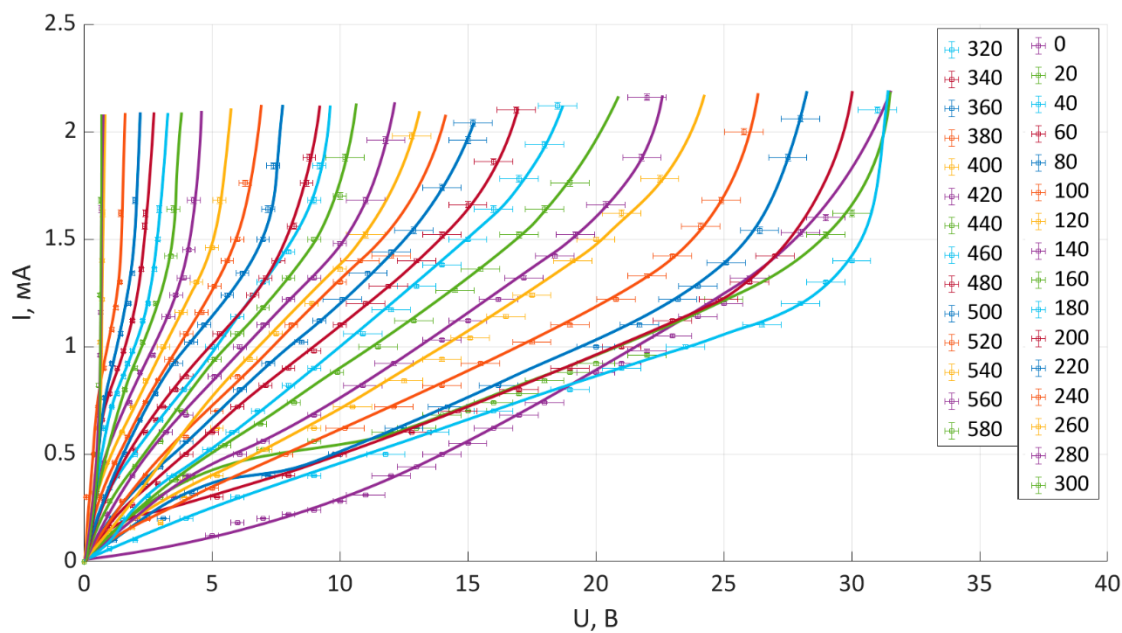


Рис. 2. Сімейство прямих гілок ВАХ тиристора

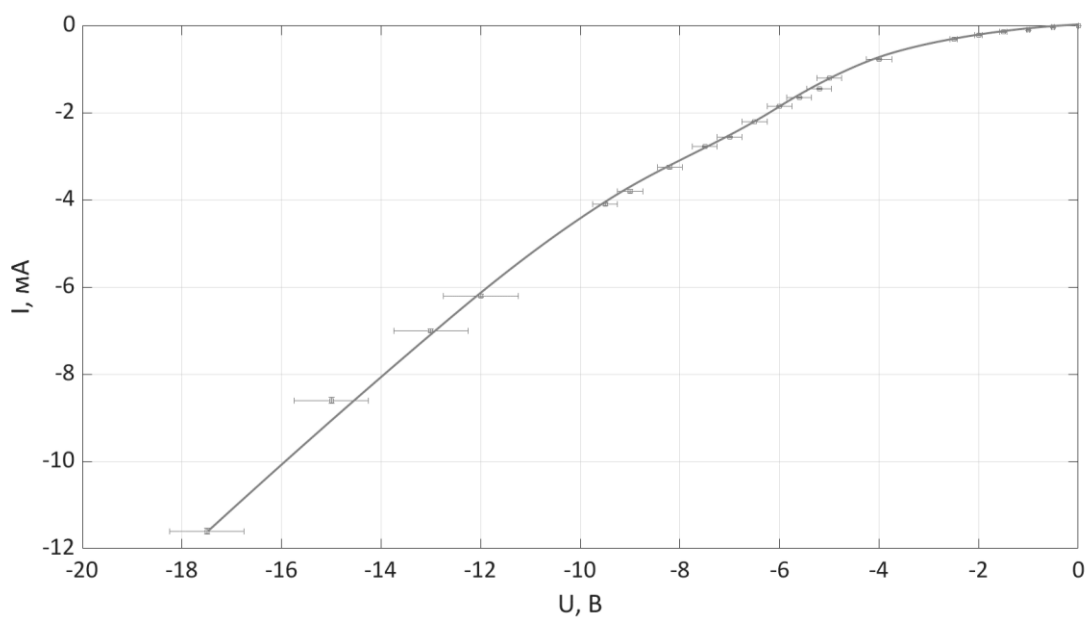


Рис. 3. Зворотна гілка ВАХ тиристора

З рисунку 2 можемо знайти напругу вмикання (при кожному значення струму керування). Знайдемо залежність анодної напруги вмикання (напруга, за якої тиристор із закритого стану переходить у відкритий за нульового струму керування) від струму керування (або іншими словами пускова характеристика).

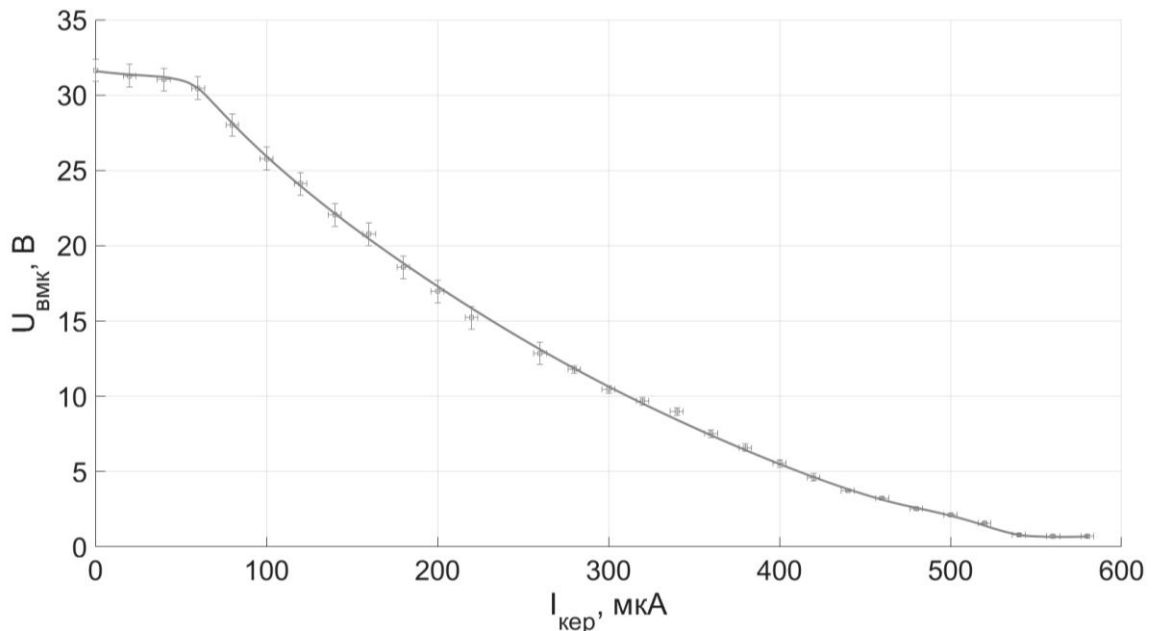


Рис.4. Пускова характеристика

Аналізуючи залежність на рис. 4, робимо висновок, що зі зростанням струму керування напруга вмикання на тиристорі буде зменшуватись.

Одним з основних параметрів можна вважати якість тиристорів. Для того, щоб її дослідити, побудуємо залежність відношення опорів закритого і відкритого станів від струму керування.

Опір і похибку можемо знайти за наступними формулами:

$$r_{\theta} = \frac{(U_2 - U_1)}{(I_2 - I_1)} \quad (1)$$

$$\Delta r_{\theta} = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial r_{\theta}}{\partial U_1} \cdot \Delta U_1\right)^2 + \left(\frac{\partial r_{\theta}}{\partial U_2} \cdot \Delta U_2\right)^2 + \left(\frac{\partial r_{\theta}}{\partial I_1} \cdot \Delta I_1\right)^2 + \left(\frac{\partial r_{\theta}}{\partial I_2} \cdot \Delta I_2\right)^2} =$$

$$= \pm \frac{\sqrt{(I_2 - I_1)^2 \cdot ((-\Delta U_1)^2 + (\Delta U_2)^2) + (U_2 - U_1)^2 \cdot ((\Delta I_1)^2 + (-\Delta I_2)^2)}}{(I_2 - I_1)^2}. \quad (2)$$

Для побудови відношення опорів закритого і відкритого станів від струму керування знайдемо опір відкритого стану. Для цього знайдемо опір кривих при $I_{кер} = 540 \text{ мкА}$, $I_{кер} = 560 \text{ мкА}$, $I_{кер} = 580 \text{ мкА}$, а розраховані значення занесемо у таблицю 1.

$I_{кер}, [\text{мкА}]$	$r_{відкр}, [\text{кОм}]$	$\Delta r_{відкр}, [\text{кОм}]$	$\bar{r}_{відкр}, [\text{кОм}]$	$\Delta \bar{r}_{відкр}, [\text{кОм}]$
540	0,14	0,035	0,0933	0,0204
560	0,03	0,035		
580	0,11	0,035		

Таблиця 1. Опір тиристора у відкритому стані та похибка

Аналогічним чином ми можемо визначити опір в закритому стані. Для цього беремо точки лінійних ділянок кожної гілки ВАХ на рис. 2. За розрахованими значеннями динамічного опору побудуємо залежність відношення опору тиристора у закритому стані до опору у відкритому стані від струму керування (покажемо на рис. 5).

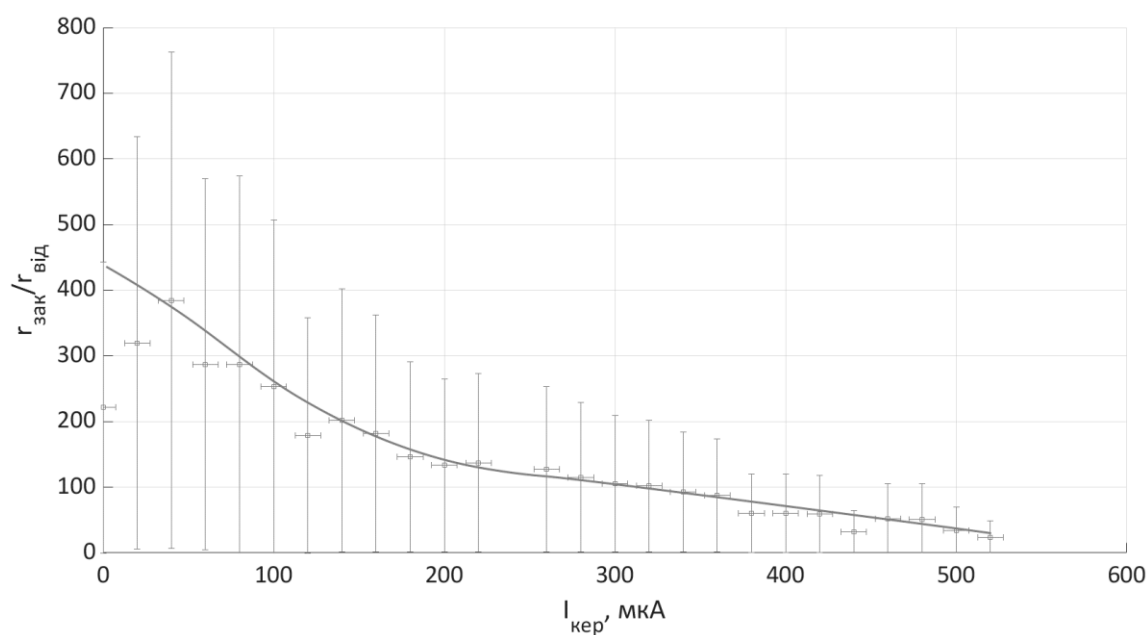


Рис.5. Залежність відношення опору тиристора у закритому стані до опору у відкритому стані від струму керування.

5. ВИСНОВКИ

В ході лабораторної роботи ми дослідили структуру і принцип роботи тиристорів. Ми побудували та проаналізували сімейство прямих гілок ВАХ тиристора. В ході аналізу було побудовано пускову характеристику, яка показує, що зростання струму керування сприяє підвищенню значень напруги вмикання. Аналіз графіків, позначених рис. 2 та рис. 4 показує, що при значеннях струму керування 540 мкА, 560 мкА та 580 мкА тиристор знаходиться у відкритому стані, що й дозволило нам визначити опір у відкритому стані. Аналогічно до розрахунку опору у відкритому стані знайдено опори у закритому стані та побудовано залежність, наведену на рис. 5, яка свідчить, що стрімке падіння відбувається при струмі керування у 220 мкА, повільно графік спадає при більшому струмі керування. Як бачимо на рис. 5 при збільшенні струму керування похибка зменшується, і навпаки, при малому струмі похибка дуже велика.

ДОДАТОК А

Пряма гілка							
$I_{кер} = 0 \text{ мкА}$				$I_{кер} = 20 \text{ мкА}$			
$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$
5	0,12	0,25	0,00375	1	0,14	0,075	0,00375
6	0,18	0,25	0,00375	2	0,2	0,075	0,00375
7	0,2	0,25	0,00375	3	0,3	0,075	0,00375
8	0,22	0,25	0,00375	4	0,4	0,25	0,00375
9	0,24	0,25	0,00375	7	0,52	0,25	0,00375
10	0,28	0,25	0,00375	9	0,56	0,25	0,00375
11	0,31	0,75	0,00375	12	0,6	0,75	0,00375
12	0,4	0,75	0,00375	13	0,62	0,75	0,00375
13	0,44	0,75	0,00375	14	0,68	0,75	0,00375
14	0,5	0,75	0,00375	15	0,7	0,75	0,00375
15	0,55	0,75	0,00375	16	0,74	0,75	0,00375
16	0,62	0,75	0,00375	17	0,78	0,75	0,0075
17	0,68	0,75	0,00375	18	0,84	0,75	0,0075
18	0,74	0,75	0,00375	19	0,88	0,75	0,0075
19	0,8	0,75	0,0075	20	0,92	0,75	0,0075
20	0,88	0,75	0,0075	22	0,96	0,75	0,0075
21	0,92	0,75	0,0075	23	1,12	0,75	0,0075
22	0,98	0,75	0,0075	25	1,22	0,75	0,0075
23	1,05	0,75	0,0075	27	1,42	0,75	0,0075
24	1,14	0,75	0,0075	29	1,52	0,75	0,015
25	1,2	0,75	0,0075	30	1,62	0,75	0,015
26	1,32	0,75	0,0075				
27	1,42	0,75	0,0075				
28	1,53	0,75	0,015				
29	1,6	0,75	0,015				
$I_{кер} = 40 \text{ мкА}$				$I_{кер} = 60 \text{ мкА}$			
$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$
2	0,1	0,075	0,00375	1	0,16	0,075	0,00375
4	0,2	0,25	0,00375	3,1	0,2	0,25	0,00375
6	0,3	0,25	0,00375	5,2	0,3	0,25	0,00375
9	0,4	0,25	0,00375	8	0,4	0,25	0,00375
11,8	0,5	0,75	0,00375	10	0,5	0,25	0,00375
13,5	0,6	0,75	0,00375	12,8	0,6	0,75	0,00375
16	0,7	0,75	0,00375	14,6	0,7	0,75	0,00375
19	0,8	0,75	0,0075	17	0,8	0,75	0,0075
21	0,9	0,75	0,0075	19	0,9	0,75	0,0075
23,5	1	0,75	0,0075	21	1	0,75	0,0075

26,5	1,1	0,75	0,0075	23	1,12	0,75	0,0075
28	1,2	0,75	0,0075	24,8	1,22	0,75	0,0075
29	1,3	0,75	0,0075	26	1,3	0,75	0,0075
30	1,4	0,75	0,0075	27	1,42	0,75	0,0075
31	2,1	0,75	0,015				
$I_{кер} = 80 \text{ мкА}$				$I_{кер} = 100 \text{ мкА}$			
$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$
1,2	0,1	0,075	0,00375	1,2	0,12	0,075	0,00375
3,1	0,2	0,25	0,00375	2,5	0,2	0,075	0,00375
4,2	0,32	0,25	0,00375	5	0,34	0,25	0,00375
7,2	0,4	0,25	0,00375	7,9	0,5	0,25	0,00375
9,8	0,5	0,25	0,00375	10,2	0,62	0,75	0,00375
12,5	0,62	0,75	0,00375	12,1	0,72	0,75	0,00375
14,2	0,72	0,75	0,00375	14	0,82	0,75	0,0075
16,2	0,82	0,75	0,005	15,5	0,92	0,75	0,0075
20	1	0,75	0,005	17,5	1,02	0,75	0,0075
21,7	1,1	0,75	0,0075	19	1,1	0,75	0,0075
23,2	1,22	0,75	0,0075	20,8	1,22	0,75	0,0075
24	1,28	0,75	0,0075	22	1,33	0,75	0,0075
25,1	1,39	0,75	0,0075	23	1,42	0,75	0,0075
26,4	1,54	0,75	0,015	24,1	1,56	0,75	0,015
27,5	1,88	0,75	0,015	24,9	1,68	0,75	0,015
28	2,06	0,75	0,015	25,8	2	0,75	0,015
$I_{кер} = 120 \text{ мкА}$				$I_{кер} = 140 \text{ мкА}$			
$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$
1,1	0,12	0,075	0,00375	2	0,2	0,075	0,00375
2,1	0,2	0,075	0,00375	3,5	0,3	0,25	0,00375
3,9	0,3	0,25	0,00375	4,1	0,4	0,25	0,00375
5,2	0,4	0,25	0,00375	6,1	0,5	0,25	0,00375
7,1	0,52	0,25	0,00375	7	0,56	0,25	0,00375
9	0,62	0,25	0,00375	9	0,68	0,25	0,00375
10,5	0,72	0,75	0,00375	10,9	0,82	0,75	0,0075
12,5	0,84	0,75	0,0075	12,1	0,92	0,75	0,0075
14	0,94	0,75	0,0075	14	1,03	0,75	0,0075
15,1	1,04	0,75	0,0075	15	1,12	0,75	0,0075
16,5	1,14	0,75	0,0075	16,2	1,22	0,75	0,0075
17,5	1,24	0,75	0,0075	17,2	1,32	0,75	0,0075
19,1	1,4	0,75	0,0075	18,4	1,42	0,75	0,0075
20	1,5	0,75	0,0075	19,2	1,52	0,75	0,015
21	1,62	0,75	0,015	20,4	1,66	0,75	0,015
22,5	1,78	0,75	0,015	21,8	1,88	0,75	0,015
				22	2,16	0,75	0,015

$I_{\text{кер}} = 160 \text{ мкА}$				$I_{\text{кер}} = 180 \text{ мкА}$			
$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$
0,9	0,12	0,075	0,00375	1	0,06	0,075	0,00375
1,9	0,22	0,075	0,00375	1,5	0,2	0,075	0,00375
3,6	0,38	0,25	0,00375	2,5	0,3	0,075	0,00375
5,5	0,54	0,25	0,00375	3,5	0,4	0,25	0,00375
6,9	0,64	0,25	0,00375	4,9	0,52	0,25	0,00375
8,2	0,74	0,25	0,00375	5,8	0,6	0,25	0,00375
9,9	0,88	0,25	0,0075	6,8	0,7	0,25	0,00375
11,5	1	0,75	0,0075	8	0,82	0,25	0,0075
12,9	1,12	0,75	0,0075	9	0,9	0,25	0,0075
14,5	1,26	0,75	0,0075	10,9	1,06	0,75	0,0075
15,5	1,36	0,75	0,0075	12	1,17	0,75	0,0075
17	1,52	0,75	0,015	13	1,28	0,75	0,0075
18	1,64	0,75	0,015	14	1,38	0,75	0,0075
19	1,76	0,75	0,015	15	1,5	0,75	0,0075
0,9	0,12	0,075	0,00375	16	1,64	0,75	0,015
1,9	0,22	0,075	0,00375	17	1,78	0,75	0,015
				18	1,94	0,75	0,015
				18,5	2,12	0,75	0,015
$I_{\text{кер}} = 200 \text{ мкА}$				$I_{\text{кер}} = 220 \text{ мкА}$			
$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$
1,1	0,2	0,075	0,00375	1,1	0,2	0,075	0,00375
1,9	0,26	0,075	0,00375	2,4	0,36	0,075	0,00375
2,9	0,36	0,075	0,00375	3	0,44	0,075	0,00375
4	0,5	0,25	0,00375	4	0,56	0,25	0,00375
5	0,6	0,25	0,00375	5,2	0,7	0,25	0,00375
6	0,72	0,25	0,00375	6,1	0,8	0,25	0,0075
7,1	0,82	0,25	0,0075	7,2	0,92	0,25	0,0075
8	0,9	0,25	0,0075	8,5	1,02	0,25	0,0075
9	0,98	0,25	0,0075	9,2	1,12	0,25	0,0075
10	1,1	0,25	0,0075	10,1	1,22	0,75	0,0075
11	1,2	0,75	0,0075	11,1	1,34	0,75	0,0075
11,9	1,28	0,75	0,0075	12	1,44	0,75	0,0075
13	1,4	0,75	0,0075	12,9	1,54	0,75	0,015
14	1,52	0,75	0,015	14	1,74	0,75	0,015
15	1,66	0,75	0,015	15	1,96	0,75	0,015
16	1,86	0,75	0,015	15,2	2,04	0,75	0,015
16,9	2,1	0,75	0,015				
$I_{\text{кер}} = 240 \text{ мкА}$				$I_{\text{кер}} = 260 \text{ мкА}$			
$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$

1,5	0,28	0,075	0,00375	1	0,14	0,025	0,00375
2,4	0,4	0,075	0,00375	1,9	0,16	0,075	0,00375
4	0,58	0,25	0,00375	3	0,18	0,075	0,00375
5,2	0,7	0,25	0,00375	4	0,38	0,25	0,00375
6	0,86	0,25	0,0075	5,2	0,62	0,25	0,00375
8,1	1,1	0,25	0,0075	6,5	0,94	0,25	0,0075
10	1,3	0,25	0,0075	7,5	1,06	0,25	0,0075
10,8	1,4	0,75	0,0075	8,9	1,2	0,25	0,0075
12	1,42	0,75	0,0075	10	1,36	0,25	0,0075
				11	1,52	0,75	0,015
				12,8	1,98	0,75	0,015
$I_{\text{кер}} = 280 \text{ мкА}$				$I_{\text{кер}} = 300 \text{ мкА}$			
$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$
0,9	0,22	0,025	0,00375	1	0,28	0,025	0,00375
1,9	0,4	0,075	0,00375	2	0,44	0,075	0,00375
3,2	0,6	0,25	0,00375	3	0,56	0,075	0,00375
4	0,68	0,25	0,00375	3,8	0,7	0,25	0,00375
5,1	0,86	0,25	0,0075	5,1	0,94	0,25	0,0075
6,1	1	0,25	0,0075	6	1,06	0,25	0,0075
7	1,1	0,25	0,0075	7	1,18	0,25	0,0075
8	1,22	0,25	0,0075	8	1,32	0,25	0,0075
9	1,32	0,25	0,0075	9	1,5	0,25	0,0075
10	1,48	0,25	0,0075	10	1,7	0,25	0,015
11	1,68	0,75	0,015	10,2	1,88	0,75	0,015
11,8	1,96	0,75	0,015				
$I_{\text{кер}} = 320 \text{ мкА}$				$I_{\text{кер}} = 340 \text{ мкА}$			
$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$
1	0,34	0,025	0,00375	0,8	0,28	0,025	0,00375
2	0,5	0,075	0,00375	1,3	0,4	0,075	0,00375
3	0,66	0,075	0,00375	2	0,52	0,075	0,00375
3,9	0,8	0,25	0,0075	2,4	0,6	0,075	0,00375
5	1	0,25	0,0075	2,8	0,66	0,075	0,00375
6	1,14	0,25	0,0075	3,1	0,72	0,25	0,00375
7	1,3	0,25	0,0075	3,6	0,8	0,25	0,0075
8	1,44	0,25	0,0075	4	0,86	0,25	0,0075
9	1,68	0,25	0,015	5,3	1,06	0,25	0,0075
9,2	1,84	0,25	0,015	6,6	1,24	0,25	0,0075
				7,1	1,32	0,25	0,0075
				7,6	1,4	0,25	0,0075
				8,2	1,56	0,25	0,015
				8,7	1,76	0,25	0,015
				8,8	1,88	0,25	0,015

$I_{кер} = 360 \text{ мкА}$				$I_{кер} = 380 \text{ мкА}$			
$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$
0,8	0,3	0,025	0,00375	0,6	0,3	0,025	0,00375
1,6	0,5	0,075	0,00375	1,2	0,46	0,075	0,00375
2,2	0,66	0,075	0,00375	1,7	0,58	0,075	0,00375
2,8	0,78	0,075	0,0075	2,4	0,74	0,075	0,00375
3,6	0,92	0,25	0,0075	2,9	0,84	0,075	0,0075
4,2	1,02	0,25	0,0075	3,4	0,94	0,25	0,0075
4,7	1,1	0,25	0,0075	4	1,06	0,25	0,0075
5,6	1,24	0,25	0,0075	4,6	1,16	0,25	0,0075
6,2	1,34	0,25	0,0075	5,1	1,28	0,25	0,0075
7	1,5	0,25	0,0075	5,6	1,4	0,25	0,0075
7,2	1,64	0,25	0,015	6	1,5	0,25	0,0075
7,4	1,84	0,25	0,015	6,3	1,76	0,25	0,015
$I_{кер} = 400 \text{ мкА}$				$I_{кер} = 420 \text{ мкА}$			
$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$
0,4	0,26	0,025	0,00375	0,8	0,46	0,025	0,00375
0,9	0,46	0,025	0,00375	1,8	0,74	0,075	0,00375
1,5	0,6	0,075	0,00375	2,2	0,88	0,075	0,0075
1,9	0,72	0,075	0,00375	2,7	0,96	0,075	0,0075
2,4	0,84	0,075	0,0075	3,3	1,14	0,25	0,0075
3,1	1	0,25	0,0075	3,6	1,24	0,25	0,0075
3,8	1,16	0,25	0,0075	3,9	1,32	0,25	0,0075
4,4	1,3	0,25	0,0075	4,1	1,45	0,25	0,0075
5	1,46	0,25	0,0075	4,3	1,68	0,25	0,015
5,3	1,68	0,25	0,015				
$I_{кер} = 440 \text{ мкА}$				$I_{кер} = 460 \text{ мкА}$			
$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$
0,6	0,38	0,025	0,00375	0,2	0,08	0,025	0,00375
1,6	0,8	0,075	0,0075	0,5	0,36	0,025	0,00375
2	0,9	0,075	0,0075	0,8	0,62	0,025	0,00375
2,3	1,02	0,075	0,0075	1,1	0,72	0,075	0,00375
2,8	1,2	0,075	0,0075	1,3	0,78	0,075	0,0075
3,4	1,42	0,25	0,0075	1,55	0,86	0,075	0,0075
3,5	1,64	0,25	0,015	1,71	0,92	0,075	0,0075
				1,9	0,98	0,075	0,0075
				2,3	1,12	0,075	0,0075
				2,5	1,2	0,075	0,0075
				2,75	1,36	0,075	0,0075

				2,9	1,5	0,075	0,0075
				2,95	1,64	0,075	0,015

$I_{кер} = 480 \text{ мкА}$				$I_{кер} = 500 \text{ мкА}$			
$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$
0,5	0,32	0,025	0,00375	0,5	0,38	0,025	0,00375
0,7	0,66	0,025	0,00375	0,8	0,76	0,025	0,0075
1	0,78	0,025	0,0075	1,1	0,92	0,075	0,0075
1,3	0,9	0,075	0,0075	1,45	1,06	0,075	0,0075
1,55	0,98	0,075	0,0075	1,75	1,2	0,075	0,0075
1,9	1,12	0,075	0,0075	1,9	1,34	0,075	0,0075
2,25	1,36	0,075	0,0075	2	1,68	0,075	0,015
2,38	1,56	0,075	0,015				
2,4	1,62	0,075	0,015				
$I_{кер} = 520 \text{ мкА}$				$I_{кер} = 540 \text{ мкА}$			
$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$
0,1	0,3	0,025	0,00375	0,4	0,32	0,025	0,00375
0,4	0,5	0,025	0,00375	0,5	0,4	0,025	0,00375
0,55	0,72	0,025	0,00375	0,58	0,62	0,025	0,00375
0,8	0,9	0,025	0,0075	0,64	1,02	0,025	0,0075
1,1	1,08	0,075	0,0075	0,7	1,22	0,025	0,0075
1,25	1,18	0,075	0,0075	0,72	1,4	0,025	0,0075
1,4	1,3	0,075	0,0075	0,74	1,62	0,025	0,015
1,45	1,62	0,075	0,015				
$I_{кер} = 560 \text{ мкА}$				$I_{кер} = 580 \text{ мкА}$			
$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$
0,43	0,3	0,025	0,00375	0,52	0,5	0,025	0,00375
0,52	0,5	0,025	0,00375	0,59	0,82	0,025	0,0075
0,57	0,68	0,025	0,00375	0,64	1,24	0,025	0,0075
0,62	0,96	0,025	0,0075	0,66	1,68	0,025	0,015
0,65	1,16	0,025	0,0075				
0,68	1,64	0,025	0,015				

Зворотна гілка			
$I_{кер} = 0 \text{ мкА}$			
$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$\Delta_U, \text{ В}$	$\Delta_I, \text{ мА}$
0,5	0,04	0,025	0,015
1	0,1	0,025	0,015
1,5	0,14	0,075	0,015
2	0,22	0,075	0,015
2,5	0,32	0,075	0,015
4	0,78	0,25	0,015
5	1,2	0,25	0,015
5,2	1,46	0,25	0,015
5,6	1,66	0,25	0,015
6	1,86	0,25	0,015
6,5	2,2	0,25	0,015
7	2,56	0,25	0,015
7,5	2,78	0,25	0,015
8,2	3,25	0,25	0,038
9	3,8	0,25	0,038
9,5	4,1	0,25	0,038
12	6,2	0,75	0,038
13	7	0,75	0,038
15	8,6	0,75	0,075
17,5	11,6	0,75	0,075