

Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
Факультет Електроніки
Кафедра мікроелектроніки

ЗВІТ

Про виконання лабораторної роботи №1
з дисципліни: «Твердотіла електроніка»

**Дослідження випрямляючих
напівпровідникових діодів**

Виконав:
Студент 3-го курсу

(підпис)

Кузьмінський О.Р.

Перевірив:

(підпис)

Королевич Л.М.

2020

1. Мета роботи

Теоретичне вивчення і практичне дослідження випрямляючих діодів; визначення фізичних та основних технічних параметрів германійових та кремнієвих діодів із їх вольт-амперних характеристик.

2. Завдання

- Вивчити структуру параметрів (паспортних даних) досліджуваного підкласу діодів. Ознайомитися із вимірювальним стендом та використовуваними приладами.
- Зібрати схему для дослідження вольт-амперної характеристики випрямляючих діодів .
- Виміряти вольт-амперні характеристики германієвого та кремнієвого діодів при кімнатній температурі. Результати вимірювань записати в таблиці.
- Провести температурні дослідження ВАХ германієвого та кремнієвого діодів при температурі $+70^{\circ}\text{C}$ (для прямої та зворотної полярності напруги).
- Побудувати графіки вольт-амперних характеристик діодів .
- Графічно визначити дифузійний потенціал φ_0 , опір бази r_b та струм виродження $I_{\text{вир}}$ для кожного з діодів. Оцінити тепловий струм германієвого діода.
- Побудувати графіки залежностей статичного та динамічного опорів діодів від прикладеної напруги (або вирахувати статичний та диференціальний опори посередині прямої та зворотної гілок ВАХ кожного діоду і співставити їх між собою).
- Провести аналіз результатів досліджень, і зробити висновки з виконаної роботи.

3. Дослідна установка та схема вимірювання

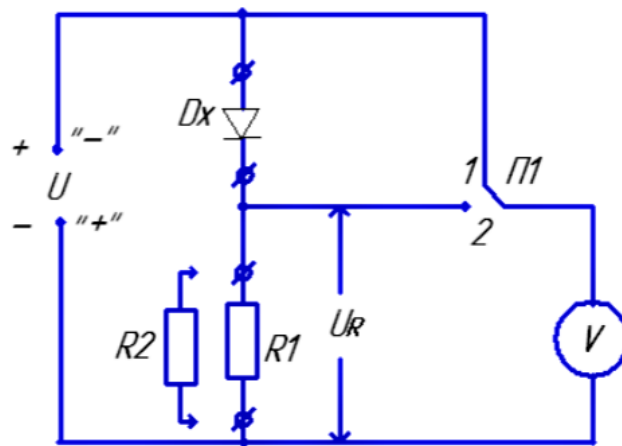


Рис.1. Схема для вимірювання ВАХ діода. При знятті зворотної гілки ВАХ змінюється полярність джерела живлення та номінал резистора R (величина резистора для прямої гілки $R_1 = 5 \text{ кОм}$; для зворотної $R_2 = 100 \text{ кОм}$).

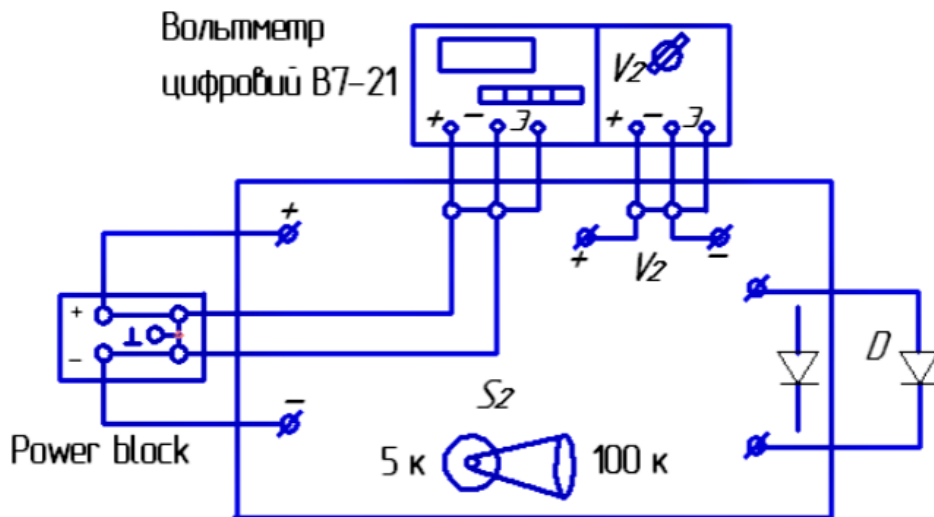


Рис.2. Схема під'єднання приладів до спеціального макету. На вольтметрі В7-21 кнопка зі стрілкою зверху виконує функцію перемикача " S_1 ": нажаний стан відповідає позиції «2» перемикача " S_1 ". Додатковий перемикач " S_2 " служить для зміни полярності напруги та номіналу резистора R .

4. Вхідні дані та їх обробка

Напруга на діоді— U_D та струм через діод— I_D вираховуються за формулами:

$$U_D = U - U_R \quad (1)$$

$$I_D = \frac{U_R}{R} \quad (2)$$

Похибки струму та напруги на діоді розраховуються за такими формулами:

$$\Delta U_D = \sqrt{\Delta U^2 + \Delta U_R^2} \quad (3)$$

$$\Delta I_D = \frac{1}{R^2} \sqrt{(R \Delta U_R)^2 + (U_R \Delta R)^2} \quad (4)$$

$U_{sum}, \text{ мВ}$	$U_R, \text{ мВ}$	$\Delta U_R = \Delta U_{sum}, \text{ мВ}$	$U_D, \text{ мВ}$	$I_D, \text{ мА}$	$\Delta U_D, \text{ мВ}$	$\Delta I_D, \text{ мА}$
277	220	0.5	57	0.0440	0.7071	0.0022
306	246	0.5	60	0.0492	0.7071	0.0025
375	309	0.5	66	0.0618	0.7071	0.0031
465	390	0.5	75	0.0780	0.7071	0.0039
480	403	0.5	77	0.0806	0.7071	0.0040
515	437	0.5	78	0.0874	0.7071	0.0044
574	494	0.5	80	0.0988	0.7071	0.0049
638	555	0.5	83	0.1110	0.7071	0.0056
710	623	0.5	87	0.1246	0.7071	0.0062
738	650	0.5	88	0.1300	0.7071	0.0065
760	670	0.5	90	0.1340	0.7071	0.0067
806	714	0.5	92	0.1428	0.7071	0.0071
811	719	0.5	92	0.1438	0.7071	0.0072
830	736	0.5	94	0.1472	0.7071	0.0074
870	774	0.5	96	0.1548	0.7071	0.0077
908	811	0.5	97	0.1622	0.7071	0.0081
970	874	0.5	96	0.1748	0.7071	0.0087
1019	918	0.5	101	0.1836	0.7071	0.0092
1042	942	0.5	100	0.1884	0.7071	0.0094
1210	1103	0.5	107	0.2206	0.7071	0.0110
1370	1262	0.5	108	0.2524	0.7071	0.0126
1527	1412	0.5	115	0.2824	0.7071	0.0141
1723	1604	0.5	119	0.3208	0.7071	0.0160
2043	1914	0.5	129	0.3828	0.7071	0.0191
2264	2136	0.5	128	0.4272	0.7071	0.0214
2483	2348	0.5	135	0.4696	0.7071	0.0235
2583	2441	0.5	142	0.4882	0.7071	0.0244
2824	2681	0.5	143	0.5362	0.7071	0.0268
4426	4263	0.5	163	0.8526	0.7071	0.0426
4878	4711	0.5	167	0.9422	0.7071	0.0471
5201	5034	0.5	167	1.0068	0.7071	0.0503
6575	6393	0.5	182	1.2786	0.7071	0.0639
7125	6937	0.5	188	1.3874	0.7071	0.0694
8530	8341	0.5	189	1.6682	0.7071	0.0834
9386	9181	0.5	205	1.8362	0.7071	0.0918
10260	10060	5	200	2.0120	7.0711	0.1006
13080	12610	5	470	2.5220	7.0711	0.1261
15650	15450	5	200	3.0900	7.0711	0.1545
18430	18030	5	400	3.6060	7.0711	0.1803
18810	18510	5	300	3.7020	7.0711	0.1851
20340	20120	5	220	4.0240	7.0711	0.2012
23250	22980	5	270	4.5960	7.0711	0.2298
25530	25270	5	260	5.0540	7.0711	0.2527
28580	28280	5	300	5.6560	7.0711	0.2828
30200	29900	5	300	5.9800	7.0711	0.2990
31950	31660	5	290	6.3320	7.0711	0.3166
33440	33120	5	320	6.6240	7.0711	0.3312
34670	34350	5	320	6.8700	7.0711	0.3435
35950	35690	5	260	7.1380	7.0711	0.3569
37820	37550	5	270	7.5100	7.0711	0.3755
38670	38350	5	320	7.6700	7.0711	0.3835
40910	40320	5	590	8.0640	7.0711	0.4032
41830	41550	5	280	8.3100	7.0711	0.4155
46370	46050	5	320	9.2100	7.0711	0.4605
49430	49010	5	420	9.8020	7.0711	0.4901
50630	50330	5	300	10.0660	7.0711	0.5033

Табл.1. Вихідні параметри діода D_1 , пряме включення, $R_1 = 5\text{кОм}$, $T_1 = 20^\circ\text{C}$.

U_{sum} , мВ	U_R , мВ	ΔU_R , мВ	ΔU_{sum} , мВ	U_D , мВ	I_D , мА	ΔU_D , мВ	ΔI_D , мА
576	139	0.5	0.5	437	0.0278	0.7071	0.0014
629	103	0.5	0.5	526	0.0206	0.7071	0.0010
646	196	0.5	0.5	450	0.0392	0.7071	0.0020
729	267	0.5	0.5	462	0.0534	0.7071	0.0027
807	339	0.5	0.5	468	0.0678	0.7071	0.0034
932	445	0.5	0.5	487	0.089	0.7071	0.0045
992	507	0.5	0.5	485	0.1014	0.7071	0.0051
1054	565	0.5	0.5	489	0.113	0.7071	0.0057
1116	622	0.5	0.5	494	0.1244	0.7071	0.0062
1224	724	0.5	0.5	500	0.1448	0.7071	0.0072
1337	831	0.5	0.5	506	0.1662	0.7071	0.0083
1682	1155	0.5	0.5	527	0.231	0.7071	0.0116
1868	1342	0.5	0.5	526	0.2684	0.7071	0.0134
2045	1513	0.5	0.5	532	0.3026	0.7071	0.0151
2240	1704	0.5	0.5	536	0.3408	0.7071	0.0170
2553	2010	0.5	0.5	543	0.402	0.7071	0.0201
2880	2325	0.5	0.5	555	0.465	0.7071	0.0233
3137	2581	0.5	0.5	556	0.5162	0.7071	0.0258
3852	3291	0.5	0.5	561	0.6582	0.7071	0.0329
4587	4017	0.5	0.5	570	0.8034	0.7071	0.0402
4977	4383	0.5	0.5	594	0.8766	0.7071	0.0438
4891	4313	0.5	0.5	578	0.8626	0.7071	0.0431
5305	4712	0.5	0.5	593	0.9424	0.7071	0.0471
6383	5831	0.5	0.5	552	1.1662	0.7071	0.0583
6880	6215	0.5	0.5	665	1.243	0.7071	0.0622
8018	7397	0.5	0.5	621	1.4794	0.7071	0.0740
8711	8087	0.5	0.5	624	1.6174	0.7071	0.0809
9327	8721	0.5	0.5	606	1.7442	0.7071	0.0872
10100	9460	5	5	640	1.892	7.0711	0.0946
12420	11720	5	5	700	2.344	7.0711	0.1172
14190	13540	5	5	650	2.708	7.0711	0.1354
15740	15030	5	5	710	3.006	7.0711	0.1503
16870	16180	5	5	690	3.236	7.0711	0.1618
17660	16940	5	5	720	3.388	7.0711	0.1694
19230	18510	5	5	720	3.702	7.0711	0.1851
20470	19810	5	5	660	3.962	7.0711	0.1981
23080	22410	5	5	670	4.482	7.0711	0.2241
25430	24750	5	5	680	4.95	7.0711	0.2475
27130	26460	5	5	670	5.292	7.0711	0.2646
28220	27530	5	5	690	5.506	7.0711	0.2753
29630	28940	5	5	690	5.788	7.0711	0.2894
31210	30520	5	5	690	6.104	7.0711	0.3052
32550	31850	5	5	700	6.37	7.0711	0.3185
35130	34440	5	5	690	6.888	7.0711	0.3444
38560	37860	5	5	700	7.572	7.0711	0.3786
40030	39340	5	5	690	7.868	7.0711	0.3934
42030	41350	5	5	680	8.27	7.0711	0.4135
45480	44720	5	5	760	8.944	7.0711	0.4472
48470	47740	5	5	730	9.548	7.0711	0.4774
50240	49500	5	5	740	9.9	7.0711	0.4950

Табл.2. Вихідні параметри діода D_2 , пряме включення, $R_1 = 5\text{кОм}$, $T_1 = 20^\circ\text{C}$.

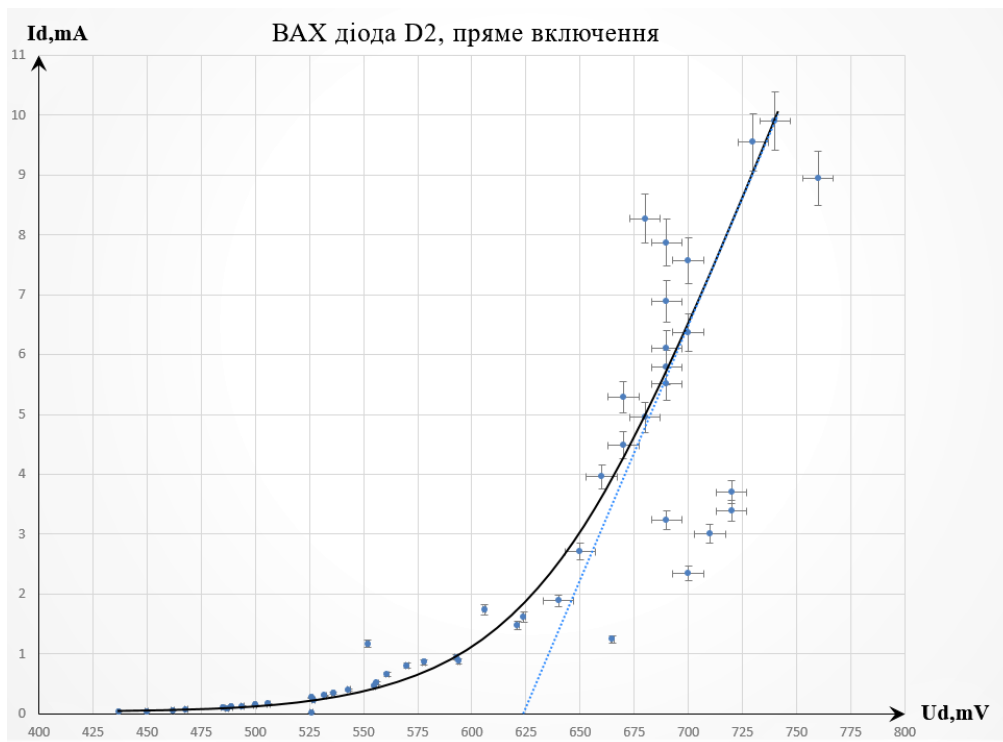
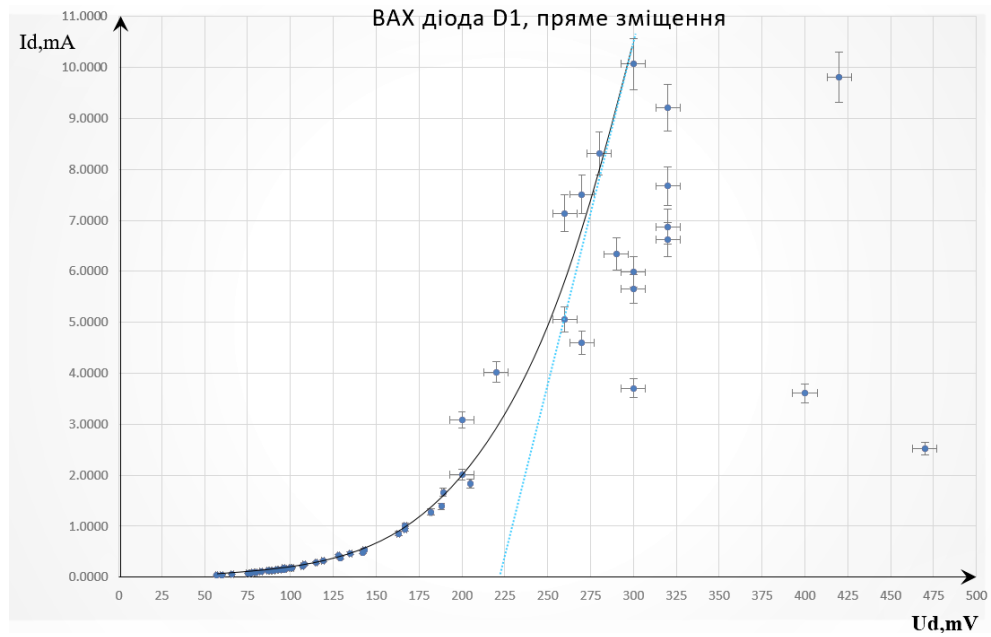
U_{sum} , В	U_R , В	ΔU_R , В	ΔU_{sum} , В	U_D , В	I_D , мкА	ΔU_D , В	ΔI_D , мкА
1.79	1.1	0.005	0.005	0.69	11.0	0.0071	0.5523
2.14	1.13	0.005	0.005	1.01	11.3	0.0071	0.5672
2.75	1.19	0.005	0.005	1.56	11.9	0.0071	0.5971
3.26	2.24	0.005	0.005	1.02	22.4	0.0071	1.1211
3.83	1.24	0.005	0.005	2.59	12.4	0.0071	0.6220
5.57	1.32	0.005	0.005	4.25	13.2	0.0071	0.6619
6.38	1.35	0.005	0.005	5.03	13.5	0.0071	0.6768
7.36	1.39	0.005	0.005	5.97	13.9	0.0071	0.6968
9.40	1.17	0.005	0.005	8.23	11.7	0.0071	0.5871
14.77	1.69	0.005	0.005	13.08	16.9	0.0071	0.8465
18.96	1.42	0.005	0.005	17.54	14.2	0.0071	0.7118
24.67	2.74	0.005	0.005	21.93	27.4	0.0071	1.3709
23.86	2.5	0.005	0.005	21.36	25.0	0.0071	1.2510
24.13	2.58	0.005	0.005	21.55	25.8	0.0071	1.2910
28.25	4.09	0.005	0.005	24.16	40.9	0.0071	2.0456
28.97	4.42	0.005	0.005	24.55	44.2	0.0071	2.2106
31.12	5.33	0.005	0.005	25.79	53.3	0.0071	2.6655
32.32	5.97	0.005	0.005	26.35	59.7	0.0071	2.9854
32.93	6.29	0.005	0.005	26.64	62.9	0.0071	3.1454
34.63	7.22	0.005	0.005	27.41	72.2	0.0071	3.6103
35.76	7.81	0.005	0.005	27.95	78.1	0.0071	3.9053
37.49	8.75	0.005	0.005	28.74	87.5	0.0071	4.3753
37.90	9.01	0.005	0.005	28.89	90.1	0.0071	4.5053
39.94	10.11	0.005	0.005	29.83	101.1	0.0071	5.0552
42.66	11.57	0.005	0.005	31.09	115.7	0.0071	5.7852
44.44	12.53	0.005	0.005	31.91	125.3	0.0071	6.2652
46.34	13.61	0.005	0.005	32.73	136.1	0.0071	6.8052
47.11	14.07	0.005	0.005	33.04	140.7	0.0071	7.0352
49.02	15.17	0.005	0.005	33.85	151.7	0.0071	7.5852
51.78	16.72	0.005	0.005	35.06	167.2	0.0071	8.3601
53.23	17.58	0.005	0.005	35.65	175.8	0.0071	8.7901
54.69	18.42	0.005	0.005	36.27	184.2	0.0071	9.2101
55.83	19.05	0.005	0.005	36.78	190.5	0.0071	9.5251
58.55	20.57	0.005	0.005	37.98	205.7	0.0071	10.2851
62.81	22.99	0.005	0.005	39.82	229.9	0.0071	11.4951
65.87	24.35	0.005	0.005	41.52	243.5	0.0071	12.1751
72.41	28.39	0.005	0.005	44.02	283.9	0.0071	14.1951
81.44	34.58	0.005	0.005	46.86	345.8	0.0071	17.2901
90.18	39.31	0.005	0.005	50.87	393.1	0.0071	19.6551
93.38	41.15	0.005	0.005	52.23	411.5	0.0071	20.5751
99.36	44.32	0.005	0.005	55.04	443.2	0.0071	22.1601

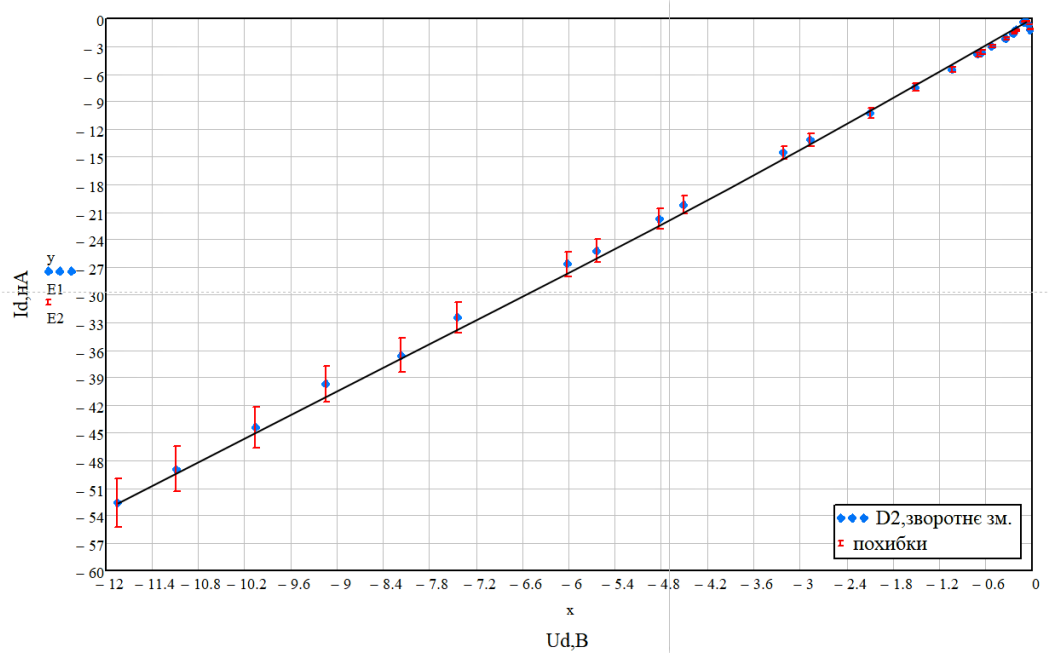
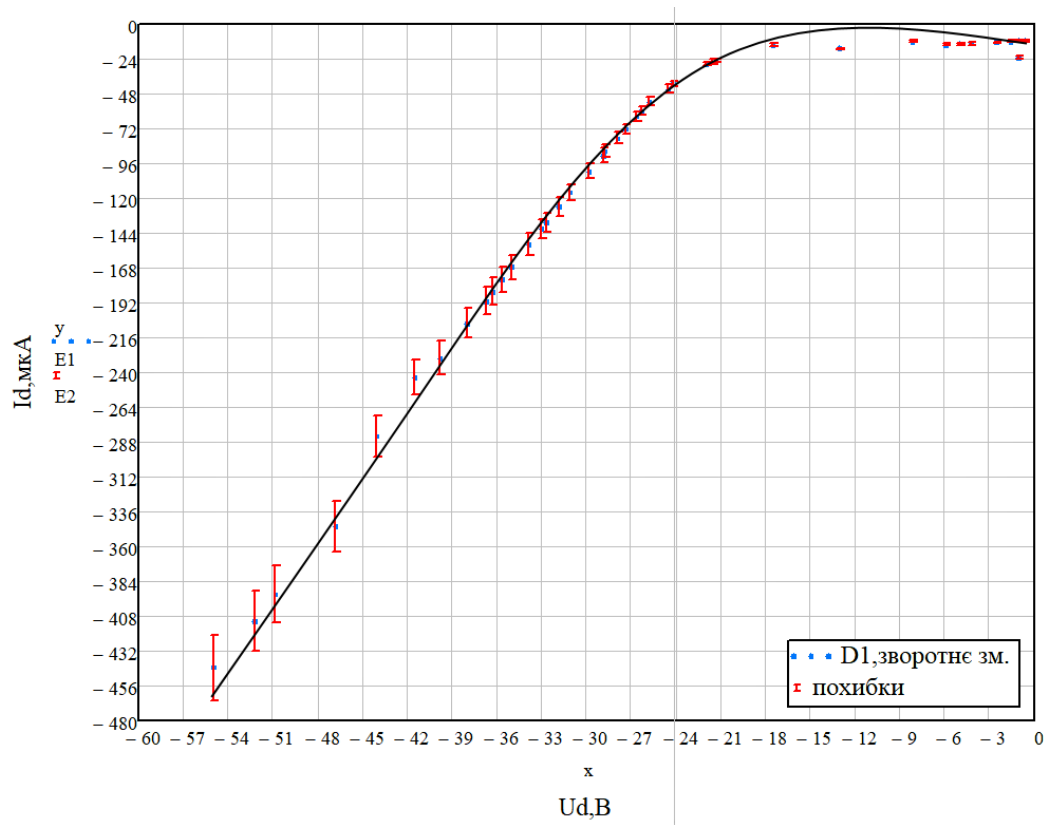
Табл.3. Вихідні параметри діода D_1 , зворотнє включення, $R_1 = 100\text{кОм}$, $T_1 = 20^\circ\text{C}$.

$U_{sum}, \text{ мВ}$	$U_R, \text{ мВ}$	$\Delta U_R, \text{ мВ}$	$\Delta U_{sum}, \text{ мВ}$	$U_D, \text{ мВ}$	$I_D, \text{ нА}$	$\Delta U_D, \text{ мВ}$	$\Delta I_D, \text{ нА}$
34	0.12	0.005	0.5	33.88	1.2	0.5	0.0781
54	0.07	0.005	0.5	53.93	0.7	0.5	0.0610
85	0.03	0.005	0.5	84.97	0.3	0.5	0.0522
110	0.04	0.005	0.5	109.96	0.4	0.5	0.0539
208	0.13	0.005	0.5	207.87	1.3	0.5	0.0820
247	0.16	0.005	0.5	246.84	1.6	0.5	0.0943
347	0.22	0.005	0.5	346.78	2.2	0.5	0.1208
527	0.31	0.005	0.5	526.69	3.1	0.5	0.1629
662	0.37	0.005	0.5	661.63	3.7	0.5	0.1916
709	0.39	0.005	0.5	708.61	3.9	0.5	0.2013
1041	0.55	0.005	0.5	1040.45	5.5	0.5	0.2795
1524	0.75	0.005	0.5	1523.25	7.5	0.5	0.3783
2109	1.03	0.005	0.5	2107.97	10.3	0.5	0.5174
2883	1.32	0.005	0.5	2881.68	13.2	0.5	0.6619
3237	1.46	0.005	0.5	3235.54	14.6	0.5	0.7317
4515	2.03	0.005	0.5	4512.97	20.3	0.5	1.0162
4837	2.18	0.005	0.5	4834.82	21.8	0.5	1.0911
5644	2.53	0.005	0.5	5641.47	25.3	0.5	1.2660
6024	2.67	0.005	0.5	6021.33	26.7	0.5	1.3359
7455	3.25	0.005	0.5	7451.75	32.5	0.5	1.6258
8175	3.66	0.005	0.5	8171.34	36.6	0.5	1.8307
9162	3.97	0.005	0.5	9158.03	39.7	0.5	1.9856
10060	4.45	0.005	5	10055.55	44.5	5.0	2.2256
11090	4.9	0.005	5	11085.1	49	5.0	2.4505
11850	5.27	0.005	5	11844.73	52.7	5.0	2.6355

Табл.4. Вихідні параметри діода D_2 , зворотнє включення, $R_1 = 100 \text{ кОм}$, $T_1 = 20^\circ \text{C}$.

5.Графіки





Розрахуємо опір бази r_b .

$$r_b \approx \frac{U_{\text{пр}} - \varphi_0}{I_{\text{пр}}}$$

$U_{\text{пр}}$ та $I_{\text{пр}}$ можна знайти провівши до гілок ВАХ діодів прямого зміщення похилу лінію та зафіксувати, з якої напруги ВАХ стає практично прямою і зливається з проведеною похилою.

Дифузійний потенціал φ_0 теж можна знайти з графіку: похила лінія, що перетинатиме вісь x і буде вказувати на значення цього потенціалу.

$$U_{\text{пр1}} = 280 \text{ мВ}; I_{\text{пр1}} = 8.5 \text{ мА}; \varphi_{01} = 225 \text{ мВ};$$

$$U_{\text{пр2}} = 690 \text{ мВ}; I_{\text{пр2}} = 5.8 \text{ мА}; \varphi_{02} = 625 \text{ мВ};$$

$$r_{b1} \approx \frac{(280 - 225) \times 10^{-3}}{8.5 \times 10^{-3}} = 6.47 \text{ Ом}$$

$$r_{b2} \approx \frac{(690 - 625) \times 10^{-3}}{5.8 \times 10^{-3}} = 11.2 \text{ Ом}$$

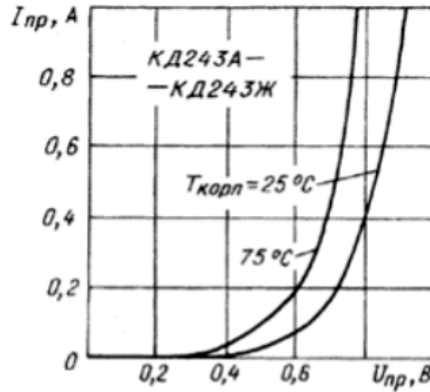
Розрахуємо струм виродження:

$$I_{\text{вир1}} = \frac{\varphi_T}{r_{b1}} = \frac{0.026}{6.47} = 0.004 \text{ А}$$

$$I_{\text{вир2}} = \frac{\varphi_T}{r_{b2}} = \frac{0.026}{11.2} = 0.002 \text{ А}$$

6. Висновки з виконаної роботи

Аналізуючи графіки ВАХ діодів, можна сказати напевно, що другий діод є кремнієвим, оскільки прямий спад напруги на ньому більший ніж 0.6 В, що добре узгоджується з теорією.



Щодо першого діода, можна сказати, що це германієвий, оскільки прямий спад напруги в ньому приблизно дорівнює 0.3 В. Слід зазначити, що падіння напруги на діоді — погана характеристика, оскільки вона не здійснює корисної роботи і розсіюється у вигляді тепла на діоді, тому очевидно, що чим менша ця величина, тим краще. З цього можна зробити висновок, що германієві діоди кращі за кремнієві через малий спад напруги, хоча по всім іншим параметрам таким як: довговічність, дешевизна, доступність, простота виготовлення — германієві діоди програють кремнієвим.