

-2 Туннельный диод. Расчет погрешностей в данной работе не требуется

Условие

Задание 10-2 Туннельный диод.

Расчет погрешностей в данной работе не требуется.

В настоящее время в электронных приборах используются различные полупроводниковые элементы, имеющие необычные вольт-амперные характеристики (ВАХ).

В данной работе исследуется один из таких элементов – туннельный диод.

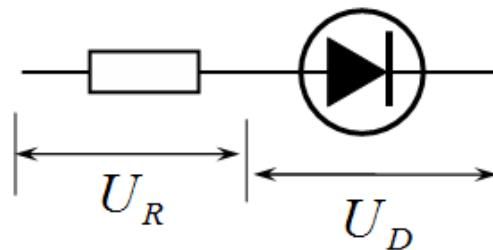


На рисунке схематически показана ВАХ туннельного диода. Наиболее интересной ее особенностью является наличие спадающей ветви между точками 1 (точка пика) и 2 (точка провала) и значения параметров в этих точках: U_u, I_u – напряжение и сила тока пика; U_d, I_d – напряжение и сила тока провала.

Приборы и оборудование: туннельный диод АИ201А, источник напряжения 1,5 В, резистор постоянный примерно 100 Ом, резистор постоянный примерно 30 Ом, переменный резистор (реостат) 15 Ом, мультиметр, переключатель двухполюсный, соединительные провода.

Задания.

В работе используется цепь из последовательно соединенных резистора и туннельного диода. Вам необходимо подключить эту цепочку к цепи питания (источник напряжения и реостат), позволяющую регулировать напряжение $U_0 = U_R + U_D$ на исследуемой цепи. Также необходимо подключить измерительную цепь (вольтметр, ключ двухполюсный) для измерения напряжений на резисторе U_R и диоде U_D .



1. Нарисуйте электрическую цепь, удовлетворяющую указанным условиям.
2. Проведите измерения зависимости силы тока I в исследуемой цепи от общего напряжения U_0 для цепи с резистором, сопротивление которого примерно равно 100 Ом. Измерьте точное значение этого сопротивления, укажите его величину.
 - 2.1 Укажите, как по измеренным значениям напряжений на резисторе U_R и диоде U_D можно рассчитать требуемые величины I и U_0 .
 - 2.2 При проведении измерений сначала медленно и монотонно увеличивайте общее напряжение от нуля до максимального значения (при возрастании), а затем при медленном и монотонном убывании общего напряжения.
 - 2.3 Постройте графики полученных зависимостей $I(U_0)$, укажите какая часть графика соответствует увеличению, а какая - уменьшению напряжения.
 - 2.4 Выделите примерно линейные участки полученной зависимости, рассчитайте общее сопротивление цепи на этих участках.
 - 2.5 Используя схематический график ВАХ диода качественно объясните полученные экспериментальные зависимости.
3. Проведите измерения зависимости силы тока I в исследуемой цепи от общего напряжения U_0 для цепи с резистором, сопротивление которого примерно равно 30 Ом. Измерьте точное значение этого сопротивления, укажите его величину.
 - 3.1 Проведите измерения зависимости силы тока в цепи I от общего напряжения U_0 в этом случае. (Следуйте указаниям п. 2.2).
 - 3.2 Постройте графики полученных зависимостей $I(U_0)$, укажите какая часть графика соответствует увеличению, а какая - уменьшению напряжения.
 - 3.3 Используя схематический график ВАХ диода качественно объясните полученные экспериментальные зависимости.
4. Используя все экспериментальные данные, постройте ВАХ исследуемого туннельного диода.
5. Определите значения параметров: U_u, I_u - напряжение и сила тока пика; U_d, I_d - напряжение и сила тока провала.

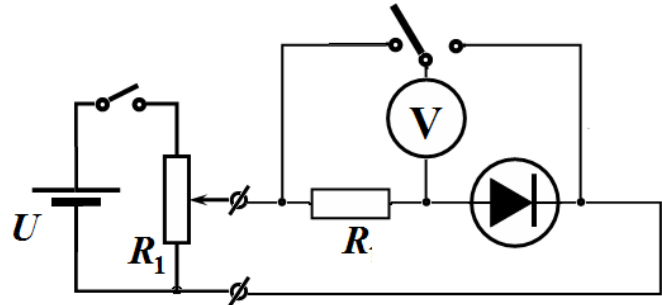
Решение

Задание 10-2 Туннельный диод.

1. Для проведения измерений используется традиционная схема с делителем напряжения, позволяющая измерять напряжения на резисторе U_R и диоде U_D .

2.1. Требуемые величины рассчитываются по очевидным формулам

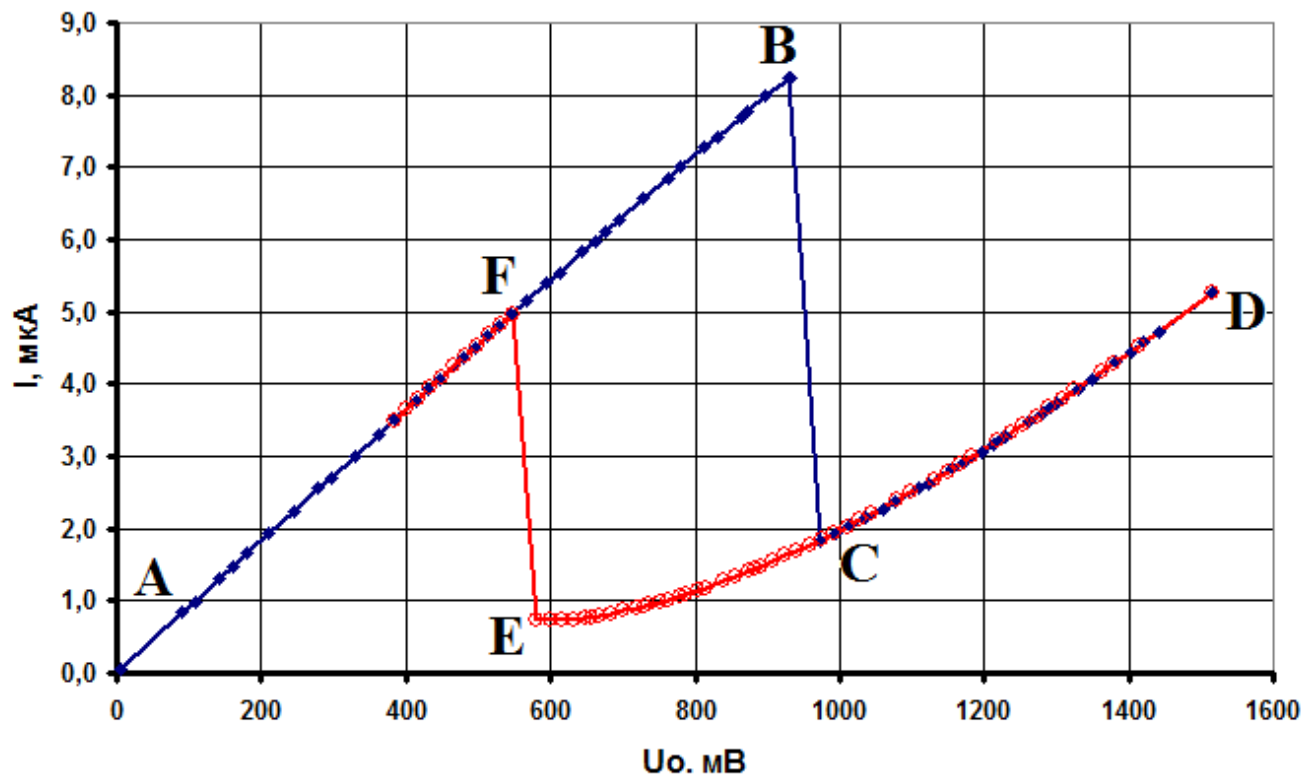
$$U_0 = U_R + U_D$$



$$I = \frac{U_R}{R} \quad (1)$$

2.2 – 2.3 В этой серии использовался резистор с сопротивлением $R = 100,7$ Ом. График зависимости силы тока в цепи I от общего напряжения U_0 показан на рисунке. Таблица результатов измерений приведена на следующей странице.

Сила тока от общего напряжения

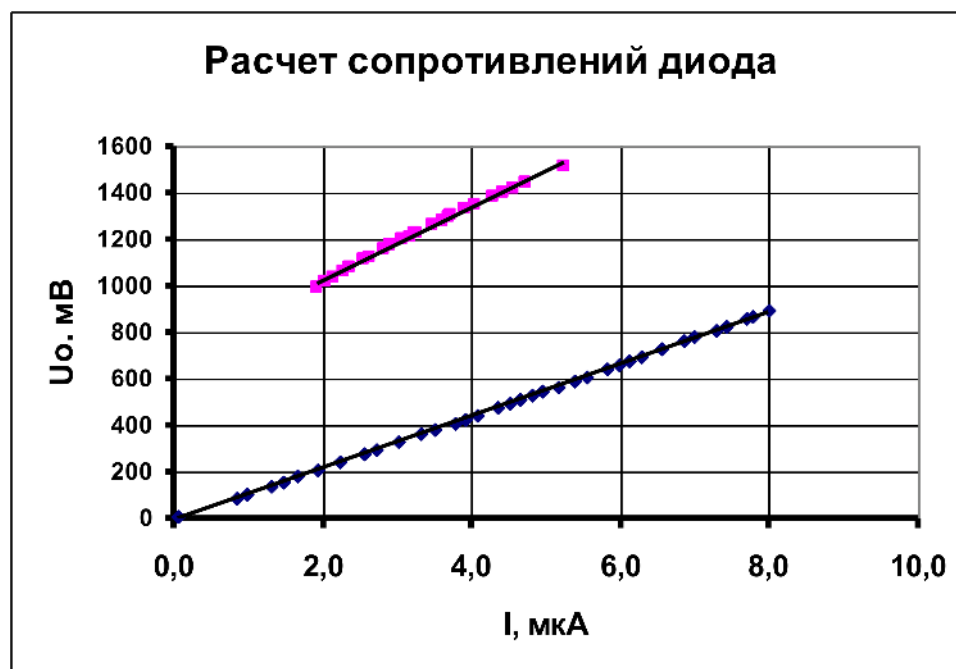


При возрастании напряжения сила тока изменяется по «траектории» $ABCD$, при уменьшении - $DEFA$. Главной особенностью полученной зависимости является наличие области бистабильности (ветви FB и EC) – в этой области при одном и том же напряжении сила тока может принимать разные значения.

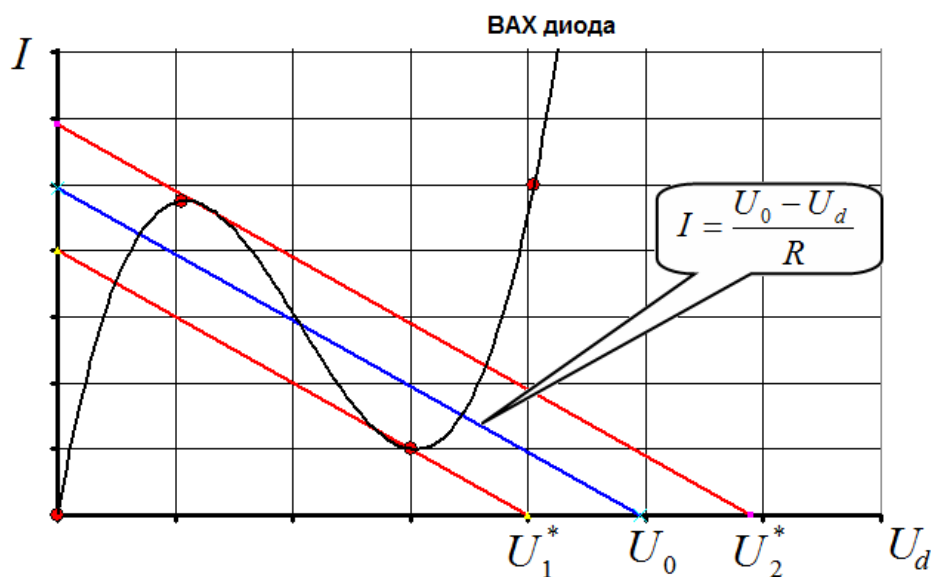
Таблица 1. Измерения при $R = 100,7$ Ом.

При увеличении напряжения				При уменьшении напряжения			
Ud , мВ	Ur , мВ	Uo , мВ	I , мкА	Ud , мВ	Ur , мВ	Uo , мВ	I , мкА
0	5	5	0,05	985	530	1515	5,25
6	84	90	0,83	958	458	1416	4,54
8	100	108	0,99	947	432	1379	4,28
10	132	142	1,31	942	420	1362	4,16
13	167	180	1,66	925	383	1308	3,80
16	195	211	1,93	919	371	1290	3,68
21	258	279	2,56	907	348	1255	3,45
23	273	296	2,71	901	337	1238	3,34
26	304	330	3,01	894	325	1219	3,22
29	334	363	3,31	881	303	1184	3,00
30	354	384	3,51	874	292	1166	2,89
35	395	430	3,91	860	271	1131	2,69
36	410	446	4,06	846	252	1098	2,50
39	440	479	4,36	838	242	1080	2,40
41	455	496	4,51	822	223	1045	2,21
42	470	512	4,66	814	214	1028	2,12
44	485	529	4,81	806	205	1011	2,03
46	500	546	4,96	797	196	993	1,94
46	521	567	5,16	789	187	976	1,85
51	544	595	5,39	780	179	959	1,77
56	588	644	5,83	761	164	925	1,63
60	617	677	6,11	742	149	891	1,48
62	632	694	6,26	737	146	883	1,45
66	662	728	6,56	732	142	874	1,41
71	691	762	6,85	721	135	856	1,34
73	706	779	7,00	711	128	839	1,27
78	734	812	7,27	695	119	814	1,18
81	749	830	7,42	689	116	805	1,15
88	785	873	7,78	671	108	779	1,07
92	805	897	7,98	659	103	762	1,02
99	832	931	8,25	653	100	753	0,99
788	185	973	1,83	637	94	731	0,93
799	196	995	1,94	628	91	719	0,90
808	206	1014	2,04	614	87	701	0,86
819	217	1036	2,15	601	83	684	0,82
830	229	1059	2,27	587	80	667	0,79
837	239	1076	2,37	580	78	658	0,77
858	265	1123	2,63	558	75	633	0,74
871	285	1156	2,82	542	73	615	0,72
877	294	1171	2,91	526	73	599	0,72
887	309	1196	3,06	508	73	581	0,72
893	320	1213	3,17	46	501	547	4,97
899	330	1229	3,27	43	472	515	4,68
911	352	1263	3,49	41	457	498	4,53
917	364	1281	3,61	39	443	482	4,39
921	372	1293	3,69	38	428	466	4,24
933	396	1329	3,92	35	398	433	3,94
939	409	1348	4,05	33	383	416	3,80
949	434	1383	4,30	32	368	400	3,65
955	448	1403	4,44	30	353	383	3,50

2.4 Выделенные линейные



участки отдельно показаны на следующем рисунке. Для упрощения построена «перевернутая зависимость» напряжение – сила тока. Коэффициенты наклона на этих графиках равны сопротивлениям цепи (дифференциальным). Расчет этих значений дает следующие значения: На ветви **AB**: $R = 112,2 \text{ Ом}$ На ветви **CD**: $R = 157,8 \text{ Ом}$



2.5 Качественное объяснение полученной зависимости может быть дано на основании ВАХ диода (см рис) На этом же графике построены зависимости силы тока через резистор (которая, естественно, равна силе тока через диод) от напряжения на диоде

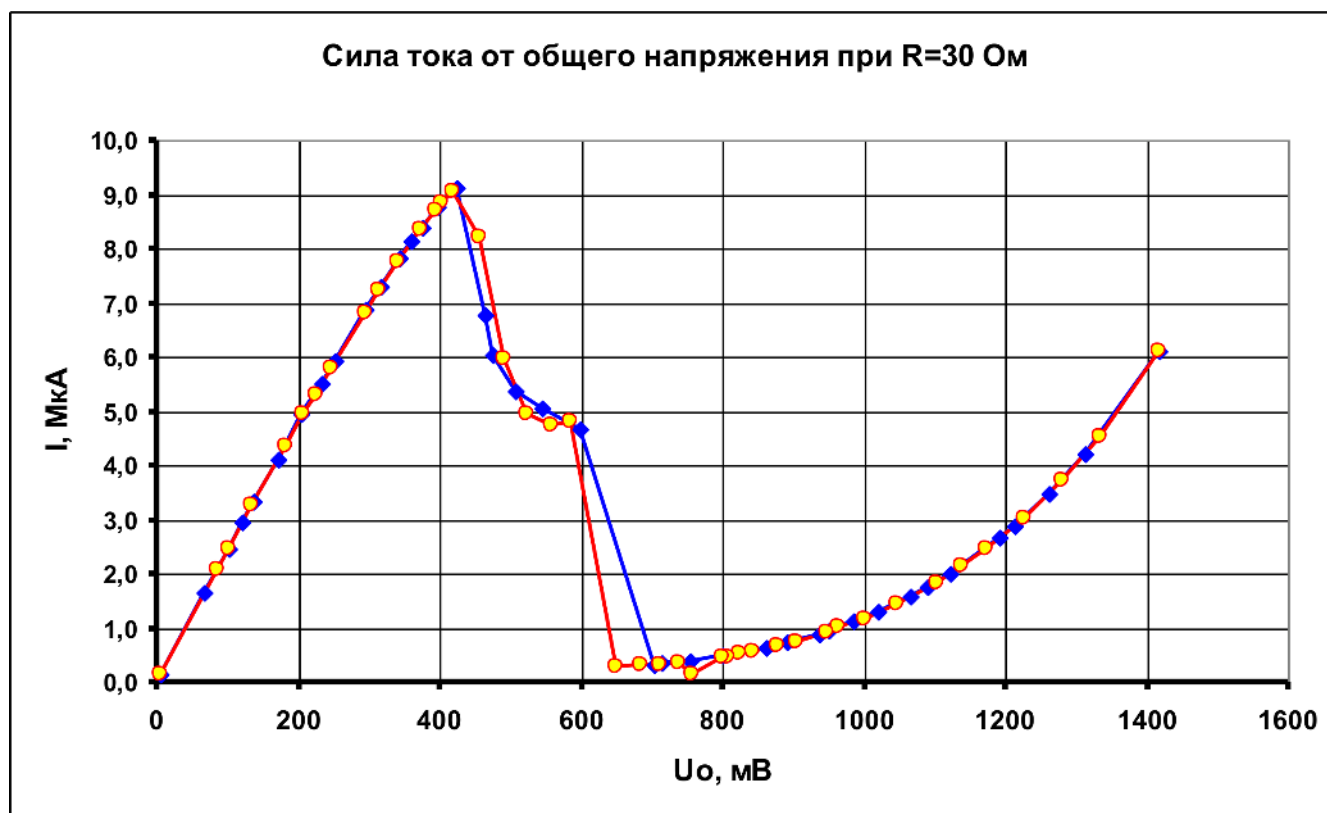
$$I = \frac{U_0 - U_D}{R}. \quad (2)$$

Точки пересечения этих графиков дают значения силы тока в цепи. Видно, что в диапазоне напряжений от U_1^* до U_2^* таких точек 3. Легко показать, что средняя ветвь в данном случае является неустойчивой, поэтому в эксперименте не проявляется. При возрастании напряжения сила тока изменяется по левой ветви, при убывании по правой ветви ВАХ диода.

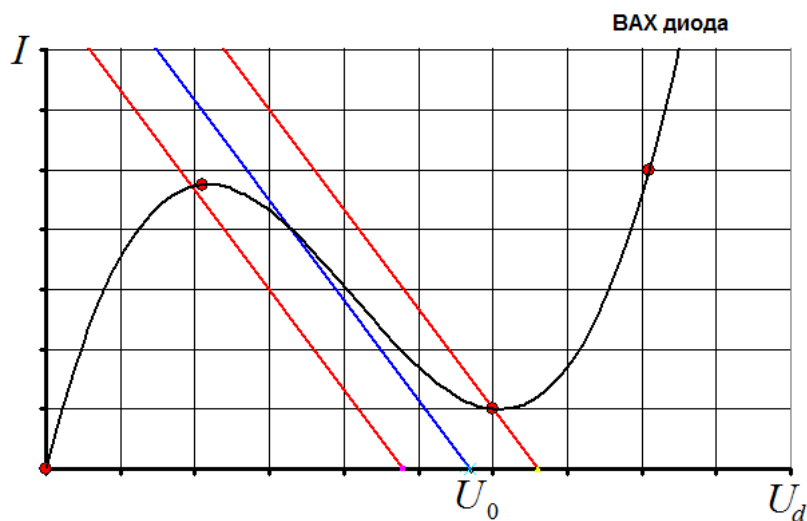
3. Вторая серия измерений проведена с резистором с сопротивлением $R = 30,0$ Ом. Результаты измерений приведены в Таблице 2 и показаны на графике.

Таблица 2. Измерения при $R = 30,0$ Ом.

При увеличении напряжения				При уменьшении напряжения			
U_d , мВ	U_r , мВ	U_o , мВ	U_d , мВ	U_o , мВ	U_d , мВ	U_r , мВ	U_o , мВ
1,0	4,0	5,0	0,1333	1235,0	183,1	1418,1	6,1033
18,0	50,0	68,0	1,6667	1197,0	136,2	1333,2	4,5400
28,0	74,0	102,0	2,4667	1169,0	111,9	1280,9	3,7300
33,0	88,0	121,0	2,9333	1136,0	90,8	1226,8	3,0267
38,0	100,0	138,0	3,3333	1100,0	73,7	1173,7	2,4567
48,0	123,0	171,0	4,1000	1075,0	64,0	1139,0	2,1333
57,0	148,0	205,0	4,9333	1048,0	55,0	1103,0	1,8333
68,0	165,0	233,0	5,5000	1003,0	43,3	1046,3	1,4433
75,0	178,0	253,0	5,9333	965,0	35,2	1000,2	1,1733
90,0	206,0	296,0	6,8667	935,0	30,1	965,1	1,0033
98,0	219,0	317,0	7,3000	920,0	27,6	947,6	0,9200
109,0	235,0	344,0	7,8333	883,0	22,5	905,5	0,7500
116,0	244,0	360,0	8,1333	858,0	19,7	877,7	0,6567
123,0	252,0	375,0	8,4000	826,0	16,6	842,6	0,5533
134,0	263,0	397,0	8,7667	810,0	15,3	825,3	0,5100
150,0	274,0	424,0	9,1333	794,0	14,1	808,1	0,4700
262,0	203,0	465,0	6,7667	786,0	13,6	799,6	0,4533
294,0	181,0	475,0	6,0333	753,0	4,7	757,7	0,1567
346,0	161,0	507,0	5,3667	727,0	10,5	737,5	0,3500
392,0	152,0	544,0	5,0667	703,0	9,7	712,7	0,3233
458,0	140,0	598,0	4,6667	676,0	9,1	685,1	0,3033
694,0	9,0	703,0	0,3000	642,0	8,7	650,7	0,2900
705,0	10,2	715,2	0,3400	442,0	143,7	585,7	4,7900
742,0	12,0	754,0	0,4000	417,0	142,0	559,0	4,7333
787,0	14,3	801,3	0,4767	375,0	148,5	523,5	4,9500
844,0	19,0	863,0	0,6333	313,0	178,6	491,6	5,9533
869,0	21,8	890,8	0,7267	211,0	246,0	457,0	8,2000
909,0	26,6	935,6	0,8867	148,0	272,0	420,0	9,0667
921,0	28,7	949,7	0,9567	139,0	265,0	404,0	8,8333
951,0	33,6	984,6	1,1200	133,0	261,0	394,0	8,7000
980,0	39,2	1019,2	1,3067	122,0	250,0	372,0	8,3333
1017,0	47,8	1064,8	1,5933	108,0	233,0	341,0	7,7667
1036,0	52,6	1088,6	1,7533	97,0	217,0	314,0	7,2333
1062,0	60,5	1122,5	2,0167	90,0	204,0	294,0	6,8000
1113,0	79,7	1192,7	2,6567	73,0	174,0	247,0	5,8000
1127,0	86,7	1213,7	2,8900	66,0	159,0	225,0	5,3000
1158,0	104,4	1262,4	3,4800	60,0	148,0	208,0	4,9333
1187,0	126,8	1313,8	4,2267	52,0	131,0	183,0	4,3667
1235,0	183,1	1418,1	6,1033	37,0	98,0	135,0	3,2667
				28,0	74,0	102,0	2,4667
				23,0	62,0	85,0	2,0667
				1,0	4,0	5,0	0,1333

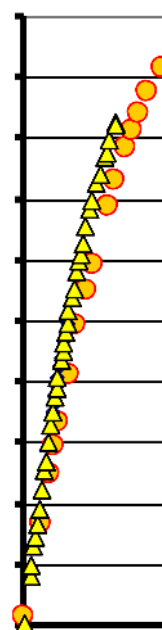
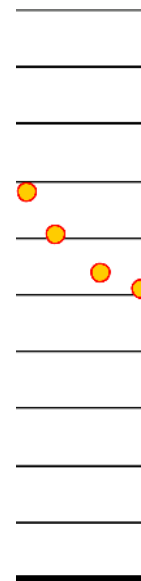


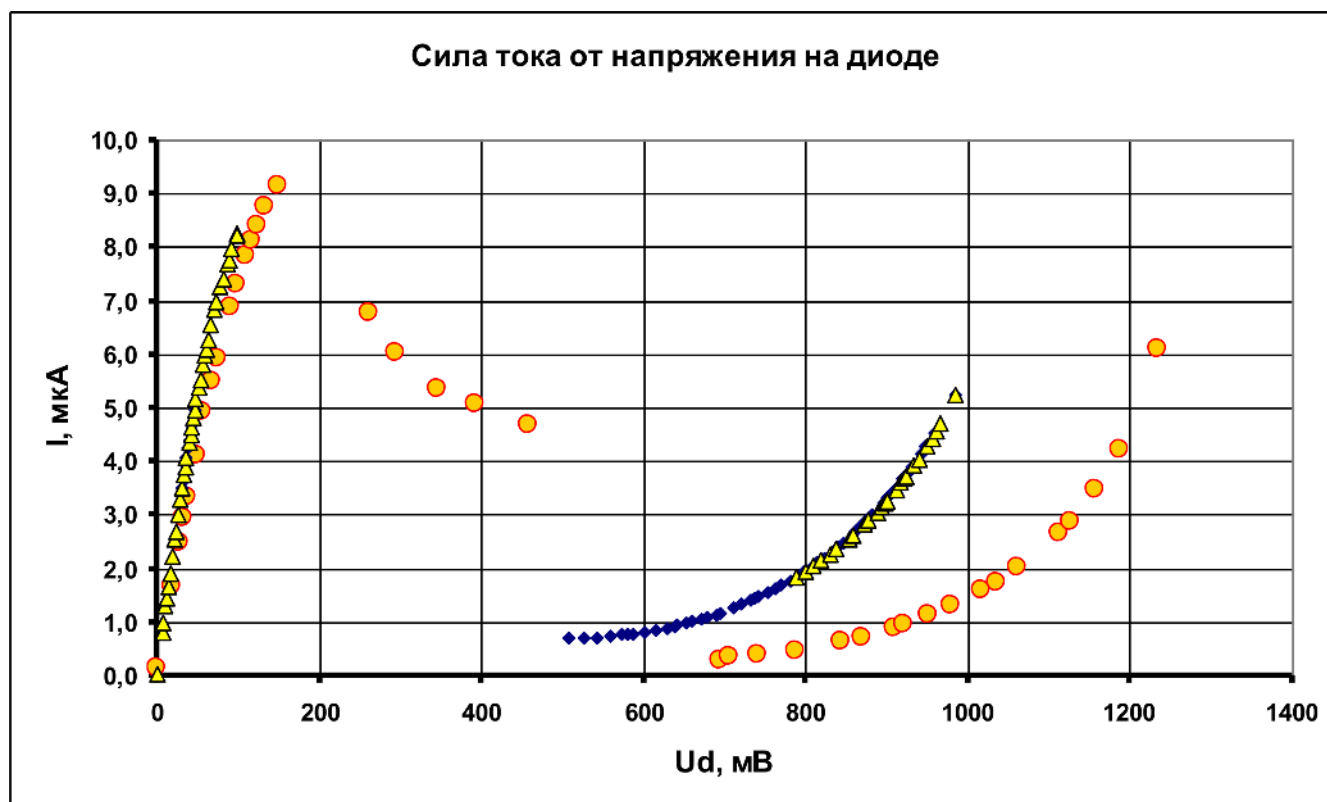
В этом случае области бистабильности нет – значения сил токов при возрастании и при убывании напряжения повторяются.



Качественное объяснение этой зависимости дает следующий график (аналогичный тому, который был рассмотрен при объяснении бистабильности). Из этого рисунка видно, что при малых сопротивлениях ВАХ диода и ВАХ резистора имеют одну точку пересечения при любых значениях общего напряжения. Поэтому в данном случае зависимость получается однозначной.

4. На следующем рисунке на график нанесены все точки, значений сил токов от напряжения на диоде – эти точки и дают





сопротивлениях слегка расходятся.

4. Значения сил токов и напряжений в критических точка оказываются равными: В пике: $U_u \approx 170 \text{ мВ}$: $I_u \approx 9 \text{ мкА}$; В провале $U_v \approx 600 \text{ мВ}$: $I_v \approx 0,5 \text{ мкА}$.

¹ Такой материал используется в аккумуляторах большой емкости для электромобилей.