

Контрольные задания по метрологии

Задание 1. При измерении активного сопротивления резистора были произведены десять равноточных измерений, результаты которых приведены в таблице 1. Предельная относительная погрешность δ средства измерения также указана в таблице 1. Оцените погрешности измерения и запишите результат измерения для доверительной вероятности 0,95 и для доверительной вероятности 0,99.

Таблица 1

Ном. вар.	Результаты измерений, Ом										δ %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
00	160.9	158.0	161.2	160.6	159.6	160.7	160.4	162.3	160.6	158.6	0.4
01	273.6	275.7	273.9	274.2	275.6	278.2	276.4	274.3	274.9	274.7	0.2
02	157.5	156.9	157.6	158.2	157.7	156.7	157.8	155.9	157.3	157.1	0.5
03	150.1	150.1	150.7	150.3	150.2	150.1	151.2	151.2	148.6	150.9	0.4
04	492.6	493.4	492.2	491.0	490.3	491.0	493.0	492.2	491.8	490.8	0.3
05	181.1	180.7	178.7	179.2	179.8	180.9	178.8	180.1	179.9	179.6	0.3
06	150.2	149.3	148.9	150.8	149.4	149.9	149.9	147.8	149.9	150.9	0.4
07	164.7	162.6	162.6	164.0	162.6	162.6	162.6	161.7	163.9	163.6	0.3
08	226.6	227.7	227.9	228.1	227.1	228.2	228.4	228.5	227.6	228.1	0.6
09	360.1	360.2	360.3	358.0	359.8	360.2	361.5	360.4	359.5	359.6	0.4
10	360.7	358.2	360.2	358.3	359.4	360.7	358.8	360.3	358.1	359.6	0.5
11	200.5	199.0	200.9	199.6	200.3	200.0	199.9	198.8	199.1	200.0	0.5
12	270.8	270.1	270.9	269.1	270.3	270.0	269.2	269.7	270.6	268.8	0.6
13	378.1	378.7	378.2	376.8	377.4	378.4	375.9	377.0	377.8	377.2	0.4
14	150.5	151.4	149.3	150.9	150.3	150.6	149.4	150.8	151.2	149.9	0.5
15	184.0	182.9	183.7	184.3	183.5	183.4	184.2	184.8	183.3	182.0	0.4
16	180.5	179.8	179.6	178.6	179.1	180.9	180.9	180.6	179.5	180.9	0.5
17	267.7	266.0	269.1	267.5	266.6	267.6	266.8	265.8	268.0	266.1	0.6
18	192.4	192.7	193.5	192.9	194.3	194.2	192.7	194.2	193.8	191.8	0.3
19	262.8	262.4	263.2	262.6	263.2	262.6	262.0	262.7	262.3	262.7	0.3
20	200.6	198.3	200.6	200.3	199.3	201.4	199.6	200.2	201.0	201.0	0.4
21	376.8	375.5	379.7	376.5	376.7	376.3	375.7	377.3	375.9	375.1	0.2
22	212.8	211.6	213.6	209.4	210.3	211.4	212.6	211.7	210.3	210.8	0.4
23	446.9	447.5	446.7	446.0	447.2	446.5	446.3	446.3	446.1	445.4	0.2
24	302.2	300.4	299.3	299.9	301.5	300.5	300.9	301.6	301.5	302.6	0.6
25	446.2	447.6	444.9	443.6	445.4	444.7	445.8	445.4	445.2	447.6	0.2
26	179.5	181.5	181.2	180.8	178.8	181.6	179.5	180.2	179.8	178.8	0.6
27	159.5	159.3	160.1	161.7	160.5	160.9	158.5	161.3	159.1	157.9	0.5
28	560.3	561.9	559.0	559.2	560.1	561.7	559.5	560.2	558.9	560.5	0.2
29	257.3	257.4	256.9	257.6	257.2	256.5	256.6	256.3	256.9	257.9	0.2
30	201.1	200.7	200.3	199.0	200.0	200.8	200.5	200.5	200.8	199.6	0.3
31	345.7	348.2	346.3	346.9	345.3	347.7	345.0	347.3	347.1	346.2	0.3
32	156.9	154.4	155.4	154.5	153.7	155.3	155.4	155.9	155.8	154.8	0.2
33	559.6	561.1	560.2	559.1	560.0	560.1	560.6	560.3	559.9	560.7	0.2
34	452.0	451.9	452.0	452.1	451.6	451.2	450.8	451.8	452.0	452.0	0.2

Таблица 1 (продолжение)

Ном. вар.	Результаты измерений, Ом										δ %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
35	182.6	184.9	184.1	184.1	183.8	185.2	185.2	186.7	183.6	183.6	0.6
36	392.9	392.3	391.7	394.9	392.7	393.5	392.1	391.1	391.3	395.0	0.4
37	147.1	146.6	146.3	147.9	146.6	146.2	145.5	146.4	147.0	146.1	0.6
38	261.0	258.5	263.5	263.0	262.5	261.6	263.8	263.0	262.8	262.7	0.3
39	218.2	220.1	219.8	219.1	221.2	218.9	219.3	219.4	221.2	221.7	0.2
40	179.8	179.8	181.1	179.5	179.7	179.9	180.6	179.4	177.9	179.5	0.5
41	205.8	206.9	206.5	206.4	205.0	205.3	207.6	206.9	206.8	208.2	0.5
42	372.7	375.1	373.9	375.6	374.2	375.8	374.2	374.4	373.5	373.8	0.2
43	187.1	188.3	188.2	188.8	188.2	188.7	187.8	188.2	189.1	188.9	0.3
44	160.1	162.8	162.6	162.6	162.4	161.2	160.4	162.3	162.8	161.2	0.3
45	152.4	151.3	153.2	151.9	151.9	152.8	153.2	151.2	152.3	152.0	0.4
46	180.2	180.7	178.2	180.7	181.7	180.2	178.8	179.8	180.7	180.8	0.2
47	245.4	246.6	245.8	247.5	246.1	246.1	245.8	246.4	245.9	244.8	0.6
48	262.8	264.4	264.0	263.5	261.8	264.2	262.8	262.5	262.6	262.6	0.4
49	149.6	151.5	148.3	148.5	151.3	150.8	150.5	149.8	151.5	150.6	0.4
50	221.8	220.4	221.3	219.2	218.5	219.2	221.0	219.2	220.8	220.0	0.4
51	295.1	296.0	296.2	294.8	296.7	296.0	295.5	295.1	296.3	296.1	0.4
52	239.2	237.6	236.7	237.4	238.4	240.1	238.2	236.6	237.8	238.9	0.2
53	391.1	391.1	390.0	390.5	391.0	390.5	388.0	391.4	389.2	390.9	0.2
54	155.6	155.8	157.4	155.4	155.8	154.7	154.5	157.4	155.4	155.4	0.4
55	166.4	165.7	165.1	167.4	165.9	166.6	166.0	165.2	166.3	166.7	0.5
56	329.9	330.5	331.4	329.1	328.7	328.6	330.5	328.9	329.3	331.6	0.5
57	179.2	177.6	178.1	176.8	179.4	177.8	177.0	178.6	177.8	179.4	0.4
58	163.3	165.2	163.3	163.5	165.2	163.5	163.9	164.5	164.8	164.5	0.3
59	330.8	329.8	330.0	330.3	331.5	328.6	330.0	329.0	330.7	329.1	0.2
60	147.9	147.8	146.2	146.4	147.7	147.6	146.2	148.4	147.1	147.6	0.5
61	194.2	194.2	195.5	194.4	196.1	193.9	193.8	193.8	194.3	194.2	0.3
62	148.2	150.2	149.3	148.4	150.0	149.6	147.7	149.5	148.9	148.6	0.6
63	144.5	144.2	143.6	143.9	141.9	143.7	144.2	143.5	144.8	145.9	0.4
64	370.8	370.1	369.5	368.9	368.6	369.1	371.4	369.5	371.0	370.7	0.5
65	276.9	278.6	278.4	278.4	278.9	277.8	278.4	277.9	279.0	279.2	0.2
66	152.0	151.2	152.1	149.6	151.3	151.7	149.7	151.3	151.3	150.8	0.5
67	211.0	213.0	211.6	212.1	212.6	211.1	212.4	211.4	211.5	211.0	0.4
68	294.3	294.5	293.8	296.6	295.6	294.6	294.7	295.0	295.2	294.6	0.2
69	199.9	200.0	199.8	201.5	199.4	203.1	199.0	199.8	201.4	200.2	0.6
70	558.5	557.8	560.3	560.3	560.2	561.1	560.6	559.3	559.9	560.3	0.3
71	420.9	420.9	421.3	423.3	422.9	423.6	424.3	423.1	422.3	424.2	0.2
72	159.2	158.3	160.8	158.4	159.4	161.3	160.8	159.7	159.9	161.1	0.6
73	448.0	448.1	448.2	448.1	447.3	447.4	446.4	446.7	447.9	449.2	0.2
74	216.4	217.3	215.7	216.7	214.4	216.1	216.7	215.3	216.2	216.9	0.4
75	361.8	360.2	360.2	359.2	359.7	360.1	361.0	359.8	359.5	359.8	0.4
76	331.8	331.0	328.0	329.5	330.6	328.9	329.4	330.2	329.8	330.0	0.2
77	343.3	343.7	343.0	342.8	342.8	343.1	343.9	344.7	343.0	344.1	0.3
78	221.1	219.7	220.0	219.9	219.3	219.5	220.6	219.2	220.3	219.7	0.6
79	332.3	331.0	332.6	331.0	333.1	330.7	332.5	332.2	332.6	333.0	0.6

Таблица 1 (продолжение)

Ном. вар.	Результаты измерений, Ом										δ %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
80	243.6	245.2	244.8	244.5	243.8	243.2	244.4	244.6	243.8	243.3	0.6
81	424.6	424.3	423.9	425.2	423.9	424.8	425.0	423.1	422.3	425.2	0.4
82	153.1	152.6	152.9	152.9	152.0	152.5	151.2	152.6	153.4	152.4	0.4
83	232.5	233.1	234.1	233.4	235.3	233.9	233.9	233.0	234.5	233.9	0.4
84	471.1	468.5	470.4	470.1	469.9	468.8	470.5	471.3	470.8	470.5	0.3
85	239.0	240.8	240.7	240.0	239.3	241.3	241.5	240.0	238.4	239.2	0.2
86	372.2	371.6	372.2	372.4	370.4	371.3	372.4	371.5	369.8	371.6	0.3
87	236.2	233.9	235.4	234.0	234.9	234.2	234.6	234.5	235.1	236.1	0.5
88	592.9	592.6	593.4	595.0	593.0	594.0	592.8	593.9	590.9	592.4	0.2
89	208.2	208.4	208.1	209.8	208.8	207.7	208.3	209.7	206.5	207.5	0.6
90	319.8	320.0	320.1	319.1	320.8	319.8	318.0	320.5	320.6	320.9	0.5
91	202.9	201.7	202.7	202.5	202.1	201.5	201.3	202.8	203.1	204.0	0.2
92	471.4	471.3	470.1	471.5	470.9	470.3	469.5	468.2	469.6	469.9	0.4
93	287.0	288.2	289.3	287.3	287.5	288.5	287.7	287.7	289.5	288.6	0.3
94	222.4	222.8	220.2	222.4	222.6	220.9	223.2	221.1	222.6	222.7	0.6
95	389.1	389.2	389.3	388.3	391.7	391.4	390.0	388.1	390.2	391.4	0.2
96	292.5	292.6	292.1	291.7	292.2	291.9	292.6	292.7	291.8	291.7	0.3
97	413.6	415.9	414.5	414.0	415.8	415.0	415.2	413.8	414.2	414.9	0.3
98	330.2	329.2	329.6	329.7	330.1	329.2	330.7	329.8	328.3	330.2	0.2
99	149.2	148.6	149.0	148.8	149.2	148.5	149.4	149.7	148.6	148.0	0.3

Задание 2. При поверке после ремонта вольтметра класса точности γ с конечным значением шкалы 5 Вольт в точках шкалы 1, 2, 3, 4 и 5 В при убывании и возрастании показаний получены показания образцового вольтметра, представленные в таблице 2. Определите, соответствует ли поверяемый вольтметр своему классу точности.

Таблица 2

Номер варианта	Показания образцового прибора										Класс точности γ
	при возрастании показаний, В					при убывании показаний, В					
	U_1^\uparrow	U_2^\uparrow	U_3^\uparrow	U_4^\uparrow	U_5^\uparrow	U_1^\downarrow	U_2^\downarrow	U_3^\downarrow	U_4^\downarrow	U_5^\downarrow	
00	0.99	2.07	3.11	4.04	4.91	0.98	2.06	3.08	4.01	4.88	2.5
01	0.92	1.95	3.13	4.11	4.94	0.89	1.94	3.11	4.08	4.90	2.5
02	1.03	1.97	3.04	3.97	4.96	1.02	1.94	3.03	3.96	4.94	1.5
03	0.91	1.93	2.92	3.96	4.93	0.87	1.88	2.89	3.92	4.90	2.5
04	1.02	2.03	3.00	4.03	5.01	1.01	2.02	2.99	4.02	5.00	1.0
05	0.97	2.04	3.01	3.99	5.03	0.96	2.02	3.00	3.98	5.01	1.0
06	0.90	1.91	2.93	4.11	5.12	0.81	1.83	2.92	4.03	5.10	4.0
07	0.98	1.98	2.95	4.08	5.10	0.96	1.97	2.91	4.07	5.05	2.0
08	0.97	2.05	3.03	3.94	5.04	0.94	2.01	3.00	3.93	5.02	2.0
09	0.91	2.05	3.14	3.96	5.04	0.88	2.00	3.11	3.89	4.94	4.0
10	1.07	1.95	3.05	4.07	4.97	1.06	1.93	3.02	4.04	4.96	1.5
11	1.04	2.04	2.98	4.03	4.99	1.02	2.03	2.96	4.01	4.98	1.0
12	0.99	1.94	3.03	3.96	5.00	0.96	1.93	3.00	3.94	4.99	1.5

Таблица 2 (продолжение)

Номер варианта	Показания образцового прибора										Класс точности γ
	при возрастании показаний, В					при убывании показаний, В					
	U_1^\uparrow	U_2^\uparrow	U_3^\uparrow	U_4^\uparrow	U_5^\uparrow	U_1^\downarrow	U_2^\downarrow	U_3^\downarrow	U_4^\downarrow	U_5^\downarrow	
13	1.03	1.95	3.01	3.96	5.04	1.02	1.91	2.99	3.95	4.99	2.0
14	1.04	2.07	2.97	4.00	4.94	1.02	2.04	2.95	3.98	4.93	2.0
15	1.03	2.04	2.98	3.98	5.00	1.01	2.03	2.97	3.97	4.98	1.0
16	0.88	2.16	3.05	4.07	5.12	0.83	2.14	2.96	4.01	5.07	4.0
17	1.21	2.02	2.89	3.82	5.22	1.17	2.01	2.85	3.79	5.21	4.0
18	0.85	2.04	2.99	3.98	5.13	0.79	2.00	2.92	3.95	5.04	4.0
19	0.97	2.05	2.97	4.01	4.95	0.94	2.04	2.96	3.99	4.93	1.5
20	0.98	1.97	3.00	4.01	5.00	0.95	1.95	2.99	3.96	4.95	2.0
21	1.02	2.00	3.03	4.00	5.04	1.01	1.98	3.02	3.98	5.03	1.0
22	1.01	1.98	3.02	3.97	5.00	1.00	1.97	3.01	3.96	4.99	1.0
23	0.99	1.98	3.01	3.98	4.98	0.98	1.97	3.00	3.97	4.97	1.0
24	1.07	1.98	2.99	4.01	4.96	1.05	1.96	2.98	3.99	4.94	1.5
25	1.13	2.13	3.05	4.11	4.95	1.12	2.11	3.02	4.08	4.94	2.5
26	1.09	2.00	3.08	3.99	4.94	1.05	1.99	3.05	3.97	4.90	2.0
27	0.95	2.05	3.04	4.05	4.90	0.86	2.00	3.02	4.00	4.88	4.0
28	1.19	1.88	2.95	3.87	5.16	1.16	1.81	2.91	3.83	5.15	4.0
29	1.03	1.98	3.02	4.03	5.03	1.02	1.97	3.00	4.02	5.01	1.0
30	0.97	1.98	2.97	4.07	5.01	0.95	1.92	2.91	4.03	5.00	2.5
31	1.09	2.10	2.91	3.98	5.12	1.07	2.04	2.90	3.97	5.11	2.5
32	0.97	2.01	2.98	3.95	5.04	0.94	1.99	2.97	3.94	5.01	1.5
33	1.09	2.12	3.03	4.09	5.11	1.00	2.07	3.00	4.02	5.08	4.0
34	0.93	2.09	3.05	4.10	5.04	0.91	2.05	3.04	4.08	5.01	2.0
35	0.95	1.97	2.89	4.13	5.13	0.92	1.96	2.87	4.12	5.09	2.5
36	0.82	2.15	3.00	4.06	4.85	0.81	2.14	2.99	4.03	4.78	4.0
37	1.01	2.03	2.99	3.94	5.04	0.97	1.98	2.98	3.91	5.01	2.0
38	1.04	2.02	2.99	4.00	5.02	1.03	2.01	2.98	3.98	5.00	1.0
39	0.91	1.95	3.08	4.07	5.01	0.87	1.89	3.06	4.05	4.97	2.5
40	1.19	1.89	3.21	3.90	5.09	1.10	1.83	3.15	3.87	5.00	4.0
41	1.06	2.04	2.94	3.92	5.09	1.05	2.01	2.91	3.91	5.07	2.0
42	0.93	2.05	2.95	4.10	4.99	0.91	2.00	2.92	4.05	4.96	2.5
43	1.01	2.04	3.03	3.97	4.99	1.00	2.02	3.01	3.96	4.98	1.0
44	1.02	1.83	2.90	4.13	4.79	1.01	1.81	2.85	4.08	4.78	4.0
45	1.11	2.14	3.07	4.04	4.80	1.02	2.11	3.06	3.97	4.79	4.0
46	1.00	2.06	2.91	4.22	5.06	0.92	1.97	2.90	4.18	5.04	4.0
47	0.91	2.06	2.96	4.02	4.98	0.90	2.00	2.95	3.98	4.95	2.5
48	0.99	1.96	3.00	4.03	5.00	0.98	1.94	2.98	4.01	4.98	1.5
49	1.02	2.00	3.07	4.06	4.97	1.00	1.98	3.04	4.05	4.96	1.5
50	1.12	1.85	3.22	3.97	5.13	1.09	1.84	3.21	3.92	5.08	4.0
51	0.98	2.01	3.01	4.04	5.00	0.97	2.00	3.00	4.02	4.98	1.0
52	1.03	1.95	2.99	3.96	5.02	1.00	1.93	2.95	3.95	4.97	2.5
53	0.96	2.10	2.94	3.98	5.10	0.95	2.07	2.92	3.96	5.05	2.0
54	0.97	2.06	3.09	3.96	4.82	0.90	2.05	3.02	3.90	4.81	4.0
55	1.01	1.96	3.05	4.03	5.07	1.00	1.93	3.02	4.02	5.06	1.5
56	0.96	2.04	3.01	4.02	4.95	0.94	2.02	2.99	3.99	4.93	1.5

Таблица 2 (продолжение)

Номер варианта	Показания образцового прибора										Класс точности γ
	при возрастании показаний, В					при убывании показаний, В					
	U_1^\uparrow	U_2^\uparrow	U_3^\uparrow	U_4^\uparrow	U_5^\uparrow	U_1^\downarrow	U_2^\downarrow	U_3^\downarrow	U_4^\downarrow	U_5^\downarrow	
57	1.02	2.09	3.22	4.22	5.09	0.96	2.06	3.21	4.19	5.04	4.0
58	1.01	1.94	2.97	3.97	4.98	0.98	1.93	2.96	3.96	4.97	1.5
59	0.98	2.07	3.05	4.13	5.08	0.95	2.06	3.04	4.12	5.02	2.5
60	0.99	2.01	2.82	4.21	4.94	0.98	1.99	2.80	4.20	4.93	4.0
61	1.03	2.03	3.00	4.02	5.03	1.02	2.01	2.99	4.01	5.01	1.0
62	1.07	1.94	3.01	4.12	5.08	1.02	1.93	2.95	4.11	5.06	2.5
63	1.01	2.00	2.94	4.08	4.99	1.00	1.97	2.90	4.07	4.97	2.0
64	1.00	2.04	2.98	4.06	4.96	0.99	2.02	2.96	4.05	4.94	1.5
65	1.06	1.95	3.09	4.07	5.10	1.05	1.91	3.05	4.04	5.08	2.0
66	1.01	2.01	3.08	3.97	5.02	0.98	2.00	3.05	3.95	5.00	2.0
67	0.92	2.04	2.96	4.00	5.01	0.89	1.99	2.94	3.95	4.97	2.5
68	1.07	2.04	2.98	4.00	5.07	1.04	2.03	2.96	3.99	5.06	1.5
69	1.02	2.04	2.98	4.05	4.98	0.99	2.02	2.97	4.03	4.96	1.5
70	1.05	2.04	2.95	3.98	5.00	1.03	2.01	2.93	3.96	4.97	1.5
71	0.92	1.92	3.15	4.16	4.93	0.83	1.82	3.11	4.09	4.88	4.0
72	0.84	2.04	3.02	3.98	4.89	0.80	2.00	3.01	3.96	4.83	4.0
73	1.06	1.95	3.01	3.98	5.05	1.05	1.93	2.98	3.95	5.03	1.5
74	0.90	2.06	3.20	4.05	4.89	0.86	1.98	3.18	4.02	4.85	4.0
75	1.07	2.10	3.05	3.92	5.00	1.03	2.08	3.01	3.91	4.94	2.5
76	1.03	2.04	2.97	4.04	4.98	1.01	2.03	2.96	4.00	4.97	2.0
77	0.99	1.92	3.11	4.08	5.04	0.95	1.91	3.05	4.03	5.01	2.5
78	1.06	1.96	3.10	4.00	4.92	1.04	1.94	3.08	3.99	4.90	2.0
79	1.06	1.95	2.93	3.99	5.12	1.00	1.89	2.91	3.96	5.10	2.5
80	1.22	2.04	3.22	3.91	4.87	1.18	1.99	3.15	3.87	4.80	4.0
81	0.88	2.07	3.00	3.99	4.93	0.87	2.05	2.96	3.97	4.88	2.5
82	0.98	1.98	3.02	3.99	5.01	0.97	1.96	3.00	3.97	5.00	1.0
83	1.01	2.02	2.98	4.01	4.97	1.00	2.00	2.97	4.00	4.96	1.0
84	1.02	2.03	3.08	4.05	5.10	0.98	1.99	3.05	4.00	5.07	2.0
85	1.00	1.97	3.03	3.99	4.99	0.99	1.96	3.02	3.97	4.98	1.0
86	0.96	1.90	2.91	4.01	5.00	0.94	1.88	2.88	4.00	4.95	2.5
87	0.98	2.04	2.98	4.00	4.99	0.96	2.03	2.96	3.99	4.97	1.0
88	1.02	2.00	3.01	4.03	5.03	1.01	1.99	2.99	4.01	5.02	1.0
89	1.00	2.02	3.05	3.96	5.01	0.97	2.00	3.03	3.95	5.00	1.5
90	1.04	2.03	2.99	4.00	4.98	1.01	2.00	2.98	3.99	4.97	1.5
91	1.04	2.02	2.96	3.96	4.99	1.02	2.01	2.93	3.93	4.97	1.5
92	0.87	1.92	3.03	3.96	5.08	0.78	1.82	3.01	3.90	5.00	4.0
93	0.96	2.10	3.03	3.94	5.09	0.91	2.06	3.00	3.90	5.06	2.0
94	1.03	2.03	3.00	4.04	5.00	1.02	2.01	2.98	4.02	4.98	1.0
95	0.99	1.98	3.02	4.02	4.97	0.98	1.97	3.01	4.00	4.96	1.0
96	1.08	1.81	2.89	3.92	4.96	1.01	1.79	2.81	3.86	4.87	4.0
97	1.03	1.99	3.01	4.04	5.07	1.00	1.96	3.00	4.01	5.05	1.5
98	1.07	1.97	2.98	4.04	5.01	1.05	1.87	2.91	3.98	4.92	4.0
99	0.99	2.01	3.04	4.05	4.96	0.96	1.98	3.02	4.03	4.92	2.0

Задание 3. Оцените погрешность прямого однократного измерения напряжения U на сопротивлении R , выполненного вольтметром класса точности γ с верхним пределом измерения U_N и внутренним сопротивлением R_V . Известно, что дополнительные погрешности показаний вольтметра из-за влияния магнитного поля и температуры не превышают соответственно δ_M и δ_T основной погрешности прибора. Исходные данные задачи приведены в таблице 3.

Таблица 3

Номер варианта	U , В	R , Ом	U_N , В	R_V , Ом	γ	δ_M , %	δ_T , %
00	1.42	3.8	1.5	1600	1.5	0.80	0.35
01	1.64	4.1	2.0	1300	1.5	0.70	0.45
02	4.50	4.8	5.0	1400	1.0	0.65	0.35
03	1.64	3.4	2.0	1200	1.0	0.55	0.50
04	4.28	4.0	5.0	1300	0.5	0.70	0.50
05	2.52	4.1	3.0	1100	0.5	0.75	0.35
06	1.31	4.8	1.5	1600	0.5	0.55	0.50
07	1.75	3.5	2.0	1000	0.5	0.75	0.35
08	2.63	3.7	3.0	1600	1.0	0.80	0.50
09	3.62	4.8	4.0	1000	1.5	0.65	0.35
10	3.95	5.1	4.0	1300	1.0	0.60	0.50
11	4.50	4.0	5.0	1200	1.5	0.70	0.45
12	2.52	4.6	3.0	1600	1.5	0.75	0.40
13	4.61	4.0	5.0	1600	1.5	0.70	0.60
14	1.42	3.4	1.5	1100	1.0	0.65	0.50
15	3.18	4.7	4.0	1000	1.0	0.55	0.45
16	4.39	4.1	5.0	1200	1.5	0.75	0.50
17	1.42	5.1	1.5	1100	0.5	0.65	0.60
18	2.30	3.6	2.5	1000	0.5	0.70	0.60
19	3.07	3.5	4.0	1100	0.5	0.70	0.55
20	4.28	3.7	5.0	1300	0.5	0.80	0.55
21	3.84	4.2	4.0	1600	0.5	0.75	0.55
22	3.29	3.8	4.0	1200	1.5	0.55	0.40
23	2.52	4.1	3.0	1500	0.5	0.75	0.35
24	2.85	3.3	3.0	1500	1.0	0.80	0.55
25	3.07	3.3	4.0	1100	1.5	0.70	0.40
26	2.41	3.0	2.5	1500	1.0	0.70	0.35
27	3.29	3.8	4.0	1600	0.5	0.60	0.50
28	2.19	4.2	2.5	1200	1.5	0.75	0.50
29	3.62	3.4	4.0	1400	1.5	0.60	0.40
30	1.64	4.9	2.0	1200	1.5	0.65	0.50
31	4.28	3.7	5.0	1200	1.5	0.75	0.60
32	1.64	5.0	2.0	1500	1.0	0.70	0.50
33	4.50	4.0	5.0	1500	0.5	0.80	0.60
34	1.64	3.0	2.0	1400	1.0	0.75	0.35
35	1.20	5.1	1.5	1400	1.5	0.55	0.45
36	1.20	4.4	1.5	1600	1.5	0.55	0.35
37	1.86	3.8	2.0	1000	1.5	0.65	0.50
38	2.96	4.9	3.0	1500	1.5	0.80	0.55

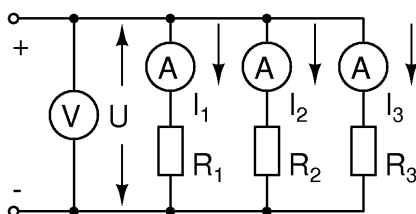
Таблица 3 (продолжение)

Номер варианта	U , В	R , Ом	U_N , В	R_V , Ом	γ	δ_M , %	δ_T , %
39	3.40	3.8	4.0	1000	0.5	0.55	0.40
40	2.63	4.7	3.0	1300	1.0	0.75	0.45
41	1.97	4.1	2.0	1500	1.0	0.80	0.50
42	3.62	4.4	4.0	1500	1.5	0.75	0.40
43	4.72	4.0	5.0	1200	1.0	0.65	0.55
44	3.84	4.2	4.0	1100	0.5	0.65	0.50
45	1.75	4.2	2.0	1000	1.5	0.60	0.50
46	2.96	3.9	3.0	1300	0.5	0.70	0.35
47	4.17	4.7	5.0	1200	1.0	0.70	0.35
48	1.75	3.4	2.0	1400	0.5	0.80	0.60
49	2.08	4.6	2.5	1000	0.5	0.80	0.55
50	3.95	3.3	4.0	1100	1.0	0.65	0.45
51	2.74	3.4	3.0	1400	0.5	0.60	0.55
52	4.28	4.5	5.0	1400	1.0	0.70	0.45
53	3.18	4.0	4.0	1100	1.5	0.70	0.45
54	4.61	4.9	5.0	1200	0.5	0.55	0.35
55	1.31	4.8	1.5	1500	1.0	0.55	0.55
56	2.74	5.1	3.0	1000	1.5	0.55	0.55
57	2.30	3.7	2.5	1400	0.5	0.65	0.55
58	1.86	3.5	2.0	1400	1.0	0.65	0.45
59	2.19	3.8	2.5	1100	0.5	0.80	0.40
60	1.86	3.2	2.0	1100	0.5	0.75	0.45
61	1.53	5.0	2.0	1300	0.5	0.75	0.55
62	4.61	3.2	5.0	1100	1.0	0.70	0.35
63	2.96	3.5	3.0	1300	1.0	0.65	0.40
64	4.17	5.0	5.0	1600	0.5	0.65	0.35
65	3.95	3.9	4.0	1100	1.0	0.75	0.35
66	1.97	3.4	2.0	1500	0.5	0.55	0.55
67	2.30	3.6	2.5	1100	1.0	0.80	0.35
68	1.53	5.1	2.0	1100	1.0	0.65	0.55
69	4.17	5.0	5.0	1000	1.0	0.80	0.50
70	3.62	3.0	4.0	1100	0.5	0.60	0.55
71	3.51	4.1	4.0	1500	1.5	0.75	0.55
72	2.63	3.9	3.0	1300	1.0	0.65	0.40
73	1.31	4.8	1.5	1600	0.5	0.75	0.35
74	3.95	5.1	4.0	1000	1.5	0.75	0.35
75	4.61	3.2	5.0	1100	1.5	0.80	0.55
76	1.64	4.8	2.0	1500	1.5	0.70	0.40
77	3.84	3.8	4.0	1400	0.5	0.65	0.60
78	1.97	3.1	2.0	1200	1.5	0.75	0.50
79	3.07	5.0	4.0	1600	0.5	0.75	0.45
80	3.84	4.3	4.0	1400	1.0	0.55	0.35
81	2.63	4.8	3.0	1000	1.0	0.55	0.60
82	2.74	4.3	3.0	1400	1.0	0.75	0.55
83	3.51	3.5	4.0	1200	1.0	0.65	0.50
84	3.18	3.6	4.0	1100	0.5	0.60	0.60

Таблица 3 (продолжение)

Номер варианта	U , В	R , Ом	U_N , В	R_V , Ом	γ	δ_M , %	δ_T , %
85	1.31	4.6	1.5	1400	0.5	0.80	0.35
86	2.19	4.1	2.5	1400	1.0	0.55	0.35
87	3.62	4.0	4.0	1400	1.0	0.60	0.35
88	4.50	5.2	5.0	1100	0.5	0.75	0.35
89	1.31	4.0	1.5	1200	0.5	0.55	0.60
90	3.95	4.7	4.0	1600	1.5	0.60	0.45
91	2.41	4.7	2.5	1400	1.0	0.70	0.40
92	3.07	4.3	4.0	1500	1.5	0.75	0.55
93	2.96	4.9	3.0	1600	1.5	0.70	0.50
94	1.53	3.7	2.0	1500	1.5	0.80	0.35
95	3.51	3.2	4.0	1500	1.5	0.55	0.45
96	4.72	4.6	5.0	1300	1.5	0.80	0.35
97	4.06	3.5	5.0	1400	1.5	0.65	0.35
98	2.08	3.0	2.5	1300	1.5	0.65	0.50
99	3.84	4.2	4.0	1600	0.5	0.60	0.35

Задание 4. К источнику питания подключены три нагрузки, обозначенные на схеме как R_1 , R_2 , R_3 . Токи, измеренные в цепи каждой нагрузки равны I_1 , I_2 , I_3 , а измеренное напряжение источника питания равно U .



Определите мощность каждой нагрузки и значение абсолютной погрешности этой мощности. Оцените суммарную мощность, потребляемую от источника питания и её погрешность. Классы точности амперметров, включенных в цепях нагрузок, соответствуют K_1 , K_2 , K_3 , а предельные значения их шкал – I_{N1} , I_{N2} , I_{N3} . Класс точности вольтметра K_U , а предельное значение шкалы – U_N . Все данные приведены в таблице 4.

Таблица 4

Вариант	I_1 , А	I_2 , А	I_3 , А	U , В	K_1	K_2	K_3	K_U	I_{N1} , А	I_{N2} , А	I_{N3} , А	U_N , В
00	3.3	6.1	2.3	45	1.0	0.5	2.5	0.5	5.0	10.0	3.0	50
01	1.2	4.2	2.0	34	1.0	1.0	1.5	1.0	1.5	5.0	3.0	50
02	0.7	0.9	1.0	50	2.5	1.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.5	100
03	5.5	5.9	2.5	16	0.5	0.5	2.5	1.0	10.0	10.0	3.0	20
04	3.4	6.6	5.6	17	2.0	1.0	1.0	1.5	5.0	10.0	10.0	20
05	0.7	2.8	2.5	30	2.0	1.5	0.5	0.5	1.0	3.0	3.0	50
06	2.0	1.6	6.2	45	2.0	2.0	0.5	0.5	3.0	2.0	10.0	50
07	0.7	0.6	1.3	48	2.0	1.0	0.5	0.5	1.0	1.0	1.5	50
08	3.0	1.1	3.5	26	1.0	0.5	1.0	0.5	5.0	1.5	5.0	30

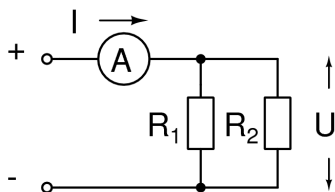
Таблица 4 (продолжение)

Вариант	I_1, A	I_2, A	I_3, A	U, B	K_1	K_2	K_3	K_U	I_{N1}, A	I_{N2}, A	I_{N3}, A	U_N, B
09	2.0	2.5	1.5	27	1.0	0.5	2.0	2.5	3.0	3.0	2.0	30
10	4.8	3.2	4.1	21	0.5	0.5	1.5	1.5	5.0	5.0	5.0	30
11	4.7	3.2	5.8	23	0.5	0.5	0.5	0.5	5.0	5.0	10.0	30
12	0.9	2.2	1.1	42	2.0	2.0	0.5	1.0	1.0	3.0	1.5	50
13	2.0	1.4	1.8	32	1.0	0.5	1.0	2.0	3.0	1.5	2.0	50
14	2.2	2.0	1.1	44	0.5	0.5	2.0	2.0	3.0	3.0	1.5	50
15	3.5	2.7	2.5	24	0.5	0.5	1.0	2.0	5.0	3.0	3.0	30
16	1.3	1.6	0.6	31	2.5	1.0	1.5	2.5	1.5	2.0	1.0	50
17	1.3	1.8	1.7	35	2.5	1.5	2.0	2.5	1.5	2.0	2.0	50
18	1.9	1.6	1.8	46	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	50
19	1.7	1.9	2.2	38	2.0	0.5	0.5	1.5	2.0	2.0	3.0	50
20	0.9	2.4	1.2	49	1.0	0.5	1.0	2.5	1.0	3.0	1.5	50
21	4.6	1.4	1.7	28	2.0	2.5	0.5	0.5	5.0	1.5	2.0	30
22	0.7	1.0	3.0	16	2.5	1.0	1.0	1.5	1.0	1.5	5.0	20
23	3.0	0.7	0.7	47	0.5	2.0	2.0	1.5	5.0	1.0	1.0	50
24	0.8	3.1	2.4	42	2.5	0.5	2.0	1.0	1.0	5.0	3.0	50
25	4.5	0.9	1.2	16	1.0	2.5	2.0	1.5	5.0	1.0	1.5	20
26	1.4	1.0	1.8	37	1.0	0.5	2.0	2.0	1.5	1.5	2.0	50
27	3.9	2.1	6.3	27	0.5	1.5	0.5	0.5	5.0	3.0	10.0	30
28	2.9	5.7	1.4	13	0.5	0.5	1.0	2.5	3.0	10.0	1.5	20
29	2.3	4.9	1.8	14	2.5	0.5	1.0	1.0	3.0	5.0	2.0	20
30	0.9	3.1	1.3	22	1.5	1.0	1.0	2.5	1.0	5.0	1.5	30
31	6.5	4.4	2.9	31	0.5	1.0	1.0	0.5	10.0	5.0	3.0	50
32	1.3	3.5	3.3	23	1.5	1.0	2.0	1.0	1.5	5.0	5.0	30
33	1.1	1.8	1.2	43	0.5	2.0	1.5	2.5	1.5	2.0	1.5	50
34	0.9	1.7	3.5	19	1.0	2.5	1.0	2.5	1.0	2.0	5.0	20
35	4.9	3.1	4.9	18	2.5	2.5	0.5	0.5	5.0	5.0	5.0	20
36	2.4	1.3	1.0	44	1.5	2.0	0.5	1.5	3.0	1.5	1.5	50
37	2.3	2.1	2.8	34	1.0	1.0	0.5	1.5	3.0	3.0	3.0	50
38	1.1	1.2	0.6	33	2.0	0.5	2.0	2.5	1.5	1.5	1.0	50
39	3.7	3.4	0.9	30	0.5	0.5	2.5	1.5	5.0	5.0	1.0	50
40	5.8	0.8	3.9	22	1.0	1.0	2.0	0.5	10.0	1.0	5.0	30
41	4.3	0.7	2.9	26	1.5	2.5	1.0	1.5	5.0	1.0	3.0	30
42	0.6	2.9	0.8	41	1.0	0.5	0.5	2.0	1.0	3.0	1.0	50
43	6.4	3.9	8.0	14	1.5	2.5	1.0	0.5	10.0	5.0	10.0	20
44	6.6	1.1	4.8	47	0.5	1.0	1.0	0.5	10.0	1.5	5.0	50
45	2.5	1.0	0.7	41	2.0	2.0	2.5	1.0	3.0	1.5	1.0	50
46	1.4	1.6	1.5	32	2.0	1.0	2.0	2.5	1.5	2.0	2.0	50
47	4.6	5.5	0.6	12	1.5	0.5	1.0	1.5	5.0	10.0	1.0	20
48	0.8	2.2	3.9	28	2.0	1.0	1.5	0.5	1.0	3.0	5.0	30
49	1.1	0.7	1.0	43	0.5	2.0	0.5	2.0	1.5	1.0	1.5	50
50	1.1	1.2	1.1	47	1.0	2.5	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	50
51	4.6	4.3	4.0	34	1.5	1.5	1.5	0.5	5.0	5.0	5.0	50
52	2.4	2.5	1.1	47	1.5	1.5	2.0	1.5	3.0	3.0	1.5	50
53	4.9	2.0	6.6	24	1.5	2.5	1.0	0.5	5.0	3.0	10.0	30
54	2.6	4.5	2.9	38	1.0	0.5	1.0	1.0	3.0	5.0	3.0	50

Таблица 4 (продолжение)

Вариант	I_1, A	I_2, A	I_3, A	U, B	K_1	K_2	K_3	K_U	I_{N1}, A	I_{N2}, A	I_{N3}, A	U_N, B
55	1.4	0.9	0.8	47	2.5	1.0	1.5	2.5	1.5	1.0	1.0	50
56	1.7	7.4	5.1	15	1.0	1.0	1.0	1.5	2.0	10.0	10.0	20
57	0.9	3.5	3.4	20	1.5	2.5	0.5	1.0	1.0	5.0	5.0	30
58	2.7	3.2	2.1	17	1.5	1.5	1.0	2.0	3.0	5.0	3.0	20
59	1.0	2.0	0.6	44	1.5	0.5	1.0	2.5	1.5	3.0	1.0	50
60	0.8	1.8	1.3	33	2.0	2.0	1.0	1.5	1.0	2.0	1.5	50
61	4.3	2.2	0.6	24	2.0	2.0	2.0	0.5	5.0	3.0	1.0	30
62	0.6	0.6	1.9	49	0.5	2.5	0.5	2.5	1.0	1.0	2.0	50
63	2.4	7.6	6.7	17	1.0	1.0	1.5	1.0	3.0	10.0	10.0	20
64	3.8	3.6	1.3	35	0.5	1.0	1.0	1.0	5.0	5.0	1.5	50
65	1.1	2.0	3.6	37	1.5	2.5	1.0	1.0	1.5	3.0	5.0	50
66	0.8	1.7	1.6	48	1.5	0.5	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	50
67	0.9	1.4	0.6	43	1.5	1.0	1.0	2.0	1.0	1.5	1.0	50
68	0.7	1.0	1.3	36	1.0	2.5	1.0	2.5	1.0	1.5	1.5	50
69	3.2	1.4	3.6	29	1.5	2.5	0.5	1.5	5.0	1.5	5.0	30
70	1.3	4.6	4.6	20	2.5	1.5	2.5	1.0	1.5	5.0	5.0	30
71	5.4	2.8	2.2	49	0.5	1.0	1.0	0.5	10.0	3.0	3.0	50
72	4.9	2.2	4.5	44	0.5	0.5	0.5	1.0	5.0	3.0	5.0	50
73	2.7	0.6	0.8	31	0.5	0.5	1.0	2.0	3.0	1.0	1.0	50
74	2.7	2.5	1.0	38	0.5	0.5	2.5	1.5	3.0	3.0	1.5	50
75	0.7	0.8	1.1	49	2.5	1.5	2.0	2.0	1.0	1.0	1.5	50
76	2.2	2.2	1.8	40	1.0	1.5	2.0	2.0	3.0	3.0	2.0	50
77	1.4	1.7	0.7	47	1.0	2.0	2.5	2.0	1.5	2.0	1.0	50
78	1.3	4.2	2.8	33	2.5	0.5	1.5	1.0	1.5	5.0	3.0	50
79	3.6	1.3	3.3	17	2.0	1.5	1.0	1.5	5.0	1.5	5.0	20
80	3.3	4.5	4.8	31	1.0	0.5	0.5	1.0	5.0	5.0	5.0	50
81	2.2	2.7	1.4	22	2.5	2.0	1.5	2.0	3.0	3.0	1.5	30
82	0.6	3.0	1.3	38	2.0	0.5	0.5	2.0	1.0	5.0	1.5	50
83	0.9	3.4	1.9	28	1.0	1.0	1.5	0.5	1.0	5.0	2.0	30
84	3.4	1.4	1.3	44	1.0	1.5	2.5	1.0	5.0	1.5	1.5	50
85	2.8	1.0	2.7	13	1.0	2.0	2.5	2.5	3.0	1.5	3.0	20
86	3.2	1.0	2.8	21	2.0	1.0	1.5	0.5	5.0	1.5	3.0	30
87	1.9	1.9	0.9	49	2.0	0.5	2.5	2.0	2.0	2.0	1.0	50
88	4.7	2.5	4.6	20	2.0	0.5	1.5	0.5	5.0	3.0	5.0	30
89	2.4	2.7	1.5	22	1.0	1.0	1.0	2.5	3.0	3.0	2.0	30
90	4.0	2.5	5.3	15	2.0	0.5	1.0	1.0	5.0	3.0	10.0	20
91	5.0	3.2	4.0	28	0.5	2.0	1.5	0.5	10.0	5.0	5.0	30
92	5.9	0.7	0.6	26	0.5	1.5	2.0	1.5	10.0	1.0	1.0	30
93	1.2	0.7	1.4	48	2.5	1.0	0.5	2.5	1.5	1.0	1.5	50
94	1.1	0.6	0.7	50	0.5	2.5	1.5	2.5	1.5	1.0	1.0	100
95	1.6	1.4	2.9	50	1.0	2.5	1.0	0.5	2.0	1.5	3.0	100
96	2.8	1.4	4.9	19	0.5	2.5	0.5	1.0	3.0	1.5	5.0	20
97	1.9	0.9	2.6	42	1.0	2.5	1.5	1.5	2.0	1.0	3.0	50
98	5.5	1.6	4.6	21	0.5	2.0	1.5	1.5	10.0	2.0	5.0	30
99	3.1	8.0	5.0	24	2.0	0.5	1.0	0.5	5.0	10.0	10.0	30

Задание 5. Два параллельно соединённых резистора с сопротивлениями R_1 и R_2 подключены к источнику питания. Величина тока в цепи I измерена амперметром класса точности γ с пределом измерения I_N .



Определите падение напряжения на резисторах и оцените погрешность определения напряжения косвенным методом. Данные для расчёта приведены в таблице 5.

Таблица 5

Номер варианта	R_1 , Ом	δR_1 , %	R_2 , Ом	δR_2 , %	I , А	γ	I_N , А
00	15	2	13	2	3.9	2.0	5.0
01	11	2	15	10	4.8	2.0	5.0
02	15	2	15	1	1.2	1.5	1.5
03	12	1	10	5	0.6	0.5	1.0
04	18	5	24	1	3.3	2.0	5.0
05	15	1	15	5	4.0	1.5	5.0
06	12	1	12	1	1.0	0.5	1.5
07	12	1	27	10	2.7	2.5	3.0
08	16	10	24	2	3.1	1.5	5.0
09	20	10	16	2	4.5	2.0	5.0
10	18	1	11	5	2.5	2.0	3.0
11	11	1	18	2	3.9	2.0	5.0
12	11	1	10	2	4.0	2.5	5.0
13	22	10	11	10	3.8	2.0	5.0
14	15	10	27	10	3.3	1.0	5.0
15	30	5	24	10	1.2	2.5	1.5
16	22	10	11	1	4.4	0.5	5.0
17	27	2	15	5	2.0	1.0	3.0
18	11	5	16	1	0.7	2.0	1.0
19	30	5	24	5	2.8	2.0	3.0
20	30	10	13	2	4.7	1.5	5.0
21	12	1	30	5	3.6	1.0	5.0
22	30	5	18	2	4.0	2.0	5.0
23	27	2	16	1	1.4	2.5	1.5
24	22	10	11	10	2.4	0.5	3.0
25	24	10	18	1	0.4	1.0	1.0
26	20	1	12	10	1.1	1.5	1.5
27	12	5	30	1	4.2	0.5	5.0
28	22	1	18	5	2.3	0.5	3.0
29	15	10	20	10	3.8	2.5	5.0
30	12	2	20	2	0.8	1.0	1.0
31	13	5	30	10	2.2	2.0	3.0

Таблица 5 (продолжение)

Номер варианта	R_1 , Ом	δR_1 , %	R_2 , Ом	δR_2 , %	I , А	γ	I_N , А
32	20	5	22	2	1.6	0.5	2.0
33	10	2	11	1	0.9	1.0	1.0
34	18	5	13	2	3.9	0.5	5.0
35	13	10	11	1	2.8	1.0	3.0
36	11	5	24	10	0.4	1.5	1.0
37	18	2	10	1	4.5	2.5	5.0
38	27	10	18	10	1.8	2.5	2.0
39	13	5	22	2	1.8	2.0	2.0
40	12	5	10	2	0.9	1.5	1.0
41	22	5	12	5	0.7	2.5	1.0
42	13	10	20	1	1.4	2.5	1.5
43	27	10	12	2	3.7	2.5	5.0
44	22	2	10	10	3.0	1.0	5.0
45	22	10	15	5	2.7	1.5	3.0
46	12	5	18	1	2.1	0.5	3.0
47	13	10	30	10	4.5	1.0	5.0
48	10	1	16	1	4.4	2.5	5.0
49	16	5	20	10	0.8	1.0	1.0
50	11	1	27	1	1.7	0.5	2.0
51	15	1	20	5	1.6	0.5	2.0
52	18	1	13	2	0.6	0.5	1.0
53	30	2	27	1	0.5	2.0	1.0
54	18	10	22	1	1.2	1.5	1.5
55	16	1	22	2	4.7	2.0	5.0
56	20	1	11	10	3.9	0.5	5.0
57	15	5	12	1	3.5	1.0	5.0
58	13	10	27	1	3.5	0.5	5.0
59	15	2	22	1	3.8	2.0	5.0
60	18	2	27	5	2.6	2.5	3.0
61	30	10	13	10	1.6	1.5	2.0
62	13	2	18	2	2.0	2.0	3.0
63	27	10	27	2	0.9	0.5	1.0
64	27	5	13	1	2.0	1.0	3.0
65	10	2	11	2	3.5	1.0	5.0
66	30	10	30	10	4.2	2.5	5.0
67	18	1	24	1	4.5	2.5	5.0
68	10	2	24	10	3.9	1.0	5.0
69	24	5	22	10	3.1	1.0	5.0
70	18	5	24	10	4.7	1.5	5.0
71	30	2	27	10	4.6	2.0	5.0
72	16	2	13	2	1.6	0.5	2.0
73	22	2	15	2	2.5	0.5	3.0
74	24	10	22	10	1.4	1.5	1.5
75	16	2	11	10	2.2	1.0	3.0
76	24	2	10	5	0.7	2.0	1.0
77	27	5	10	10	2.3	2.0	3.0

Таблица 5 (продолжение)

Номер варианта	R_1 , Ом	δR_1 , %	R_2 , Ом	δR_2 , %	I , А	γ	I_N , А
78	13	2	27	1	2.0	1.0	3.0
79	30	2	10	5	3.7	2.0	5.0
80	12	5	11	10	2.9	1.5	3.0
81	13	10	18	1	3.0	2.5	5.0
82	30	5	12	2	2.2	0.5	3.0
83	12	2	10	1	4.6	1.5	5.0
84	24	2	13	5	1.9	1.0	2.0
85	13	5	15	5	4.4	2.5	5.0
86	11	2	20	1	1.1	2.5	1.5
87	12	1	18	1	1.7	1.0	2.0
88	20	5	27	2	4.7	2.5	5.0
89	12	5	13	10	1.9	2.0	2.0
90	11	1	16	10	3.4	1.5	5.0
91	18	10	22	10	3.4	0.5	5.0
92	24	2	27	2	1.2	1.5	1.5
93	12	10	16	1	4.4	1.5	5.0
94	20	1	10	2	2.3	0.5	3.0
95	16	5	24	2	1.4	2.5	1.5
96	27	2	13	2	2.1	1.0	3.0
97	22	10	13	5	3.7	0.5	5.0
98	30	10	20	5	2.5	1.5	3.0
99	30	5	18	10	1.8	1.0	2.0

Задание 6. Проводится эксперимент по измерению параметров транзисторов α и β . Для этого измеряются ток эмиттера $I_э$ и ток коллектора $I_к$, а затем определяются параметры α и β по формулам $\alpha = \frac{I_к}{I_э}$, $\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$.

Представьте результаты измерения указанных параметров вместе с погрешностями их определения. Величины токов $I_э$, $I_к$, классы точности $K_{I_э}$, $K_{I_к}$ и пределы измерений используемых средств $I_{N_э}$, $I_{N_к}$ приведены в таблице 6.

Таблица 6

Номер варианта	Величины токов		Классы точности		Пределы измерений	
	$I_э$, мкА	$I_к$, мкА	$K_{I_э}$	$K_{I_к}$	$I_{N_э}$, мкА	$I_{N_к}$, мкА
00	260	257	0.10 / 0.01	0.25 / 0.02	800	900
01	170	167	0.10 / 0.05	0.20 / 0.03	200	400
02	290	286	0.25 / 0.01	0.10 / 0.05	1700	400
03	340	337	0.10 / 0.03	0.10 / 0.01	600	1000
04	220	216	0.15 / 0.04	0.20 / 0.01	400	1100
05	320	316	0.15 / 0.05	0.20 / 0.03	500	700
06	270	265	0.25 / 0.01	0.10 / 0.03	1600	500
07	210	208	0.25 / 0.04	0.25 / 0.04	500	500
08	240	235	0.10 / 0.02	0.20 / 0.02	500	700
09	340	335	0.10 / 0.03	0.25 / 0.01	600	2000

Таблица 6 (продолжение)

Номер варианта	Величины токов		Классы точности		Пределы измерений	
	I_3 , мкА	I_K , мкА	K_{I_3}	K_{I_K}	I_{N_3} , мкА	I_{N_K} , мкА
10	230	226	0.25 / 0.01	0.20 / 0.03	1400	500
11	180	177	0.15 / 0.01	0.25 / 0.03	700	500
12	190	188	0.25 / 0.04	0.15 / 0.01	400	800
13	310	306	0.20 / 0.01	0.10 / 0.03	1600	500
14	180	178	0.10 / 0.05	0.10 / 0.05	300	300
15	310	308	0.20 / 0.05	0.10 / 0.04	600	500
16	160	156	0.10 / 0.05	0.15 / 0.04	200	300
17	260	255	0.10 / 0.01	0.10 / 0.01	800	800
18	200	197	0.20 / 0.02	0.15 / 0.01	600	800
19	270	265	0.20 / 0.01	0.10 / 0.04	1400	400
20	180	177	0.25 / 0.05	0.25 / 0.05	400	400
21	230	226	0.10 / 0.04	0.15 / 0.05	300	400
22	160	156	0.10 / 0.02	0.25 / 0.03	300	400
23	310	307	0.15 / 0.04	0.25 / 0.02	500	1100
24	230	225	0.15 / 0.04	0.20 / 0.03	400	500
25	240	235	0.20 / 0.03	0.20 / 0.02	600	700
26	200	198	0.10 / 0.02	0.15 / 0.03	400	400
27	290	288	0.25 / 0.02	0.10 / 0.05	1000	400
28	180	176	0.25 / 0.01	0.15 / 0.02	1100	500
29	250	246	0.15 / 0.02	0.10 / 0.03	600	400
30	210	205	0.15 / 0.02	0.20 / 0.04	500	400
31	340	333	0.25 / 0.04	0.20 / 0.02	800	1000
32	160	158	0.25 / 0.03	0.25 / 0.01	400	1000
33	310	304	0.25 / 0.04	0.20 / 0.04	700	600
34	220	215	0.20 / 0.03	0.10 / 0.02	500	400
35	170	168	0.10 / 0.02	0.20 / 0.01	300	900
36	150	147	0.10 / 0.02	0.15 / 0.03	300	300
37	270	265	0.25 / 0.04	0.25 / 0.04	600	600
38	210	206	0.10 / 0.04	0.10 / 0.02	300	400
39	230	224	0.20 / 0.04	0.20 / 0.05	500	400
40	330	327	0.15 / 0.04	0.10 / 0.04	600	500
41	280	275	0.25 / 0.01	0.20 / 0.04	1700	600
42	170	168	0.15 / 0.04	0.10 / 0.02	300	300
43	140	137	0.10 / 0.02	0.10 / 0.05	300	200
44	160	157	0.20 / 0.04	0.25 / 0.03	300	400
45	230	227	0.25 / 0.03	0.20 / 0.03	600	500
46	250	244	0.15 / 0.01	0.15 / 0.01	1000	1000
47	230	224	0.25 / 0.02	0.10 / 0.04	800	300
48	200	198	0.10 / 0.01	0.20 / 0.02	600	600
49	160	156	0.15 / 0.05	0.25 / 0.01	300	1000
50	150	148	0.15 / 0.01	0.15 / 0.05	600	200
51	280	275	0.20 / 0.02	0.15 / 0.05	800	400
52	290	285	0.25 / 0.02	0.20 / 0.03	1000	700
53	150	148	0.25 / 0.02	0.10 / 0.03	500	300
54	250	245	0.15 / 0.05	0.10 / 0.02	400	500

Таблица 6 (продолжение)

Номер варианта	Величины токов		Классы точности		Пределы измерений	
	I_3 , мкА	I_K , мкА	K_{I_3}	K_{I_K}	I_{N_3} , мкА	I_{N_K} , мкА
55	240	238	0.15 / 0.03	0.15 / 0.03	500	500
56	280	275	0.10 / 0.02	0.15 / 0.04	600	500
57	160	157	0.20 / 0.03	0.10 / 0.04	400	200
58	330	325	0.25 / 0.04	0.10 / 0.02	700	700
59	210	208	0.10 / 0.03	0.20 / 0.05	400	400
60	240	235	0.20 / 0.02	0.25 / 0.04	700	500
61	320	314	0.25 / 0.03	0.10 / 0.04	900	500
62	170	169	0.15 / 0.03	0.15 / 0.01	300	700
63	330	322	0.20 / 0.02	0.25 / 0.05	1000	700
64	250	246	0.20 / 0.04	0.10 / 0.05	500	400
65	290	286	0.10 / 0.01	0.10 / 0.04	900	400
66	160	156	0.25 / 0.02	0.25 / 0.05	600	300
67	340	333	0.15 / 0.05	0.15 / 0.03	500	700
68	190	186	0.25 / 0.01	0.15 / 0.04	1100	300
69	310	307	0.20 / 0.04	0.15 / 0.01	600	1200
70	290	288	0.10 / 0.01	0.15 / 0.05	900	500
71	170	169	0.20 / 0.03	0.10 / 0.01	400	500
72	240	235	0.10 / 0.04	0.20 / 0.02	400	700
73	260	254	0.15 / 0.02	0.25 / 0.03	700	700
74	260	254	0.15 / 0.01	0.10 / 0.02	1000	500
75	240	236	0.20 / 0.02	0.20 / 0.01	700	1200
76	280	276	0.10 / 0.02	0.25 / 0.04	600	600
77	200	197	0.15 / 0.02	0.25 / 0.05	500	400
78	140	137	0.15 / 0.01	0.10 / 0.04	600	200
79	230	225	0.20 / 0.05	0.20 / 0.02	400	700
80	230	227	0.20 / 0.04	0.10 / 0.05	500	300
81	310	305	0.15 / 0.05	0.20 / 0.02	500	900
82	210	205	0.10 / 0.02	0.20 / 0.03	400	500
83	180	177	0.25 / 0.04	0.20 / 0.05	400	300
84	290	284	0.10 / 0.04	0.15 / 0.03	400	600
85	210	206	0.15 / 0.05	0.20 / 0.05	300	400
86	230	225	0.10 / 0.01	0.10 / 0.04	700	300
87	210	207	0.20 / 0.03	0.25 / 0.02	500	700
88	320	315	0.20 / 0.03	0.25 / 0.04	700	700
89	320	316	0.15 / 0.03	0.20 / 0.02	600	1000
90	210	205	0.25 / 0.01	0.10 / 0.05	1300	300
91	270	265	0.10 / 0.04	0.15 / 0.02	400	700
92	170	167	0.25 / 0.02	0.10 / 0.01	600	500
93	330	325	0.15 / 0.03	0.15 / 0.02	700	800
94	330	322	0.25 / 0.05	0.20 / 0.03	700	800
95	330	326	0.20 / 0.03	0.10 / 0.03	800	600
96	220	215	0.25 / 0.05	0.20 / 0.05	400	400
97	200	198	0.25 / 0.02	0.10 / 0.02	700	400
98	320	315	0.10 / 0.03	0.25 / 0.01	500	1900
99	220	215	0.10 / 0.01	0.15 / 0.05	700	400

Задание 7. В информационно-измерительной системе для градуировки канала измерения нагрузки механического пресса, включающего тензометрический датчик и плату тензостанции на основе 16-разрядного аналого-цифрового преобразователя, устанавливались усилия x , контролируемые эталонным динамометром, и фиксировались числовые значения y на выходе аналого-цифрового преобразователя. Диапазон градуировки 0...50 кН. Данные измерений y сведены в таблицу 7. Найдите линейную функцию преобразования и постройте градуировочную характеристику канала. Определите наибольшую относительную погрешность и приведённую погрешность канала измерения.

Таблица 7

y Номер варианта	Величина силы x , кН					
	0	10	20	30	40	50
00	-3	1491	3005	4452	5937	7584
01	140	1491	2826	4204	5510	6918
02	57	1545	2975	4444	5878	7380
03	86	1333	2563	3832	5048	6339
04	-2	678	1364	2050	2734	3357
05	2	1177	2356	3506	4677	5919
06	65	1176	2315	3366	4496	5614
07	149	1573	2984	4394	5749	7219
08	129	1158	2156	3168	4216	5176
09	91	627	1147	1672	2208	2757
10	137	1585	2989	4477	5928	7368
11	61	1223	2444	3599	4784	5929
12	101	1508	2894	4388	5831	7164
13	56	1227	2379	3607	4835	5958
14	-18	1518	3078	4621	6236	7702
15	-29	860	1730	2604	3492	4315
16	36	815	1572	2389	3174	3920
17	47	1575	3023	4493	6052	7589
18	127	1169	2191	3202	4234	5303
19	-1	916	1855	2745	3650	4536
20	31	1263	2482	3760	4952	6145
21	20	821	1672	2460	3278	4063
22	-25	854	1706	2549	3429	4255
23	57	1220	2364	3525	4608	5760
24	-19	1180	2358	3584	4841	5949
25	78	875	1645	2456	3252	4061
26	61	1312	2522	3868	5089	6372
27	139	600	1053	1527	1977	2468
28	109	930	1753	2515	3346	4147
29	11	1393	2794	4166	5669	6973
30	-6	1476	3009	4491	6113	7575
31	-11	1107	2192	3311	4360	5426
32	145	1412	2660	3966	5259	6462
33	-32	957	1927	2926	3909	4921
34	54	1596	3164	4659	6126	7747

Таблица 7 (продолжение)

<i>y</i> Номер варианта	Величина силы <i>x</i> , кН					
	0	10	20	30	40	50
35	10	1498	2945	4445	5888	7373
36	−22	1167	2344	3485	4634	5826
37	15	1129	2242	3359	4469	5621
38	−77	1401	2945	4489	5922	7458
39	31	1480	2975	4376	5783	7339
40	82	927	1809	2676	3584	4464
41	67	1099	2101	3133	4137	5268
42	−25	899	1852	2803	3750	4627
43	107	860	1654	2416	3170	3959
44	112	1555	3039	4512	5838	7378
45	140	1573	3027	4464	5917	7415
46	85	1474	2833	4229	5628	7065
47	−23	1411	2795	4244	5768	7152
48	27	1577	3131	4721	6138	7788
49	124	1282	2391	3543	4653	5880
50	145	977	1768	2602	3444	4248
51	133	1055	1979	2879	3806	4809
52	3	1544	3071	4655	6220	7702
53	92	1496	2891	4190	5588	6828
54	−42	960	1939	2919	3890	4868
55	6	977	1891	2920	3888	4827
56	−39	523	1084	1610	2126	2694
57	66	1625	3259	4736	6245	7899
58	−5	777	1562	2362	3131	3857
59	126	1594	3100	4600	6098	7562
60	106	1573	3010	4505	5955	7379
61	132	922	1695	2452	3267	4035
62	59	626	1215	1750	2304	2880
63	133	1558	2964	4405	5888	7382
64	67	1095	2089	3106	4087	5189
65	70	768	1464	2178	2904	3577
66	85	483	861	1245	1637	2036
67	115	1624	3114	4682	6301	7757
68	15	652	1281	1922	2560	3152
69	−6	1386	2751	4100	5600	6898
70	63	1632	3221	4737	6480	7990
71	−36	1310	2617	4077	5355	6693
72	116	960	1779	2606	3442	4266
73	−29	1326	2585	3968	5307	6559
74	59	996	1967	2827	3803	4680
75	142	1673	3225	4778	6365	7783
76	101	1532	2985	4427	5768	7177
77	4	963	1942	2892	3906	4871
78	36	1462	2842	4239	5727	7060
79	64	1126	2224	3276	4352	5403

Таблица 7 (продолжение)

<i>y</i>	Величина силы <i>x</i> , кН					
Номер варианта	0	10	20	30	40	50
80	92	1490	2844	4260	5683	7157
81	-23	1171	2387	3674	4859	6107
82	-7	621	1263	1869	2516	3152
83	-17	652	1328	1963	2652	3338
84	-1	1484	3022	4456	5984	7547
85	32	543	1058	1562	2093	2632
86	131	1131	2138	3162	4183	5201
87	53	1607	3203	4760	6335	7883
88	-8	817	1616	2435	3282	4153
89	9	722	1428	2145	2840	3583
90	137	662	1160	1656	2172	2648
91	-33	470	985	1486	2003	2499
92	132	1299	2439	3635	4837	5922
93	-27	1354	2729	4096	5466	6813
94	112	1156	2216	3272	4327	5314
95	24	528	1042	1535	2000	2511
96	103	907	1729	2556	3311	4175
97	34	986	1901	2883	3853	4759
98	-12	784	1568	2333	3094	3882
99	48	1112	2232	3303	4294	5353

Примеры решения задач

1. При измерении активного сопротивления резистора были произведены десять равнооточных измерений: 23, 76; 23, 16; 24, 81; 24, 75; 23, 01; 24, 66; 24, 12; 23, 65; 24, 07; 23, 31 Ом. Относительная погрешность средства измерений 1,0 %. Необходимо оценить результат измерения сопротивления при доверительной вероятности 0,95.

Среднее арифметическое значение

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i = 23,93.$$

Вычисляем среднее квадратическое отклонение СКО единичных наблюдений

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{n-1}} = 0,664.$$

Предполагая, что погрешность распределена по нормальному закону, исключаем “промахи”, то есть наблюдения с грубыми погрешностями, для которых

$$|R_i - \bar{R}| > 3\sigma.$$

После исключения “промахов” расчёт начинается с начала. В этом примере нет наблюдений, погрешность которых превышает величину 3σ .

Вычисляем СКО среднего арифметического (СКО результата измерений)

$$S_{\bar{R}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{n(n-1)}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 0,210.$$

При числе наблюдений $n = 10$ проверка статистической гипотезы о нормальном распределении случайной погрешности не выполняется.

Определяем доверительные границы случайной погрешности при заданной доверительной вероятности $P = 0,95$

$$\varepsilon = t_q \cdot S_{\bar{R}},$$

где $t_q(P, n)$ – коэффициент Стьюдента, зависящий от доверительной вероятности P и числа наблюдений n .

Значение коэффициента t для случайной величины Y , имеющей распределение Стьюдента с $n-1$ степенями свободы

$n-1$	$P=0,95$	$P=0,99$	$n-1$	$P=0,95$	$P=0,99$
3	3,182	5,841	16	2,120	2,921
4	2,776	4,604	18	2,101	2,878
5	2,571	4,032	20	2,086	2,845
6	2,447	3,707	22	2,074	2,819
7	2,365	3,499	24	2,064	2,797
8	2,306	3,355	26	2,056	2,779
9	2,262	3,250	28	2,048	2,763
10	2,228	3,169	30	2,043	2,750
12	2,179	3,055	∞	1,960	2,576
14	2,145	2,977			

Выбирая коэффициент t из таблицы (приводится в [3], а также в справочниках), получаем

$$\varepsilon = 2,262 \cdot 0,21 = 0,47.$$

Измерения проводились средством измерения с предельной относительной погрешностью 1,0%. Неисключённая систематическая погрешность измерения (НСП) включает предельную абсолютную погрешность средства измерения и равна

$$\theta_{\text{пр}} = \frac{23,93 \cdot 1,0}{100} = 0,24.$$

Учитывая, что систематическая погрешность описывается равномерным законом распределения, доверительные границы НСП с вероятностью $P = 0,95$ составят

$$\theta = 0,24 \cdot 0,95 = 0,23.$$

Определяем отношение

$$0,8 < \frac{\theta}{S_{\bar{R}}} = \frac{0,23}{0,21} = 1,095 < 8,$$

из которого следует, что доверительные границы погрешности результата измерения следует искать в виде композиции случайной и неисключённой систематической составляющих погрешности.

Оценка суммарного среднеквадратического отклонения результата измерения

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=0}^m \frac{\theta_i^2}{3} + S_{\bar{R}}^2} = \sqrt{\frac{0,24^2}{3} + 0,21^2} = 0,252.$$

Коэффициент, зависящий от соотношения случайной и систематической составляющей погрешности

$$K = \frac{\varepsilon + \theta}{S_{\bar{R}} + \sqrt{\sum_{i=0}^m \frac{\theta_i^2}{3}}} = \frac{0,47 + 0,23}{0,21 + \sqrt{\frac{0,24^2}{3}}} = 2,008.$$

Доверительные границы погрешности результата измерений

$$\Delta = K \cdot S_{\Sigma} = 2,008 \cdot 0,252 = 0,506.$$

Окончательный результат измерения записываем в соответствии с рекомендациями [6], округляя погрешность до 2-х значащих цифр, а результат до младшего разряда погрешности:

$$R = (23,93 \pm 0,51) \text{ Ом}, P = 0,95.$$

2. При поверке после ремонта вольтметра класса точности 2,5 с конечным значением шкалы 5 В, в точках шкалы 1, 2, 3, 4, 5 В получены показания образцового прибора при возрастании показаний 1,08; 1,97; 2,96; 3,95; 4,96 В и при убывании 1,03; 1,95; 2,93; 3,88; 4,90 В соответственно.

Предельная допускаемая абсолютная погрешность прибора равна

$$\Delta_{\text{max}} = 5,0 \cdot \frac{2,5}{100} = 0,125 \text{ В}.$$

Вычислим абсолютную погрешность прибора, вариацию показаний и приведенную погрешность в каждой точке шкалы прибора. Результаты вычислений запишем в виде таблицы.

Поверяемая точка, В	Образцовые показания, В		Абсолютная погрешность, В	Вариация показаний, В	Приведенная погрешность, %
1	1,08	1,03	0,08	0,05	1,6
2	1,97	1,95	0,05	0,02	1,0
3	2,96	2,93	0,07	0,03	1,4
4	3,95	3,88	0,12	0,07	2,4
5	4,96	4,90	0,10	0,06	2,0

Ни в одной точке шкалы погрешность прибора и вариация показаний не превышают предельно допустимого значения. Следовательно, после ремонта прибор соответствует своему классу точности.

3. Оценить погрешность прямого однократного измерения напряжения $U = 0,9$ В на сопротивлении $R = 4$ Ом, выполненного вольтметром класса точности 0,5 с верхним пределом измерения $U_n = 1,5$ В и имеющим сопротивление $R_V = 1000$ Ом. Известно, что дополнительные погрешности показаний средства измерения из-за влияния магнитного поля и температуры не превышают соответственно $\delta_M = \pm 0,75\%$ и $\delta_T = \pm 0,3\%$ допускаемой предельной погрешности.

Предел допускаемой относительной погрешности вольтметра на отметке 0,9 В составляет

$$\delta_x = \gamma_{\text{си}} \frac{U_n}{U} = 0,5 \cdot \frac{1,5}{0,9} = 0,83\%.$$

При подсоединении вольтметра исходное напряжение U_x изменится из-за наличия внутреннего сопротивления вольтметра R_V и составит

$$U_V = \frac{R_V}{R + R_V} U_x.$$

Тогда относительная методическая погрешность, обусловленная конечным значением R_V будет равна

$$\delta_m = \frac{U_V - U_x}{U_x} 100 = -\frac{R}{R + R_V} 100 = -\frac{4 \cdot 100}{1004} = -0,4\%.$$

Данная методическая погрешность является систематической составляющей погрешности измерения и должна быть внесена в результат в виде поправки $-\delta_m = 0,4\%$, или в абсолютной форме

$$q = \frac{-\delta_m \cdot U}{100} = \frac{0,4 \cdot 0,9}{100} = 0,004 \text{ В}.$$

Тогда результат измерения с учетом поправки $\bar{U}_x = 0,900 + 0,004 = 0,904$ В.

Поскольку основная и дополнительная погрешности заданы своими граничными значениями, они могут рассматриваться как неисключённые систематические погрешности.

При оценке границ НСП рассматривают как случайные величины, распределённые по равномерному закону. Границы НСП результата измерения θ вычисляются по формуле [4]

$$\theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \theta_i^2},$$

где θ_i – граница i -й составляющей НСП; k – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью P . При доверительной вероятности $P = 0,95$ коэффициент

$k = 1,1$. Для других значений вероятности коэффициент определяют по таблице и графикам [3].

При доверительной вероятности $P = 0,95$ доверительный интервал неисключённой систематической составляющей будет равен

$$\theta = 1,1 \sqrt{0,83^2 + 0,75^2 + 0,3^2} = 1,1 \cdot 1,16 = \pm 1,3\%,$$

а в абсолютной форме

$$\Delta = \frac{\theta \cdot U}{100} = \pm 1,3 \cdot 0,9 \cdot 10^{-2} = \pm 0,012 \text{ В}.$$

Окончательный ответ в соответствии с правилами записи результатов измерений [6] записывается в виде

$$U = 0,904 \text{ В}, \quad \Delta = 0,012 \text{ В}, \quad P = 0,95.$$

4. Токи, измеренные в цепях нагрузок, равны $I_1 = 0,64$; $I_2 = 0,15$; $I_3 = 0,35$ А. Пределы измерения амперметров и классы точности равны соответственно $I_{1m} = 1,0$; $I_{2m} = 0,2$; $I_{3m} = 0,5$ А, $K_1 = 0,5$; $K_2 = 1,5$; $K_3 = 1,0$. Напряжение источника питания $U = 7,15$ В, предел измерения вольтметра $U_{max} = 10,0$ В, класс точности $K_4 = 1,0$. Необходимо оценить потребляемую мощность и её погрешность.

Относительные погрешности измерения токов

$$\delta I_1 = \frac{I_{1m}}{I_1} \cdot K_1 = \frac{1,0}{0,64} \cdot 0,5 = 0,78\%,$$

$$\delta I_2 = \frac{I_{2m}}{I_2} \cdot K_2 = \frac{0,2}{0,15} \cdot 1,5 = 2,0\%,$$

$$\delta I_3 = \frac{I_{3m}}{I_3} \cdot K_3 = \frac{0,5}{0,35} \cdot 1,0 = 1,4\%,$$

Относительная погрешность измерения напряжения U

$$\delta U = \frac{10,0}{7,15} \cdot 1,0 = 1,4\%.$$

Определим мощность каждой нагрузки

$$P_1 = I_1 \cdot U = 0,64 \cdot 7,15 = 4,58 \text{ Вт},$$

$$P_2 = I_2 \cdot U = 0,15 \cdot 7,15 = 1,07 \text{ Вт},$$

$$P_3 = I_3 \cdot U = 0,35 \cdot 7,15 = 2,50 \text{ Вт}.$$

Предельная относительная погрешность косвенного определения величины мощности нагрузки не превышает суммы относительных погрешностей измерений напряжения и тока

$$\delta P_1 = \delta I_1 + \delta U = 2,2\%, \quad \Delta P_1 = \frac{2,2 \cdot 4,58}{100} = 0,101 \text{ Вт},$$

$$\delta P_2 = \delta I_2 + \delta U = 3,4\%, \quad \Delta P_1 = \frac{3,4 \cdot 1,07}{100} = 0,036 \text{ Вт},$$

$$\delta P_3 = \delta I_3 + \delta U = 2,8\%, \quad \Delta P_1 = \frac{2,8 \cdot 2,50}{100} = 0,070 \text{ Вт}.$$

Таким образом,

$$P_1 = (4,58 \pm 0,10) \text{ Вт}, \quad P_2 = (1,07 \pm 0,04) \text{ Вт}, \quad P_3 = (2,50 \pm 0,07) \text{ Вт}.$$

Суммарная мощность, потребляемая от источника питания

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 8,15 \text{ Вт}.$$

Предельная абсолютная погрешность определения суммарной мощности не превышает суммы абсолютных погрешностей определения мощности каждой нагрузки. При увеличении числа слагаемых более вероятная оценка погрешности

$$\Delta P = \sqrt{(\Delta P_1)^2 + (\Delta P_2)^2 + (\Delta P_3)^2} = \sqrt{0,101^2 + 0,036^2 + 0,070^2} = 0,128 \text{ Вт}.$$

Следовательно,

$$P = (8,15 \pm 0,13) \text{ Вт}.$$

5. Сопротивления $R_1 = 51 \text{ Ом}$ и $R_2 = 68 \text{ Ом}$ с погрешностями величин $\delta R = 5\%$ соединены параллельно и подключены к источнику питания. Ток в цепи $I = 4 \text{ А}$ измерен амперметром класса точности $\gamma = 1,0$ с пределом измерения $I_N = 5 \text{ А}$. Необходимо оценить падение напряжения на этой цепи.

Сопротивление цепи, состоящей из двух параллельно включённых сопротивлений

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Падение напряжения

$$U = IR = I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 4 \cdot \frac{51 \cdot 68}{51 + 68} = 116,57 \text{ В}.$$

Погрешность косвенного измерения напряжения определяется погрешностью измерения тока I в цепи и погрешностями сопротивлений параллельно включенных резисторов R_1 и R_2 . Для оценки погрешности косвенных измерений используют метод линеаризации [5].

Абсолютные погрешности сопротивлений

$$\Delta R_1 = \frac{51 \cdot 5}{100} = 2,55 \text{ Ом}, \quad \Delta R_2 = \frac{68 \cdot 5}{100} = 3,40 \text{ Ом}.$$

Абсолютная погрешность измерения тока

$$\Delta I = \frac{I_N \cdot \gamma}{100} = \frac{5 \cdot 1}{100} = 0,05 \text{ А}.$$

Доверительные границы неисклѳенной систематической погрешности определения падения напряжения при доверительной вероятности $P = 0,95$ ($k = 1,1$)

$$\Delta U = k \sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial I}\right)^2 (\Delta I)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial R_1}\right)^2 (\Delta R_1)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial R_2}\right)^2 (\Delta R_2)^2} = 4,852 \text{ В}.$$

В этой формуле значения частных производных

$$\frac{\partial U}{\partial I} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}, \quad \frac{\partial U}{\partial R_1} = \frac{I R_2^2}{(R_1 + R_2)^2}, \quad \frac{\partial U}{\partial R_2} = \frac{I R_1^2}{(R_1 + R_2)^2}$$

вычислены в точке соответствующей значению напряжения $U = 116,57$ В при $I = 4$ А, $R_1 = 51$ Ом и $R_2 = 68$ Ом.

В записи результата измерения в погрешности оставляем две значащие цифры и результат округляем до младшего разряда погрешности.

Таким образом, $U = (116,6 \pm 4,9)$ В; $P = 0,95$.

6. У биполярного транзистора токи коллектора $I_k = 234$ мА и эмиттера $I_э = 241$ мА измерены микроамперметрами с пределом измерений 250 мА и классом точности 0,25/0,05. Необходимо найти коэффициенты передачи тока α и β и оценить погрешность их определения.

Коэффициент передачи тока

$$\alpha = \frac{I_k}{I_э} = \frac{234}{241} = 0,9710.$$

Результаты прямых измерений токов представлены числами с тремя значащими цифрами, поэтому результат вычисления коэффициента передачи тока должен содержать не менее трёх значащих цифр, в противном случае погрешность округления при вычислении может оказаться намного больше, чем погрешность косвенного измерения.

Предельные границы погрешности косвенного определения α в этом случае могут быть найдены как сумма относительных погрешностей измерений токов

$$\delta I_k = c + d \left(\frac{I_N}{I_k} - 1 \right) = 0,25 + 0,05 \left(\frac{250}{234} - 1 \right) = 0,253 \%.$$

$$\delta I_э = c + d \left(\frac{I_N}{I_э} - 1 \right) = 0,25 + 0,05 \left(\frac{250}{241} - 1 \right) = 0,252 \%.$$

$$\delta \alpha = \delta I_k + \delta I_э = 0,505 \%.$$

Предельные границы абсолютной погрешности

$$\Delta \alpha = \frac{0,971 \cdot 0,505}{100} = 0,0049.$$

Таким образом, округляя погрешность до одной значащей цифры, а результат до тысячных долей, $\alpha = 0,971 \pm 0,005$.

Коэффициент усиления β связан с α функциональной зависимостью

$$\beta = f(\alpha) = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \frac{0,971}{1 - 0,971} = 32,3.$$

Погрешность определения β

$$\Delta \beta = |f'(\alpha)| \cdot \Delta \alpha = \frac{1}{(1 - \alpha)^2} \cdot \Delta \alpha = \frac{1}{(1 - 0,971)^2} \cdot 0,01 = 11,1.$$

Таким образом, погрешность определения β в этом случае очень велика. Определять коэффициент усиления по току β этим способом не следует.

7. Одновременное измерение двух разноименных физических величин относится к совместным измерениям и предназначено для установления функциональной зависимости между ними. По условию задачи необходимо определить линейную функцию преобразования $y = ax + b$, представляющую собой зависимость между входной величиной x (нагрузкой) и выходной величиной y (значением на выходе АЦП) по нескольким парам измеренных значений (x_i, y_i) . Задача заключается в определении параметров линейной зависимости a и b , и решается методом наименьших квадратов (МНК). Для этой цели составляется таблица и вычисляются суммы значений x_i, y_i, x_i^2 и $x_i y_i$.

i	x_i	y_i	x_i^2	$x_i y_i$	\bar{y}_i	Δy_i	$\delta y_i, \%$
1	0	2	0	0	1,9	0,1	
2	10	751	100	7510	750,6	0,4	0,05
3	20	1504	400	30080	1499,3	4,7	0,32
4	30	2241	900	67230	2248,0	-7,0	0,31
5	40	2993	1600	119720	2996,7	-3,7	0,12
6	50	3750	2500	187500	3745,4	4,6	0,12
Σ	150	11241	5500	412040	-	-	-

Значения коэффициентов линейной зависимости находятся по формулам

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} = \frac{6 \cdot 412040 - 150 \cdot 11241}{6 \cdot 5500 - 150^2} = 74,87,$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} = \frac{5500 \cdot 11241 - 150 \cdot 412040}{6 \cdot 5500 - 150^2} = 1,86.$$

Функция преобразования измерительного канала имеет вид $\bar{y} = 74,87x + 1,86$. По этой формуле рассчитаны значения \bar{y}_i в шестом столбце таблицы. Абсолютные и относительные погрешности в каждой точке вычисляются по формулам

$$\Delta y_i = y_i - \bar{y}_i; \quad \delta y_i = \frac{\Delta y_i}{y_i} 100 \%.$$

Как видно из таблицы, наибольшая относительная погрешность $\delta y = 0,32 \%$. Наибольшая по модулю абсолютная погрешность преобразования $\Delta y = 7,0$ наблюдается в точке $x = 30$, таким образом, приведённая погрешность равна

$$\gamma = \frac{|\Delta y|_{max}}{y_{max} - y_{min}} = \frac{7,0}{3745,4 - 1,9} \cdot 100 = 0,19 \%.$$

Литература

1. М. С. Волковой, Е. Е. Суханов, Ю. Н. Хижняков, А. А. Южаков. Метрология, стандартизация, сертификация. Пермь, – 2008.
2. А. Г. Сергеев, М. В. Латышев, В. В. Терегеря. Метрология, стандартизация, сертификация. Москва, – 2005.
3. ГОСТ 8.207-76. Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов измерений.
4. Р 50.2.038-2004. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений.
5. МИ 2083-90. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей.
6. МИ 1317-2004. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров.