

УДК 621.311

**ТЕСТОВАЯ СХЕМА IEEE RTS-96. ПАРАМЕТРЫ, РАСЧЕТ РЕЖИМА
И ОСОБЕННОСТИ
IEEE RTS-96 TEST CIRCUIT. PARAMETERS, MODE CALCULATION
AND FEATURES**

Е.В. Радюк, М.А. Шешко

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Radziuk, M. Sheshko

Supervisor – A. Volkau, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: в статье будет рассмотрена тема моделирования, расчёта и анализа установившегося режима тестовой схемы IEEE RTS-96 в ПК RastrWin. Начальная часть статьи будет посвящена введению в тему, описанию тестовой схемы, её элементов и особенностей. Далее будет рассмотрен процесс моделирования и расчёта тестовой схемы в ПК RastrWin. В заключительной части статьи будут представлены общие выводы по моделированию, расчёту и анализу установившегося режима. Статья будет полезна как для специалистов в области электроэнергетики и автоматики, так и для студентов, занимающихся проектированием и расчётом электроэнергетических систем.

Abstract: this article will address the topic of modeling, calculation and analysis of steady-state IEEE RTS-96 test circuit in the PC RastrWin. The initial part of the article will be devoted to an introduction to the topic, a description of the test circuit, its elements and features. Then will be considered the process of modeling and calculation of the test circuit in PC RastrWin. The final part of the article will present general conclusions on modeling, calculation and steady-state analysis. The article will be useful both for specialists in the field of power engineering and automation, as well as for students involved in the design and calculation of electric power systems.

Ключевые слова: Анализ, тестовая схема, моделирование, надёжность.

Keywords: Analysis, test pattern, simulation, reliability.

Введение

IEEE RTS-96 - это тестовая схема, разработанная Институтом электротехники и электроники (IEEE) с целью тестирования и сравнения различных методов управления электроэнергетическими системами. Эта схема имитирует работу реальной электроэнергетической сети и состоит из различных элементов, таких как генераторы, трансформаторы, линии передачи и потребители. IEEE RTS-96 является одной из самых популярных тестовых схем в мире и широко используется исследователями и инженерами в области электроэнергетики. В этой статье мы рассмотрим основные характеристики IEEE RTS-96 и его возможности для проведения различных исследований в области управления и оптимизации электроэнергетических систем.

Тестовые схемы типа IEEE RTS используются для тестирования различных алгоритмов и методов управления электроэнергетическими системами. Они представляют собой комплексные модели, которые симулируют работу реальной энергосистемы и могут служить для проведения различных экспериментов и обучения специалистов. Благодаря использованию таких схем можно проверять работу различных технологий и методов управления, а также разрабатывать новые алгоритмы и технологии. Кроме того, тестовые схемы позволяют проводить исследования в области энергетики, анализировать эффективность работы различных электрических систем и оценивать их потенциал для дальнейшего развития.

Основная часть

IEEE RTS-96 (Reliability Test System 1996) — это стандартный набор моделей элементов электроэнергетической системы, используемый для оценки надежности и устойчивости работы энергосистем.

Тестовая схема представляет собой модель энергосистемы, состоящей из 24 узлов и 38 линий передачи электроэнергии. Она включает три генератора (GT1, GT2 и GT3) и три потребителя (LD1, LD2 и LD3) различной мощности. Также в схему входят трансформаторы и автоматические выключатели для обеспечения безопасной работы системы. Все исходные данные, а также параметры режима по данной тестовой схеме представлены на рисунках 1-4 [1].

Тестовая схема IEEE RTS-96 широко используется в исследованиях и разработке новых технологий в области энергетики. Основные отличия тестовой схемы IEEE RTS-96 от других тестовых схем включают:

- разнообразие нагрузок: освещение, обогрев, кондиционирование воздуха;
- использование возобновляемых источников энергии: данная схема включает возможность использования возобновляемых источников энергии, таких как солнечные панели и ветрогенераторы;
- системы хранения энергии;
- тестовая схема позволяет моделировать различные аварийные ситуации в электроэнергетической системе (короткие замыкания и отказы оборудования);
- данная схема разработана для симуляции реального времени и позволяет тестировать системы управления и защиты в режиме реального времени;
- кроме вышеуказанных отличий, тестовая схема IEEE RTS-96 предоставляет широкий набор данных для анализа и оценки производительности систем управления электроэнергией, что делает ее одной из наиболее популярных систем для тестирования и разработки новых подходов к управлению энергосистемами.

В ходе расчета режима данной схемы при помощи программы RastrWin, мы получили результаты, представленные на рисунках 5 и 6.

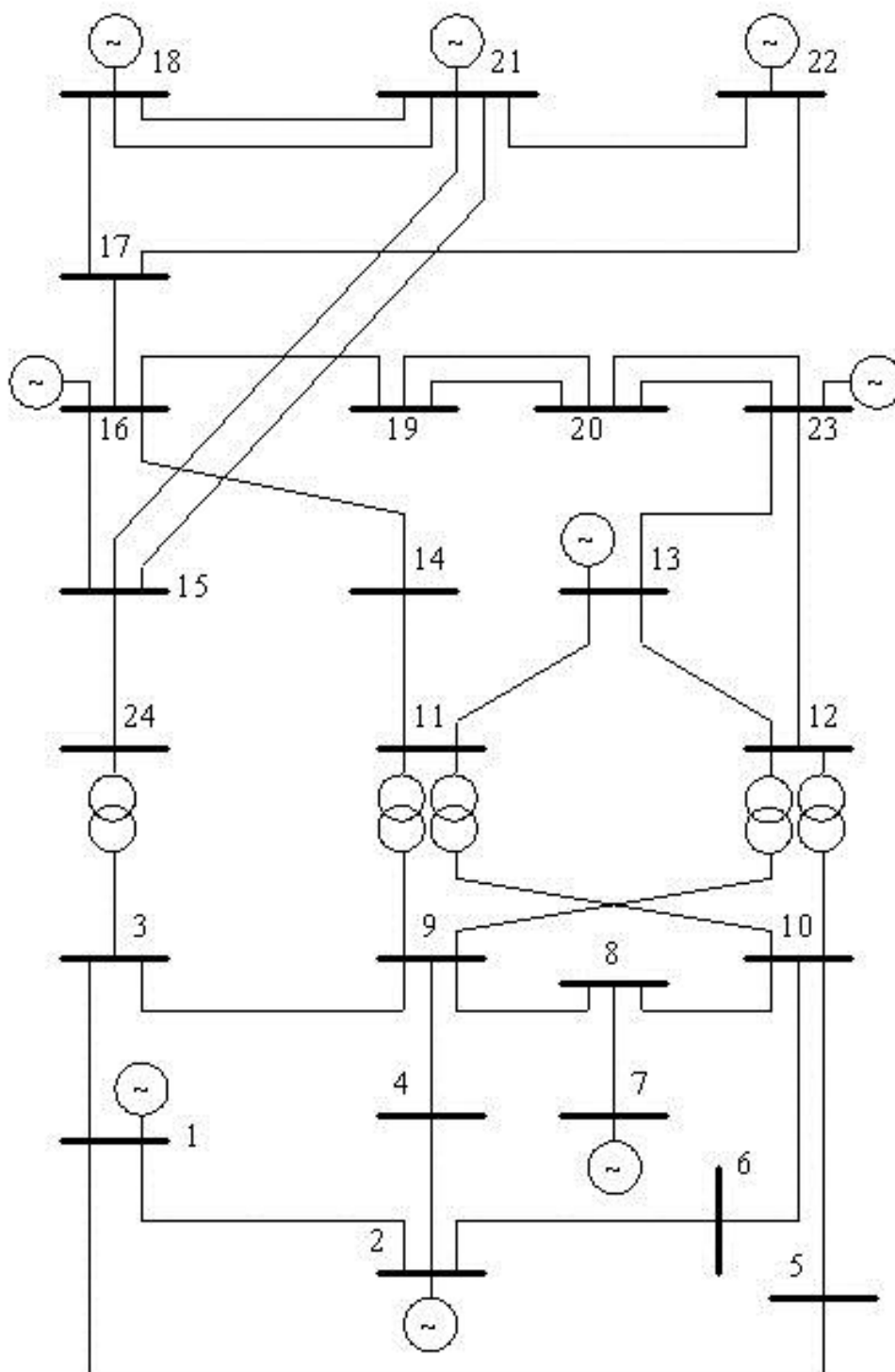


Рисунок 1 – IEEE RTS-96 тестовая схема, состоящая из 24 узлов

Данные по узлам

№уз	тип	Уном кВ	Вш (емк+ мСм инд-)	Напряжение фаза, град	Напряжение модуль, кВ	Мощность P, МВт	нагрузки Q, МВар	Мощность P, МВт	генерации Q, МВар	Пределы Qmax, МВар	генерации Qmin, МВар
1	2	138	-	-7.455	142.830	108.00	22.00	172.00	37.39	80.00	-50.00
2	2	138	-	-7.550	142.830	97.00	20.00	172.00	29.04	80.00	-50.00
3	1	138	-	-5.458	134.040	180.00	37.00	-	-	-	-
4	1	138	-	-9.782	136.266	74.00	15.00	-	-	-	-
5	1	138	-	-10.052	139.763	71.00	14.00	-	-	-	-
6	1	138	-100.00	-12.491	138.435	136.00	28.00	-	-	-	-
7	2	138	-	-7.577	141.450	125.00	25.00	240.00	62.83	180.00	0.00
8	1	138	-	-11.234	136.066	171.00	35.00	-	-	-	-
9	1	138	-	-7.364	135.610	175.00	36.00	-	-	-	-
10	1	138	-	-9.471	140.318	195.00	40.00	-	-	-	-
11	1	230	-	-2.174	228.442	-	-	-	-	-	-
12	1	230	-	-1.541	231.539	-	-	-	-	-	-
13	3	230	-	-0.000	234.600	265.00	54.00	187.70	117.87	240.00	0.00
14	2	230	-	2.245	225.400	194.00	39.00	-	-35.51	200.00	-50.00
15	2	230	-	11.548	233.220	317.00	64.00	215.00	-12.16	110.00	-50.00
16	2	230	-	10.432	233.910	100.00	20.00	155.00	44.38	80.00	-50.00
17	1	230	-	14.914	238.867	-	-	-	-	-	-
18	2	230	-	16.274	241.500	333.00	68.00	400.00	138.73	200.00	-50.00
19	1	230	-	8.900	235.347	181.00	37.00	-	-	-	-
20	1	230	-	9.511	238.853	128.00	26.00	-	-	-	-
21	2	230	-	17.100	241.500	-	-	400.00	106.91	200.00	-50.00
22	2	230	-	22.749	241.500	-	-	300.00	-29.55	96.00	-60.00
23	2	230	-	10.554	241.500	-	-	660.00	131.11	310.00	-125.00
24	1	230	-	5.274	225.883	-	-	-	-	-	-

Рисунок 2 – Исходные данные по узлам

Данные по ветвям

нач	кон	R, Ом	X, Ом	B, мСм (емк+ инд-)	Ктр
1	2	0.4951	2.6471	2.4212	-
1	3	10.3980	40.2209	0.3004	-
1	5	4.1516	16.0922	0.1202	-
2	4	6.2464	24.1287	0.1801	-
2	6	9.4649	36.5645	0.2731	-
3	9	5.8656	22.6624	0.1691	-
3	24	0.4380	15.9779	0.0000	1.666667
4	9	5.1038	19.7486	0.1476	-
5	10	4.3420	16.8159	0.1255	-
6	10	2.6471	11.5216	12.9122	-
7	8	3.0280	11.6930	0.0872	-
8	9	8.1318	31.4416	0.2347	-
8	10	8.1318	31.4416	0.2347	-
9	11	0.4380	15.9779	0.0000	1.666667
9	12	0.4380	15.9779	0.0000	1.666667
10	11	0.4380	15.9779	0.0000	1.666667
10	12	0.4380	15.9779	0.0000	1.666667
11	13	3.2269	25.1804	0.1888	-
11	14	2.8566	22.1122	0.1662	-
12	13	3.2269	25.1804	0.1888	-
12	23	6.5596	51.1014	0.3837	-
13	23	5.8719	45.7585	0.3437	-
14	16	2.6450	20.5781	0.1546	-
15	16	1.1638	9.1517	0.0688	-
15	21	3.3327	25.9210	0.1947	-
15	21	3.3327	25.9210	0.1947	-
15	24	3.5443	27.4551	0.2062	-
16	17	1.7457	13.7011	0.1030	-
16	19	1.5870	12.2199	0.0917	-
17	18	0.9522	7.6176	0.0573	-
17	22	7.1415	55.7037	0.4181	-
18	21	1.7457	13.7011	0.1030	-
18	21	1.7457	13.7011	0.1030	-
19	20	2.6979	20.9484	0.1575	-
19	20	2.6979	20.9484	0.1575	-
20	23	1.4812	11.4264	0.0860	-
20	23	1.4812	11.4264	0.0860	-
21	22	4.6023	35.8662	0.2692	-

Рисунок 3 – Исходные данные по ветвям

Параметры режима сети

нач	кон	Рнач,МВт	Qнач,МВар	Iнач,А	Ркон,МВт	Qкон,МВар	Iкон,А
1	2	12.33	-26.99	119.95	-12.33	-22.38	103.28
1	3	-7.91	30.49	127.31	8.52	-33.90	150.58
1	5	59.58	11.90	245.60	-58.83	-11.37	247.50
2	4	39.02	27.53	193.02	-38.29	-28.22	201.52
2	6	48.31	3.89	195.90	-47.20	-5.03	197.98
3	9	22.85	-16.28	120.84	-22.61	14.14	113.52
3	24	-211.37	13.18	912.19	212.46	26.70	547.31
4	9	-35.71	13.22	161.34	36.12	-14.36	165.49
5	10	-12.17	-2.63	51.46	12.21	0.30	50.25
6	10	-88.80	-123.60	634.73	89.89	-122.50	625.16
7	8	115.00	37.83	494.14	-112.77	-30.91	496.16
8	9	-36.33	10.53	160.49	36.98	-12.35	165.98
8	10	-21.90	-14.62	111.74	22.18	11.22	102.26
9	11	-105.35	-4.69	448.97	105.62	14.35	269.38
9	12	-120.14	-18.74	517.68	120.49	31.59	310.61
10	11	-151.72	42.47	648.27	152.27	-22.33	388.96
10	12	-167.55	28.51	699.31	168.19	-5.07	419.59
11	13	-86.29	-48.21	249.81	86.87	42.58	238.08
11	14	-171.60	56.18	456.34	173.41	-50.71	462.78
12	13	-60.51	-24.68	162.95	60.75	16.32	154.81
12	23	-228.18	-1.84	568.99	234.56	30.06	565.34
13	23	-224.92	4.97	553.67	230.34	17.78	552.31
14	16	-367.41	-23.80	943.08	374.46	70.48	940.49
15	16	112.23	-32.60	289.31	-111.94	31.12	286.77
15	21	-214.93	-41.97	542.12	217.84	53.65	536.35
15	21	-214.93	-41.97	542.12	217.84	53.65	536.35
15	24	215.63	40.37	543.07	-212.46	-26.70	547.31
16	17	-322.66	-33.86	800.78	326.01	54.42	798.88
16	19	115.14	-43.36	303.68	-114.71	41.65	299.37
17	18	-186.93	-58.70	473.56	187.56	60.49	471.15
17	22	-139.09	4.28	336.33	141.54	-9.26	339.10
18	21	-60.28	5.12	144.63	60.39	-10.26	146.45
18	21	-60.28	5.12	144.63	60.39	-10.26	146.45
19	20	-33.15	-39.32	126.17	33.26	31.35	110.48
19	20	-33.15	-39.32	126.17	33.26	31.35	110.48
20	23	-97.26	-44.35	258.38	97.55	41.63	253.56
20	23	-97.26	-44.35	258.38	97.55	41.63	253.56
21	22	-156.47	20.12	377.14	158.46	-20.29	381.92

Рисунок 4 – Параметры режима сети

	O	S	Тип	Номер	Наз...	U_ном	...	Pa...	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	B_ш	Q_ш	V	Delta
1	<input type="checkbox"/>		Ген	1	2	138			108,0	22,0	172,0	32,3	142,8	-50,0	80,0			142,83	-2,58
2	<input type="checkbox"/>		Ген	2	2	138			97,0	20,0	172,0	23,8	142,8	-50,0	80,0			142,83	-2,72
3	<input type="checkbox"/>		Нагр	3	1	138			180,0	37,0								136,33	-0,28
4	<input type="checkbox"/>		Нагр	4	1	138			74,0	15,0								137,36	-5,42
5	<input type="checkbox"/>		Нагр	5	1	138			71,0	14,0								139,52	-5,15
6	<input type="checkbox"/>		Нагр	6	1	138			136,0	28,0						5 300,0	101	138,04	-7,60
7	<input type="checkbox"/>		Ген	7	2	138			125,0	25,0	240,0	58,9	141,5		180,0			141,45	-3,06
8	<input type="checkbox"/>		Нагр	8	1	138			171,0	35,0								136,39	-6,74
9	<input type="checkbox"/>		Нагр	9	1	138			175,0	36,0								137,59	-3,48
10	<input type="checkbox"/>		Нагр	10	1	138			195,0	40,0								139,88	-4,54
11	<input type="checkbox"/>		Нагр	11	1	230												230,18	-1,98
12	<input type="checkbox"/>		Нагр	12	1	230												232,03	-1,58
13	<input type="checkbox"/>		База	13	3	230			265,0	54,0	185,0	96,9	234,6		240,0			234,60	
14	<input type="checkbox"/>		Ген	14	2	230			194,0	39,0		-50,0	225,4	-50,0	200,0			225,80	2,09
15	<input type="checkbox"/>		Ген	15	2	230			317,0	64,0	215,0	-24,6	233,2	-50,0	110,0			233,22	10,87
16	<input type="checkbox"/>		Ген	16	2	230			100,0	20,0	155,0	32,1	233,9	-50,0	80,0			233,91	9,94
17	<input type="checkbox"/>		Нагр	17	1	230												238,89	14,36
18	<input type="checkbox"/>		Ген	18	2	230			333,0	68,0	400,0	136,8	241,5	-50,0	200,0			241,50	15,69
19	<input type="checkbox"/>		Нагр	19	1	230			181,0	37,0								235,46	8,52
20	<input type="checkbox"/>		Нагр	20	1	230			128,0	26,0								238,94	9,22
21	<input type="checkbox"/>		Ген	21	2	230					400,0	106,3	241,5	-50,0	200,0			241,50	16,49
22	<input type="checkbox"/>		Ген	22	2	230					300,0	-30,0	241,5	-60,0	96,0			241,50	22,16
23	<input type="checkbox"/>		Ген	23	2	230					660,0	123,7	241,5	-125,0	310,0			241,50	10,32
24	<input type="checkbox"/>		Нагр	24	1	230												227,57	3,89

Рисунок 5 – Результаты расчета установившегося режима в программе RastrWin по узлам

	O	S	Тип	N_нач	N_кон	...	I...	Назва...	R	X	B	G	Кт/r	P_нач	Q_нач	I_нач	P_кон	Q_кон	I_кон	Na	I max
1	<input type="checkbox"/>		лэп	1	2			2 - 2	0,50	2,65	-2 400,0			-17	28	131	-17	-21	110	131	
2	<input type="checkbox"/>		лэп	1	3			2 - 1	10,40	40,22	-300,0			13	-24	108	13	-28	130	130	
3	<input type="checkbox"/>		лэп	1	5			2 - 1	4,15	16,09	-100,0			-59	-14	247	-59	-13	249	249	
4	<input type="checkbox"/>		лэп	2	4			2 - 1	6,25	24,13	-200,0			-44	-20	195	-43	-21	202	202	
5	<input type="checkbox"/>		лэп	2	6			2 - 1	9,46	36,56	-300,0			-48	-5	195	-47	-7	198	198	
6	<input type="checkbox"/>		лэп	3	9			1 - 1	5,87	22,66	-200,0			-42	19	195	-41	18	188	195	
7	<input type="checkbox"/>		Тр-р	24	3			1 - 1	0,44	15,98			0,600	-235	-7	597	-235	10	995	597	
8	<input type="checkbox"/>		лэп	4	9			1 - 1	5,10	19,75	-100,0			31	-6	131	31	-7	133	133	
9	<input type="checkbox"/>		лэп	5	10			1 - 1	4,34	16,82	-100,0			12	1	51	12	-1	51	51	
10	<input type="checkbox"/>		лэп	6	10			1 - 1	2,65	11,52	-12 90...			89	122	632	90	-122	627	632	
11	<input type="checkbox"/>		лэп	7	8			2 - 1	3,03	11,69	-100,0			-115	-34	489	-113	-27	491	491	
12	<input type="checkbox"/>		лэп	8	9			1 - 1	8,13	31,44	-200,0			33	-2	139	33	-4	141	141	
13	<input type="checkbox"/>		лэп	8	10			1 - 1	8,13	31,44	-200,0			25	10	115	26	7	110	115	
14	<input type="checkbox"/>		Тр-р	11	9			1 - 1	0,44	15,98			0,600	-87	-11	219	-87	-9	365	219	
15	<input type="checkbox"/>		Тр-р	12	9			1 - 1	0,44	15,98			0,600	-112	-38	293	-111	-34	489	293	
16	<input type="checkbox"/>		Тр-р	11	10			1 - 1	0,44	15,98			0,600	-149	43	389	-149	50	648	389	
17	<input type="checkbox"/>		Тр-р	12	10			1 - 1	0,44	15,98			0,600	-175	16	437	-174	25	728	437	
18	<input type="checkbox"/>		лэп	11	13			1 - 3	3,23	25,18	-200,0			78	34	214	78	27	204	214	
19	<input type="checkbox"/>		лэп	11	14			1 - 2	2,86	22,11	-200,0			158	-67	429	159	-64	439	439	
20	<input type="checkbox"/>		лэп	12	13			1 - 3	3,23	25,18	-200,0			61	20	161	62	11	154	161	
21	<input type="checkbox"/>		лэп	12	23			1 - 2	6,56	51,10	-400,0			225	1	559	231	27	556	559	
22	<input type="checkbox"/>		лэп	13	23			3 - 2	5,87	45,76	-300,0			220	-5	542	225	19	540	542	
23	<input type="checkbox"/>		лэп	14	16			2 - 2	2,65	20,58	-200,0			353	25	905	360	65	902	905	
24	<input type="checkbox"/>		лэп	15	16			2 - 2	1,16	9,15	-100,0			-93	31	244	-93	28	240	244	
25	<input type="checkbox"/>		лэп	15	21			2 - 2	3,33	25,92	-200,0			217	42	547	220	53	542	547	
26	<input type="checkbox"/>		лэп	15	21			2 - 2	3,33	25,92	-200,0			217	42	547	220	53	542	547	
27	<input type="checkbox"/>		лэп	15	24			2 - 1	3,54	27,46	-200,0			-239	-26	595	-235	-7	597	597	
28	<input type="checkbox"/>		лэп	16	17			2 - 1	1,75	13,70	-100,0			318	35	790	321	55	788	790	
29	<input type="checkbox"/>		лэп	16	19			2 - 1	1,59	12,22	-100,0			-107	45	285	-106	42	280	285	
30	<input type="checkbox"/>		лэп	17	18			1 - 2	0,95	7,62	-100,0			183	60	465	184	59	461	465	
31	<input type="checkbox"/>		лэп	17	22			1 - 2	7,14	55,70	-400,0			138	-5	335	141	-9	338	338	
32	<input type="checkbox"/>		лэп	18	21			2 - 2	1,75	13,70	-100,0			58	-5	140	58	-10	142	142	
33	<input type="checkbox"/>		лэп	18	21			2 - 2	1,75	13,70	-100,0			58	-5	140	58	-10	142	142	
34	<input type="checkbox"/>		лэп	19	20			1 - 1	2,70	20,95	-200,0			37	40	134	38	29	115	134	
35	<input type="checkbox"/>		лэп	19	20			1 - 1	2,70	20,95	-200,0			37	40	134	38	29	115	134	
36	<input type="checkbox"/>		лэп	20	23			1 - 2	1,48	11,43	-100,0			102	42	266	102	39	261	266	
37	<input type="checkbox"/>		лэп	20	23			1 - 2	1,48	11,43	-100,0			102	42	266	102	39	261	266	
38	<input type="checkbox"/>		лэп	21	22			2 - 2	4,60	35,87	-300,0			157	-19	378	159	-21	384	384	

Рисунок 6 – Результаты расчета установившегося режима в программе RastrWin по ветвям

Заключение

Использование тестовой схемы IEEE RTS-96 является важным шагом в развитии различных технологий и систем и позволяет повысить уровень их работоспособности, безопасности и надежности. Благодаря использованию данной схемы, компании могут оптимизировать и улучшить свои технологические процессы, а также повысить эффективность и надежность своей работы.

Установившийся режим тестовой схемы IEEE RTS-96 рассчитывается для оценки долгосрочного поведения электрической системы под воздействием различных нагрузок и изменений в сети. Эта информация может быть полезна для проектирования новых электрических систем или для оптимизации работы существующих систем, позволяя определить и устранить возможные проблемы, такие как перегрузки, нестабильность синхронизма и другие отклонения от нормальной работы системы.

Важно отметить, что результаты, полученные с помощью программы RastrWin, могут отличаться от тех, что были взяты из исходных источников, в связи с использованием разных программных средств. Данные отличия могут быть обусловлены как погрешностями программного обеспечения, так и округлением во время расчетов на ЭВМ.

Литература

1. Отдел энергетики Института социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми научного центра УрО Российской АН [Электронный ресурс]/ Тестовые схемы. – Режим доступа: http://energy.komisc.ru/dev/test_cases. – Дата доступа: 03.05.2023.
2. ELECTRIC GRID TEST CASE REPOSITORY [Электронный ресурс]/ IEEE 96-RTS Test System.–Режим доступа: <https://electricgrids.engr.tamu.edu/electric-grid-test-cases/ieee-96-rts-test-system/>. – Дата доступа: 03.05.2023.
3. Illinois [Электронный ресурс]/ Illinois Center for a Smarter Electric Grid (ICSEG). – Режим доступа: <https://icseg.iti.illinois.edu/power-cases/ieee-96-rts-test-system/>. – Дата доступа: 04.05.2023.