

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО  
ТРАНСПОРТА**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ  
СООБЩЕНИЯ»**

**СОГЛАСОВАНО:**

Выпускающей кафедрой  
«Железнодорожная автоматика,  
телемеханика и связь»  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Горелик А.В.  
(подпись, Ф.И.О.)  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**УТВЕРЖДАЮ:**

Проректор – директор Российской  
открытой академии транспорта  
\_\_\_\_\_ Апатцев В.И.  
(подпись, Ф.И.О.)  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Кафедра: «Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь»  
(название кафедры)

Авторы: Горелик А.В., д.т.н., проф., Орлов А.В., к.т.н., доц., Савченко П.В.,  
к.т.н., доц., Неваров П.А., к.т.н., доц., Журавлев И.А., к.т.н., доц.,  
Тарадин Н.А., к.т.н., доц.

**ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ №1 С МЕТОДИЧЕСКИМИ  
УКАЗАНИЯМИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ**

«Специзмерения в системах автоматике и телемеханики»

(название дисциплины)

*Направление/специальность:* **190901.65 Системы обеспечения движения поездов**

*Профиль/специализация:* **«Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте»**

*Квалификация (степень) выпускника:* **Инженер путей сообщения**

*Форма обучения:* **Заочная**

Одобрена на заседании Учебно-методической комиссии РОАТ Протокол № _____ «__» _____ 20__ г. Председатель УМК _____ (подпись, Ф.И.О.)	Одобрена на заседании кафедры «Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь» Протокол № _____ «__» _____ 20__ г. Зав. кафедрой _____ Горелик А.В. (подпись, Ф.И.О.)
--	---

**Москва – 2015**

© **Московский государственный университет путей сообщения, 2015**

# КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

## ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Целью контрольной работы является закрепление знаний, полученных студентом при самостоятельном изучении дисциплины, а также получение практических навыков по решению конкретных задач измерения и диагностики устройств железнодорожной автоматики и телемеханики.

Для успешного выполнения контрольной работы студент должен иметь представление об устройстве и работе рельсовых цепей, теории и способах измерения их параметров, а также параметров приборов рельсовых цепей.

Прежде чем приступить к выполнению контрольной работы, студент должен изучить соответствующие разделы основной и рекомендованной литературы.

Контрольную работу следует оформлять на листах формата А4 (297x210 мм). У листов следует оставить поля: левое – 3 см, правое – 1.5 см, нижнее – 2 см, верхнее – 2 см.

Пояснительная записка должна быть написана от руки, либо машинописно на одной стороне листа. Все листы записки должны иметь сплошную нумерацию, которая указывается в левом нижнем углу каждого листа. Таблицы и рисунки также должны быть пронумерованы и иметь названия. Рисунки должны быть выполнены карандашом на отдельных листах аналогичного формата. Контрольная работа должна быть сброшюрована.

Замечания рецензента удалять нельзя. Исправления к замечаниям рецензента выполняются на чистой стороне листа рядом с самими замечаниями и сопровождаются надписью «Работа над ошибками».

Контрольная работа содержит три задачи. В пояснительной записке следует привести исходные данные к каждой задаче в соответствии со своим вариантом. Решения задач должны включать в себя необходимые расчёты, краткие пояснения, таблицы и рисунки. Пояснения и расчеты должны быть разборчивыми для чтения. Результаты расчетов следует округлять до сотых. Все рисунки следует вставлять в пояснительную записку сразу после той страницы, на которой имеется первая ссылка на них. Если имеются единицы измерения вычисляемых или исходных величин, то они обязательно должны быть указаны. Пояснения и расчёты должны быть разборчивыми для чтения. Сокращения слов в тексте, за исключением общепринятых, не допускаются. В конце пояснительной записки следует привести список использованной литературы.

К пояснительной записке на электронном носителе следует приложить файл с выполненными расчетами. Недопустимым является ксерокопирование текста, рисунков и графиков.

Контрольные работы, выполненные **не по варианту**, к рецензированию не принимаются.

## ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

### Задача 1. Измерение параметров рельсовых цепей постоянного тока

Пользуясь измеренными значениями токов и напряжений, а также зная длину рельсовой цепи, необходимо вычислить её первичные и вторичные параметры.

Метод измерения параметров рельсовых цепей, а также необходимые исходные данные следует выбрать из таблиц 1–3. Вариант определяется предпоследней и последней цифрой шифра. При решении задачи помимо расчета следует привести схему реализации метода измерений.

Таблица 1

**Метод холостого хода и короткого замыкания**

Вариант (предпоследняя цифра/последняя цифра)	Длина рельсовой цепи $l$ , км	Холостой ход		Короткое замыкание	
		Напряжение $U_{xx}$ , В	Сила тока $I_{xx}$ , А	Напряжение $U_{кз}$ , В	Сила тока $I_{кз}$ , А
1	2	3	4	5	6
00	1	1	0,45	0,2	1
01	1,1	0,9	0,47	0,3	0,95
02	1,2	1	0,45	0,2	0,96
03	1,3	1,1	0,52	0,5	0,96
04	1,4	1,2	0,55	0,6	0,97
05	1,5	0,8	0,57	0,2	0,97
06	1,6	0,9	0,6	0,3	0,98
07	1,7	1	0,62	0,4	0,98
08	1,8	1,1	0,65	0,5	0,99
09	1,9	1,2	0,65	0,6	0,99
10	2	0,8	0,62	0,2	1
11	2,1	0,9	0,6	0,3	1
12	2,2	1	0,57	0,4	1,1
13	1	1,1	0,55	0,5	0,95
14	1,1	1,2	0,52	0,6	0,95
15	1,2	0,8	0,5	0,2	0,96
16	1,3	0,9	0,47	0,3	0,96
17	1,4	1	0,45	0,4	0,97
18	1,5	1,1	0,45	0,5	0,97
19	1,6	1,2	0,47	0,6	0,98
20	1,7	0,8	0,5	0,2	0,98
21	1,8	0,9	0,52	0,3	0,99
22	1,9	1	0,55	0,4	0,99
23	2	1,1	0,57	0,5	1
24	2,1	1,2	0,6	0,6	1
25	2,2	0,8	0,62	0,2	0,96

26	1	0,9	0,65	0,3	0,95
27	1,1	1	0,65	0,4	0,95
28	1,2	1,1	0,62	0,5	0,96
29	1,3	1,2	0,6	0,6	0,96
30	1,4	0,8	0,57	0,2	0,97
31	1,5	0,9	0,55	0,3	0,97
32	1,6	1	0,52	0,4	0,98
33	1,7	1,1	0,5	0,5	0,98

Таблица 2

**Метод, не требующий отключения путевого реле**

Вариант (предпоследняя цифра/последняя цифра)	Длина рельсовой цепи $l$ , км	Питающий конец РЦ		Релейный конец РЦ	
		Напряжение $U_n$ , В	Сила тока $I_n$ , А	Напряжение $U_k$ , В	Сила тока $I_k$ , А
1	2	3	4	5	6
34	1	1,1	1,4	0,9	0,7
35	1,1	1,15	1,35	0,9	0,65
36	1,2	1,2	1,3	1	0,6
37	1,3	1,25	1,25	1	0,55
38	1,4	1,3	1,2	0,9	0,5
39	1,5	1,35	1,15	0,8	0,7
40	1,6	1,4	1,1	1,2	0,65
41	1,7	1,45	1,05	1,2	0,6
42	1,8	1,5	1	1,3	0,55
43	1,9	1,55	1,4	1,3	0,5
44	2	1,6	1,35	1	0,7
45	2,1	1,6	1,3	1,2	0,65
46	2,2	1,55	1,25	1,3	0,6
47	1	1,5	1,2	1,3	0,55
48	1,1	1,45	1,15	1,2	0,5
49	1,2	1,4	1,1	1,2	0,7
50	1,3	1,35	1,05	1,1	0,65
51	1,4	1,3	1	1,1	0,6
52	1,5	1,25	1,4	1	0,55
53	1,6	1,2	1,35	1	0,5
54	1,7	1,15	1,3	0,9	0,7
55	1,8	1,1	1,25	0,9	0,65
56	1,9	1,1	1,2	0,5	0,6
57	2	1,15	1,15	0,6	0,55
58	2,1	1,2	1,1	0,7	0,5
59	2,2	1,25	1,05	0,8	0,7
60	1	1,3	1	1,2	0,65

61	1,1	1,35	1,4	1	0,6
62	1,2	1,4	1,35	0,6	0,9
63	1,3	1,45	1,3	1,3	0,5
64	1,4	1,5	1,25	1	0,7
65	1,5	1,55	1,2	1,2	0,65
66	1,6	1,6	1,15	1	0,6

Таблица 3

**Метод двух коротких замыканий**

Вариант (предпоследняя цифра/последняя цифра)	Длина рельсовой цепи $l$ , км	Расстояние $l_1$		Расстояние $l_2 = 2 \cdot l_1$	
		Напряжение $U_{кз1}$ , В	Сила тока $I_{кз1}$ , А	Напряжение $U_{кз2}$ , В	Сила тока $I_{кз2}$ , А
1	2	3	4	5	6
67	1	0,19	0,8	0,32	0,72
68	1,1	0,2	0,85	0,35	0,8
69	1,2	0,21	0,9	0,31	0,7
70	1	0,22	0,95	0,34	0,77
71	1,4	0,23	1	0,3	0,7
72	1	0,24	0,9	0,36	0,72
73	1,6	0,25	1	0,36	0,8
74	0,9	0,2	0,8	0,32	0,67
75	1,8	0,25	0,85	0,35	0,65
76	0,7	0,22	0,95	0,41	0,92
77	0,8	0,23	0,95	0,4	0,9
78	0,9	0,24	1	0,35	0,8
79	2	0,25	0,75	0,4	0,65
80	0,5	0,27	0,95	0,39	0,7
81	1,1	0,21	0,8	0,34	0,7
82	1,2	0,22	0,85	0,35	0,75
83	1,3	0,23	0,9	0,36	0,8
84	1,4	0,24	0,95	0,37	0,85
85	0,5	0,22	1	0,31	0,73
86	1,6	0,2	0,8	0,38	0,95
87	1,2	0,26	1	0,33	0,72
88	0,8	0,22	0,8	0,35	0,66
89	1,9	0,23	0,85	0,31	0,65
90	2	0,24	0,9	0,32	0,8
91	2,1	0,19	0,95	0,33	0,9
92	1,2	0,26	1,1	0,33	0,75

93	2	0,21	1,05	0,3	0,8
94	1,1	0,22	1,1	0,34	0,92
95	0,6	0,23	0,8	0,4	0,72
96	1,3	0,25	0,85	0,38	0,8
97	1,4	0,24	0,9	0,36	0,8
98	1	0,27	0,95	0,38	0,75
99	1	0,25	1,2	0,3	0,8

### Задача 2. Измерение параметров рельсовых цепей переменного тока

Пользуясь измеренными значениями токов и напряжений и сдвига фазы между ними, а также зная длину рельсовой цепи, необходимо вычислить её первичные и вторичные параметры.

Метод измерения параметров рельсовых цепей, а также необходимые исходные данные следует выбрать из таблиц 4–6. Вариант определяется предпоследней и последней цифрой шифра. При решении задачи помимо расчета следует привести схему реализации метода измерений.

Таблица 4

#### Метод двух коротких замыканий

Вариант (предпоследняя цифра/последняя цифра)	Расстояние $l$ , км	Расстояние $l$ , км			Расстояние $2l$ , км		
		Напряжение $U_{кз1}$ , В	Сила тока $I_{кз1}$ , А	Угол $\varphi_{кз1}$ , град	Напряжение $U_{кз2l}$ , В	Сила тока $I_{кз2l}$ , А	Угол $\varphi_{кз2l}$ , град
1	2	3	4	5	6	7	8
00	1,9	3,9	5,6	56	5,2	3,5	36
01	1,8	3,8	5,4	55	5,2	3,6	33
02	1,9	3,8	5,1	54	4,8	4	32
03	2,3	4,7	4,9	53	5	4	42
04	2,2	4,5	4,7	52	4,7	3,8	41
05	1,8	4,3	5,2	51	4,6	3,6	40
06	1,9	4	5,1	50	4,3	3,7	35
07	2	3,9	5,3	49	4,7	4,2	38
08	2,1	3,8	5	48	4,5	4,3	37
09	2,2	4	4,9	47	4,2	4	36
10	2,3	4,2	4,8	46	4,8	4,5	35
11	2,4	4,4	4,7	56	4,9	3,8	32
12	1,9	4,6	4,8	55	5,2	3,9	33
13	1,8	4,8	5	54	5,1	4	34
14	2,1	4,7	5,2	53	5,1	4,1	35
15	2,2	4,6	5,4	52	5	4,2	36
16	2,3	4,5	5,6	51	4,7	4,3	37
17	2,4	4,3	5,5	50	4,5	4,4	38
18	2	4,2	5,3	49	4,7	4,5	39

19	1,9	4,1	5,1	50	4,8	4,6	40
20	1,8	4	4,9	53	4,9	4,5	41
21	2,4	3,9	4,7	49	4,5	4,4	40
22	2,3	3,8	5,4	56	4,3	4,3	42
23	2	4,7	5,6	55	5,2	4,2	41
24	2,1	4,6	5,5	54	5,1	3,6	40
25	2	4,5	5,4	53	5	4	39
26	2,4	4,4	5,3	52	4,9	3,9	38
27	2,3	4,3	5,2	51	4,8	4	37
28	2,2	4,2	5,1	50	4,7	4,7	36
29	2,1	4,1	5,1	49	4,8	4,5	35
30	2	4	4,9	48	5	3,8	34
31	1,9	3,9	4,8	47	4,4	3,9	33
32	1,8	3,8	4,7	46	4,3	4	32

Таблица 5

**Метод холостого хода и короткого замыкания**

Вариант (предпоследняя цифра/последняя цифра)	Длина рельсовой цепи $l$ , км	Холостой ход			Короткое замыкание		
		Напряже- ние $U_{xx}$ , В	Сила тока $I_{xx}$ , А	Угол $\varphi_{xx}$ , град	Напряже- ние $U_{kz}$ , В	Сила тока $I_{kz}$ , А	Угол $\varphi_{kz}$ , град
1	2	3	4	5	6	7	8
33	1,7	1,1	0,5	5	0,5	0,98	54
34	1,6	1	0,52	6	0,4	0,98	53
35	1,5	0,9	0,55	7	0,3	0,97	52
36	1,4	0,8	0,57	8	0,2	0,97	51
37	1,3	1,2	0,6	6	0,6	0,96	59
38	1,2	1,1	0,62	11	0,5	0,96	53
39	1,1	1	0,65	10	0,4	0,95	55
40	1	0,9	0,65	9	0,3	0,95	58
41	2,2	0,8	0,62	8	0,2	0,96	55
42	2,1	1,2	0,6	7	0,6	1	54
43	2	1,1	0,57	6	0,5	1	53
44	1,9	1	0,55	5	0,4	0,99	52
45	1,8	0,9	0,52	4	0,3	0,99	58
46	1,7	0,8	0,5	7	0,2	0,98	55
47	1,6	1,2	0,47	5	0,6	0,98	54
48	1,5	1,1	0,45	6	0,5	0,97	57
49	1,4	1	0,45	7	0,4	0,97	56
50	1,3	0,9	0,47	8	0,3	0,96	58
51	1,2	0,8	0,55	5	0,2	0,96	55



52	1,1	1,2	0,52	8	0,6	0,95	53
53	1	1,1	0,55	7	0,5	0,95	52
54	2,2	1	0,57	6	0,4	1,1	51
55	2,1	0,9	0,6	5	0,3	1	50
56	2	0,8	0,62	6	0,2	1	56
57	1,9	1,2	0,65	8	0,6	0,99	54
58	1,8	1,1	0,65	5	0,5	0,99	50
59	1,7	1	0,62	6	0,4	0,98	52
60	1,6	0,9	0,6	7	0,3	0,98	55
61	1,5	0,8	0,57	8	0,2	0,97	58
62	1,4	1,2	0,55	9	0,6	0,97	52
63	1,3	1,1	0,52	8	0,5	0,96	51
64	1,2	1	0,45	7	0,2	0,96	58
65	1,1	0,9	0,47	6	0,3	0,95	53
66	1,2	4,3	1,9	5	3,1	5,6	52

Таблица 6

**Метод, не требующий измерения аргументов**

Вариант (предпоследняя цифра/последняя цифра)	Длина рельсовой цепи $l$ , км	Начало рельсовой цепи				Напряжени е в конце рельсовой цепи в режиме холостого хода $U_2$ , В
		Холостой ход		Короткое замыкание		
		Напряже- ние $U_{xx}$ , В	Сила тока $I_{xx}$ , А	Напряжен ие $U_{кз}$ , В	Сила тока $I_{кз}$ , А	
1	2	3	4	5	6	7
67	1,8	4,7	2,4	3,6	2,4	3,7
68	1,6	4,6	2,5	3	3,5	4,1
69	1,7	4,7	2,6	4,5	3,9	3,7
70	1,7	4,8	2,7	4,4	3,6	3,8
71	1,8	4,9	2,8	4,2	3,5	3,8
72	1,8	5	2,9	4,2	3,9	4,3
73	1,9	5,1	3	3,6	2,5	4
74	1,9	5,2	3,1	3,7	2,6	4
75	2	5,3	3,2	3,6	2,7	4,1
76	2	5,4	3,3	3,7	2,9	4
77	2,1	5,5	3,4	3,6	2,9	4,2
78	2	4,5	3,5	3,5	3,7	3,7
79	2	4,6	3,4	3,8	3,5	3,6
80	1,9	4,7	3,3	3,3	3,8	3,9
81	1,9	4,8	3,2	3,7	3,7	3,8

82	1,8	4,9	3,1	3,6	3,3	4
83	1,8	5	3	3,7	3,2	4,2
84	1,7	5,1	2,9	3,8	3,1	4,1
85	1,7	5,2	2,8	3,9	3	4,3
86	1,6	5,3	2,7	3,5	2,8	4,2
87	1,6	5,4	2,6	3,4	2,7	4,5
88	2,1	5,5	2,5	3,9	2,4	3,8
89	1,8	4,5	2,6	3,8	2,6	3,5
90	1,7	4,6	2,7	3,6	3,1	3,9
91	1,9	4,7	2,8	3,7	3,2	4
92	2	4,8	2,9	3,5	3	4
93	1,9	4,9	3	3,2	2,4	3,8
94	1,8	5	3,1	3,3	3,3	4,3
95	1,7	5,1	3,2	3,4	3,4	4,2
96	1,6	5,2	3,3	3,5	3,5	4,5
97	1,7	5,3	3,4	3,6	3,6	4,6
98	1,8	5,4	3,5	3,7	3,4	4,2
99	1,9	5,5	3,2	3,8	3,3	4,3

### Задача 3. Измерение параметров приборов рельсовых цепей

Изучить принцип работы и назначение дроссель-трансформатора. Представить схему измерения параметров и схему замещения дроссель-трансформатора в виде симметричного четырехполюсника. Рассчитать его коэффициенты по данным трех измерений входного сопротивления и соотношениям, характеризующим данный четырехполюсник. Результаты измерений входного сопротивления дроссель-трансформатора приведены в табл.7 Вариант задачи определяется предпоследней и последней цифрой шифра студента.

Вариант (предпоследняя цифра/последняя цифра)	Сопротивление холостого хода со стороны обмотки				Сопротивление короткого замыкания со стороны дополнительной обмотки	
	Основной		Дополнительной		Модуль $ Z_{1кз} $ , Ом	Аргумент $\varphi_{1кз}$ , град
	Модуль $ Z_{1xx} $ , Ом	Аргумент $\varphi_{1xx}$ , град	Модуль $ Z_{2xx} $ , Ом	Аргумент $\varphi_{2xx}$ , град		
1	2	3	4	5	6	7
00	0,04	85	0,05	90	0,6	80
01	0,041	86	0,049	90	0,59	80
02	0,042	87	0,048	90	0,58	85
03	0,043	88	0,047	90	0,57	80
04	0,044	89	0,046	89	0,56	80

05	0,045	90	0,045	89	0,55	82
06	0,046	89	0,044	89	0,55	81
07	0,047	88	0,043	88	0,56	84
08	0,048	87	0,042	88	0,56	81
09	0,049	86	0,041	88	0,57	83
10	0,05	85	0,04	87	0,58	82
11	0,049	85	0,04	87	0,56	85
12	0,048	86	0,04	87	0,57	82
13	0,047	86	0,04	86	0,59	82
14	0,046	87	0,04	86	0,59	82
15	0,045	87	0,041	86	0,58	83
16	0,044	88	0,042	85	0,55	83
17	0,043	88	0,042	85	0,55	83
18	0,042	89	0,042	85	0,54	83
19	0,041	89	0,043	84	0,56	83
20	0,04	90	0,044	84	0,55	84
21	0,042	90	0,044	84	0,6	84
22	0,044	85	0,044	85	0,6	84
23	0,046	87	0,044	86	0,6	84
24	0,048	89	0,045	87	0,59	84
25	0,05	90	0,046	88	0,59	84
26	0,048	88	0,045	89	0,58	85
27	0,046	86	0,046	90	0,58	85
28	0,044	84	0,047	88	0,58	85
29	0,042	85	0,048	87	0,57	85
30	0,04	89	0,049	85	0,57	85
31	0,041	87	0,049	86	0,56	81
32	0,043	86	0,048	86	0,56	80
33	0,045	86	0,047	87	0,56	84
34	0,047	84	0,047	89	0,55	83
35	0,049	83	0,045	88	0,54	85
36	0,047	89	0,042	87	0,55	82
37	0,045	90	0,042	86	0,54	81
38	0,043	90	0,043	85	0,54	84
39	0,041	88	0,043	87	0,56	80
40	0,041	85	0,042	84	0,58	85
41	0,042	84	0,041	86	0,59	83
42	0,042	84	0,045	88	0,57	82
43	0,043	86	0,045	89	0,56	83
44	0,043	89	0,045	87	0,59	83
45	0,044	87	0,045	86	0,06	82
46	0,044	84	0,042	85	0,58	81
47	0,046	85	0,041	86	0,55	84

48	0,046	86	0,04	87	0,55	85
49	0,047	88	0,04	88	0,6	85
50	0,047	85	0,043	87	0,6	85
51	0,046	90	0,045	85	0,59	85
52	0,046	89	0,042	89	0,58	84
53	0,044	87	0,045	90	0,57	81
54	0,044	89	0,043	90	0,56	82
55	0,043	89	0,04	88	0,55	83
56	0,043	88	0,04	87	0,6	83
57	0,042	86	0,041	86	0,55	82
58	0,042	87	0,042	85	0,55	83
59	0,041	86	0,042	86	0,58	85
60	0,041	87	0,041	87	0,06	80
61	0,043	86	0,044	89	0,59	84
62	0,045	85	0,045	88	0,56	81
63	0,047	86	0,045	86	0,57	82
64	0,049	85	0,044	84	0,59	85
65	0,047	86	0,044	87	0,58	83
66	0,045	84	0,04	85	0,56	84
67	0,043	85	0,041	86	0,54	80
68	0,041	84	0,042	87	0,54	81
69	0,04	85	0,045	88	0,55	85
70	0,042	84	0,045	89	0,54	85
71	0,044	85	0,045	87	0,55	85
72	0,046	85	0,045	86	0,56	85
73	0,048	86	0,041	86	0,56	85
74	0,05	87	0,042	85	0,56	84
75	0,048	87	0,043	87	0,57	84
76	0,046	88	0,043	88	0,57	84
77	0,044	88	0,042	90	0,58	84
78	0,042	88	0,042	89	0,58	84
79	0,04	87	0,045	88	0,58	84
80	0,041	89	0,047	87	0,59	83
81	0,042	90	0,047	86	0,59	83
82	0,043	90	0,048	85	0,6	83
83	0,044	89	0,049	84	0,6	83
84	0,045	88	0,049	85	0,6	83
85	0,046	86	0,048	84	0,55	82
86	0,047	85	0,047	85	0,56	82
87	0,048	84	0,046	85	0,54	82
88	0,049	87	0,045	85	0,55	82
89	0,05	89	0,046	86	0,55	82
90	0,049	86	0,045	84	0,58	81

91	0,048	84	0,044	86	0,59	81
92	0,047	84	0,047	87	0,59	81
93	0,046	85	0,044	87	0,57	81
94	0,045	88	0,044	87	0,56	81
95	0,044	90	0,043	88	0,58	83
96	0,043	90	0,042	85	0,57	80
97	0,042	89	0,043	88	0,56	85
98	0,041	83	0,042	89	0,56	80
99	0,045	90	0,045	90	0,59	81

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ**

Задачи 1 и 2 связаны с измерением параметров рельсовых цепей. В начале решения следует привести краткую классификацию параметров рельсовых цепей, а также методов их измерения. Далее необходимо приложить расчетную часть задачи. Последняя должна сопровождаться необходимыми пояснениями. К расчетам должна прилагаться схема рельсовой цепи, на которой показано подключение измерительных приборов при реализации соответствующего метода. В заключительной части решения задачи следует сравнить полученные расчетные значения параметров с допустимыми, указать область применения рассматриваемого метода измерения параметров рельсовой цепи, а также его основные достоинства и недостатки.

Последовательность решения состоит в нахождении входного сопротивления рельсовой цепи при известных нагрузках, последующем вычислении на его основе вторичных параметров, а на основе вторичных параметров – первичных.

При решении задачи 2 необходимо привести краткую характеристику методов измерения аргумента входного сопротивления рельсовой цепи. Для метода трех вольтметров необходимо описать сущность, привести принципиальную схему, а также расчетные формулы. Для метода, основанного на использовании фазометра необходимо описать особенности применения фазометров с учетом специфических требований, имеющих место при измерении рельсовых цепей.

Задача 3 заключается в нахождении коэффициентов эквивалентного четырехполюсника для дроссель-трансформатора. В начале решения задачи необходимо раскрыть принцип работы дроссель-трансформатора и его назначение. В расчетной части привести вывод основных формул для вычисления коэффициентов эквивалентного четырехполюсника с необходимыми пояснениями. К расчетам должна прилагаться схема симметричного четырехполюсника, а также схема измерения параметров дроссель-трансформатора. В заключительной части необходимо произвести проверку правильности расчетов.

При выполнении всех расчетов студент должен показать свои навыки работы с комплексными числами и гиперболическими функциями, поэтому решение должно содержать подробные преобразования и промежуточные результаты расчетов.

Далее приведены основные расчетные соотношения с краткими пояснениями, необходимые для решения соответствующих задач.

### **Задача 1. Измерение параметров рельсовых цепей постоянного тока**

Особенностью измерений в рельсовых цепях постоянного тока является то, что не требуется измерять угол сдвига фаз между токами и напряжениями. Сопротивление рельсовой цепи постоянному току зависит от типа рельсов и стыковых соединителей и обычно находится в интервале 0,1...0,8 Ом/км.

#### **1. Метод холостого хода и короткого замыкания**

– Вычислим входное сопротивление холостого хода:

$$R_{xx} = \frac{U_{xx}}{I_{xx}}, \text{ Ом.}$$

– Вычислим входное сопротивление короткого замыкания:

$$R_{кз} = \frac{U_{кз}}{I_{кз}}, \text{ Ом.}$$

– Определим вторичные параметры рельсовой цепи.

$R_g$  – волновое сопротивление:

$$R_g = \sqrt{R_{xx} \cdot R_{кз}}, \text{ Ом.}$$

$\gamma$  – коэффициент распространения:

$$\gamma = \frac{\operatorname{arcth} \sqrt{\frac{R_{кз}}{R_{xx}}}}{l}, \text{ 1/км.}$$

– Вычислим первичные параметры рельсовой цепи.

$r_p$  – удельное сопротивление рельсов:

$$r_p = R_g \cdot \gamma, \text{ Ом/км.}$$

$r_b$  – удельное сопротивление балласта:

$$r_b = \frac{R_g}{\gamma} \text{ Ом}\cdot\text{км.}$$

#### **2. Метод, не требующий отключения путевого реле**

– Определим вторичные параметры рельсовой цепи.

$\gamma$  – коэффициент распространения:

$$\gamma = \frac{1}{l} \cdot \operatorname{arcch} \frac{U_H \cdot I_H + U_K \cdot I_K}{U_H \cdot I_K + I_H \cdot U_K}, \text{ 1/км}$$

$R_g$  – волновое сопротивление:

$$R_B = \frac{U_H - U_K \cdot ch \gamma l}{I_K \cdot \sqrt{ch^2 \gamma l - 1}}, \text{ Ом.}$$

– Вычислим первичные параметры рельсовой цепи.

$r_p$  – удельное сопротивление рельсов:

$$r_p = R_B \cdot \gamma, \text{ Ом/км.}$$

$r_6$  – удельное сопротивление балласта:

$$r_6 = \frac{R_B}{\gamma} \text{ Ом} \cdot \text{км.}$$

### 3. Метод двух коротких замыканий

– Вычислим значение входного сопротивления рельсовой цепи при коротком замыкании на расстоянии  $l_1$  от питающего конца:

$$R_{кз1} = \frac{U_{кз1}}{I_{кз1}}, \text{ Ом.}$$

– Вычислим значение входного сопротивления рельсовой цепи при коротком замыкании на расстоянии  $l_2 = 2 \cdot l_1$  от питающего конца:

$$R_{кз2} = \frac{U_{кз2}}{I_{кз2}}, \text{ Ом.}$$

– Определим вторичные параметры рельсовой цепи.

$\gamma$  – коэффициент распространения:

$$\gamma = \frac{1}{l} \cdot \operatorname{arcth} \sqrt{\frac{2R_{кз1} - R_{кз2}}{R_{кз2}}}, \text{ 1/км.}$$

$R_g$  – волновое сопротивление:

$$R_g = \frac{R_{кз1}}{th \gamma l}, \text{ Ом.}$$

– Вычислим первичные параметры рельсовой цепи.

$r_p$  – удельное сопротивление рельсов:

$$r_p = R_B \cdot \gamma, \text{ Ом/км.}$$

$r_6$  – удельное сопротивление балласта:

$$r_6 = \frac{R_B}{\gamma} \text{ Ом} \cdot \text{км.}$$

### Задача 2. Измерение параметров рельсовых цепей переменного тока

Особенностью расчетов по сравнению с рельсовыми цепями постоянного тока является необходимость учёта сдвига фаз между токами и напряжениями при измерении входного сопротивления. Сопротивление

рельсовой цепи на практике при  $f = 25$  Гц обычно составляет  $0,5 \cdot e^{j52^\circ}$  Ом/км, при  $f = 50$  Гц –  $0,8 \cdot e^{j65^\circ}$  Ом/км, при  $f = 75$  Гц –  $1,07 \cdot e^{j68^\circ}$  Ом/км.

### 1. Метод холостого хода и короткого замыкания

– Вычислим значения входного сопротивления рельсовой цепи для режимов холостого хода  $Z_{xx}$  и короткого замыкания  $Z_{кз}$  по формулам:

$$Z_{xx} = \frac{U_{xx}}{I_{xx}} \cdot e^{j \cdot \varphi_{xx}}, \text{ Ом};$$

$$Z_{кз} = \frac{U_{кз}}{I_{кз}} \cdot e^{j \cdot \varphi_{кз}}, \text{ Ом}.$$

– Вычислим вторичные параметры рельсовой цепи.

$Z_g$  – волновое сопротивление:

$$Z_g = \sqrt{Z_{xx} \cdot Z_{кз}}, \text{ Ом}.$$

$\gamma$  – коэффициент распространения.

Так как коэффициент распространения  $\gamma$  в рельсовых цепях переменного тока является комплексным числом, то для его вычисления требуется выполнить следующие действия.

– Вычислим соотношение:

$$\text{th } \gamma l = \sqrt{\frac{Z_{кз}}{Z_{xx}}}.$$

Результат следует представить в показательной форме:

$$\text{th } \gamma l = T \cdot e^{j \cdot t}$$

причем следует отдельно выписать модуль  $T$  и аргумент  $t$  комплексного числа, которые потребуется применить в других расчетных формулах.

– Вычислим значение километрического коэффициента затухания по амплитуде  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{1}{2 \cdot l} \cdot \text{arcth} \frac{2 \cdot T \cdot \cos t}{1 + T^2}, \text{ 1/км}.$$

– Вычислим значение километрического фазового коэффициента  $\beta$ :

$$\beta = \frac{1}{2 \cdot l} \cdot \text{arctg} \frac{2 \cdot T \cdot \sin t}{1 - T^2}, \text{ рад/км}.$$

– Получим коэффициент распространения в алгебраическом виде:

$$\gamma = \alpha + j \cdot \beta, \text{ 1/км}.$$

– Представим коэффициент распространения в показательной форме:



$$\dot{\gamma} = |\dot{\gamma}| \cdot e^{j \cdot \varphi_{\dot{\gamma}}}, 1/\text{км.}$$

– Вычислим первичные параметры рельсовой цепи, представив их в показательной форме.

$\dot{z}_p$  – удельное сопротивление рельсов:

$$\dot{z}_p = \dot{Z}_6 \cdot \dot{\gamma} = |\dot{z}_p| \cdot e^{j \cdot \arg \dot{z}_p}, \text{ Ом/км.}$$

$\dot{z}_6$  – удельное сопротивление балласта:

$$\dot{z}_6 = \frac{\dot{Z}_6}{\dot{\gamma}} = |\dot{z}_6| \cdot e^{j \cdot \arg \dot{z}_6}, \text{ Ом км.}$$

## 2. Метод, не требующий измерения аргументов

– Определим модули входного сопротивления рельсовой цепи при холостом ходе и коротком замыкании:

$$|\dot{Z}_{xx}| = \frac{U_{xx}}{I_{xx}}, \text{ Ом;}$$

$$|\dot{Z}_{кз}| = \frac{U_{кз}}{I_{кз}}, \text{ Ом.}$$

– Вычислим модули вторичных параметров рельсовой цепи.

$|\dot{Z}_6|$  – модуль волнового сопротивления:

$$|\dot{Z}_6| = \sqrt{|\dot{Z}_{xx}| \cdot |\dot{Z}_{кз}|}$$

$|\dot{\gamma}|$  – модуль коэффициента распространения. Его вычислим через

значения отдельных составляющих:

$\alpha$  – километрический коэффициент затухания по амплитуде:

$$\alpha = \frac{1}{2 \cdot l} \cdot \operatorname{arcch} \left\{ \frac{U_{xx}^2}{U_2^2} \cdot \left( 1 + \frac{|\dot{Z}_{кз}|}{|\dot{Z}_{xx}|} \right) \right\}, 1/\text{км.}$$

$\beta$  – километрический фазовый коэффициент:

$$\beta = \frac{1}{2 \cdot l} \cdot \arccos \left\{ \frac{U_{xx}^2}{U_2^2} \cdot \left( 1 - \frac{|\dot{Z}_{кз}|}{|\dot{Z}_{xx}|} \right) \right\}, \text{ рад/км.}$$

Тогда модуль коэффициента распространения есть:

$$|\dot{\gamma}| = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}, 1/\text{км}.$$

– Вычислим первичные параметры рельсовой цепи.

$\dot{z}_p$  – удельное сопротивление рельсов. Удельное сопротивление рельсов следует вычислять на основе отдельных составляющих: модуля и аргумента.

$|\dot{z}_p|$  – модуль сопротивления рельсов:

$$|\dot{z}_p| = |\dot{Z}_e| \cdot |\dot{\gamma}|, \text{ Ом/км}.$$

$\varphi_p$  – аргумент сопротивления рельсов:

$$\varphi_p = 2 \cdot \text{arctg} \frac{\beta}{\alpha}, \text{ град}.$$

Следовательно, удельное сопротивление рельсов есть:

$$\dot{z}_p = |\dot{z}_p| \cdot e^{j\varphi_p}, \text{ Ом/км}.$$

$\dot{z}_\delta$  – удельное сопротивление балласта. Сопротивление балласта при данном методе рассматривают, как полностью активное, пренебрегая относительно небольшой по величине реактивной составляющей, поэтому находят только модуль сопротивления балласта.

$$|\dot{z}_\delta| = \frac{|\dot{Z}_e|}{|\dot{\gamma}|}, \text{ Ом км}.$$

### 3. Метод двух коротких замыканий

– Вычислим входное сопротивление рельсовой цепи при коротком замыкании на расстоянии  $l$  и  $2 \cdot l$ :

$$\dot{Z}_l = \frac{U_l}{I_l} \cdot e^{j\varphi_l}, \text{ Ом};$$

$$\dot{Z}_{2l} = \frac{U_{2l}}{I_{2l}} \cdot e^{j\varphi_{2l}}, \text{ Ом}.$$

– Определим вторичные параметры рельсовой цепи. Для этого вычислим:

$$\text{th } \dot{\gamma} l = \sqrt{\frac{2 \cdot \dot{Z}_l - \dot{Z}_{2l}}{\dot{Z}_{2l}}}$$

Так как величина  $th \gamma l$  является комплексной, то для проведения дальнейших расчетов её надо представить в показательной форме:

$$th \gamma l = T \cdot e^{j \cdot t}$$

Модуль  $T$  и аргумент  $t$  комплексного числа применим в расчетных формулах для вычисления километрического коэффициента затухания по амплитуде  $\alpha$  и километрического фазового коэффициента  $\beta$ :

$$\alpha = \frac{1}{2 \cdot l} \cdot arcth \frac{2 \cdot T \cdot \cos t}{1 + T^2}, 1/\text{км};$$

$$\beta = \frac{1}{2 \cdot l} \cdot arctg \frac{2 \cdot T \cdot \sin t}{1 - T^2}, \text{рад/км}.$$

– Получим коэффициент распространения в алгебраическом виде:

$$\gamma = \alpha + j \cdot \beta, 1/\text{км}.$$

– Представим коэффициент распространения в показательной форме:

$$\gamma = |\gamma| \cdot e^{j \cdot \varphi_\gamma}, 1/\text{км}.$$

– Вычислим волновое сопротивление  $Z_\epsilon$ , используя в качестве исходных данных ранее полученное значение  $th \gamma l$ :

$$Z_\epsilon = \frac{Z_l}{th \gamma l}, \text{Ом}.$$

– Вычислим первичные параметры рельсовой цепи, представив их в показательной форме.

$z_p$  – удельное сопротивление рельсов:

$$z_p = Z_\epsilon \cdot \gamma = |z_p| \cdot e^{j \cdot \arg z_p}, \text{Ом/км}.$$

$z_\delta$  – удельное сопротивление балласта:

$$z_\delta = \frac{Z_\epsilon}{\gamma} = |z_\delta| \cdot e^{j \cdot \arg z_\delta}, \text{Ом км}.$$

### Задача 3. Измерение параметров приборов рельсовых цепей

Наиболее общим методом определения коэффициентов четырехполюсника является метод трёх нагрузок.

Для обратимого четырехполюсника, каковым является дроссель-трансформатор, входные сопротивления холостого хода и короткого замыкания выражаются через его параметры:

$$Z_{1кз} = \frac{A_{12}}{A_{22}}, \text{ Ом};$$

$$Z_{1xx} = \frac{A_{11}}{A_{21}}, \text{ Ом};$$

$$Z_{2кз} = \frac{A_{12}}{A_{11}}, \text{ Ом};$$

$$Z_{2xx} = \frac{A_{22}}{A_{21}}, \text{ Ом}.$$

С целью решения обратной задачи достаточно произвести измерения его входных сопротивлений при граничных значениях нагрузок: холостом ходе и коротком замыкании. При этом достаточно измерить три величины:  $Z_{1xx}$ ,  $Z_{2xx}$ ,  $Z_{1кз}$ . Тогда коэффициенты эквивалентного четырехполюсника вычислим по формулам:

$$A_{11} = \frac{Z_{1xx}}{\sqrt{Z_{2xx} \cdot (Z_{1xx} - Z_{1кз})}};$$

$$A_{12} = \frac{Z_{1кз} \cdot Z_{2xx}}{\sqrt{Z_{2xx} \cdot (Z_{1xx} - Z_{1кз})}}; \text{ Ом};$$

$$A_{21} = \frac{1}{\sqrt{Z_{2xx} \cdot (Z_{1xx} - Z_{1кз})}}; \text{ 1/Ом};$$

$$A_{22} = \frac{Z_{2xx}}{\sqrt{Z_{2xx} \cdot (Z_{1xx} - Z_{1кз})}}.$$

Если расчеты верны, то должно выполняться проверочное условие:

$$A_{11} \cdot A_{22} - A_{12} \cdot A_{21} = 1$$

## Справочные сведения, полезные при выполнении задач:

Вспомогательные формулы для расчета гиперболических функций:

$$\operatorname{sh} x = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$$

$$\operatorname{ch} x = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$$

$$\operatorname{th} x = \frac{\operatorname{sh} x}{\operatorname{ch} x} = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

$$\operatorname{cth} x = \frac{\operatorname{ch} x}{\operatorname{sh} x} = \frac{e^x + e^{-x}}{e^x - e^{-x}}$$

Вспомогательные формулы для расчета обратных гиперболических функций:

$$\operatorname{arsh} x = \ln \left( x + \sqrt{x^2 + 1} \right)$$

$$\operatorname{arch} x = \pm \ln \left( x + \sqrt{x^2 - 1} \right), \quad x \geq 1$$

$$\operatorname{arch} x = \frac{1}{2} \cdot \ln \left( \frac{1+x}{1-x} \right)$$

$$\operatorname{arcch} x = \ln \left( \frac{\sqrt{x^2 - 1}}{x - 1} \right) = \frac{1}{2} \cdot \ln \left( \frac{x+1}{x-1} \right)$$

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### *Основная*

1. Дмитриенко И. Е., Алексеев В. М. Техническая диагностика и автоконтроль работоспособности устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: Уч. пос. – М.: РГОТУПС, 2003. – 163 с.

### *Дополнительная*

2. Дмитриенко И. Е., Сапожников В. В., Дьяков Д. В. Измерение и диагностирование в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. – М.: Транспорт, 1994.
3. Аркатов В. С., Кравцов Ю. А., Степенский Б. М. Рельсовые цепи. – М.: Транспорт, 1990.
4. Дмитриенко И. Е., Устинский А. А., Цыганков В. И. Измерения в устройствах автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1969.