

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 _____ А.В. Горелик
(подпись, Ф.И.О.)

«_____» _____ 20 ____ г.

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор - директор Российской -
открытой академии транспорта

_____ В.И. Апатцев
(подпись, Ф.И.О.)

«_____» _____ 20 ____ г.

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

Авторы: Боровков Ю.Г., к.т.н, доц.
(ф.и.о., ученая степень, ученое звание)

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ С МЕТОДИЧЕСКИМИ УКАЗАНИЯМИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ

«Автоматика и телемеханика на перегонах (дополнительные разделы)»

(название дисциплины)

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

(код, наименование специальности /направления)

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

Квалификация (степень) выпускника: **специалист**

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 _____ А.В. Горелик (подпись, Ф.И.О.)
--	---

Москва 2016 г.

ВВЕДЕНИЕ

В основу работы электрических рельсовых цепей положен принцип, наиболее полно отвечающий требованиям безопасности движения поездов. Поэтому рельсовые цепи получили такое широкое распространение и до настоящего времени используются во всех современных системах интервального регулирования движения поездов и устройствах электрической централизации.

Синтез основных видов рельсовых цепей, как перегонных, так и станционных, направлен, главным образом, на получение максимальной их длины при минимально допустимом удельном сопротивлении изоляции рельсовой линии, равном $1 \text{ Ом} \cdot \text{км}$. Однако, как показывает практика эксплуатации рельсовых цепей, удельное сопротивление изоляции в ряде случаев понижается до более низких значений, чем нормативное, а длина рельсовых цепей бывает существенно меньше предельно допустимой.

В этих условиях важное практическое значение для инженера-электрика, обслуживающего устройства железнодорожной автоматики и телемеханики, приобретает наличие прочных знаний теории электрических рельсовых цепей, позволяющих произвести оценку степени работоспособности рельсовой цепи в конкретных условиях ее эксплуатации и во всех режимах ее работы.

Цель настоящей курсовой работы научить студентов практическим навыкам расчета и анализа рельсовых цепей с использованием современных компьютерных программ. При выполнении расчетов используется разработанная в Воронежском филиале МИИТ учебная программа `rs.vi` на основе применения стандартных программных средств LabVIEW.

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ «АНАЛИЗ И РАСЧЕТ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА»

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Для успешного выполнения курсовой работы студент должен иметь представление о составе и назначении основных элементов станционных и перегонных рельсовых цепей переменного тока, методах анализа и критериях оценки их работоспособности, уметь строить общую и основную схемы замещения рельсовых цепей для каждого из возможных режимов их работы.

Прежде, чем приступить к выполнению курсовой работы, студент должен изучить соответствующие разделы основной [1 и 2] литературы.

Необходимые графики выполняются карандашом на белой бумаге или миллиметровке стандартных размеров: $297 \times 210 \text{ мм}$. Пояснительная записка пишется на одной стороне стандартного листа аналогичного формата. Все листы записки, в том числе распечатки результатов расчета, должны быть сброшюрованы и иметь сплошную нумерацию.

Пояснительная записка должна содержать оглавление, задание и исходные данные по варианту, основные расчетные формулы и краткие пояснения к ним с приложением необходимых распечаток и графического материала. Пояснения

выполненной студентом работы должны быть краткими и разборчивыми для чтения. Допускается использовать машинописный текст, набранный на компьютере. В конце пояснительной записки следует привести список использованной литературы. При оформлении курсовой работы студент должен дополнительно руководствоваться методическими указаниями [3].

Все исправления по замечаниям делаются только на чистой стороне предыдущего листа напротив замечаний рецензента. При наличии ошибок в формулах последние должны переписываться заново в исправленном виде. Не допускается внесение исправлений непосредственно в ошибочные формулы.

В процессе выполнения курсовой работы необходимо:

- Проанализировать работоспособность заданной неразветвленной рельсовой цепи (р.ц.) переменного тока на электрифицированном участке железной дороги при пониженном сопротивлении изоляции рельсовой линии;
- Анализ провести на основе машинного расчета нормального, шунтового и контрольного режимов, а также режимов АЛСН и короткого замыкания р.ц. с использованием учебной компьютерной программы `rs.vi`, выполненной на базе применения стандартных программных средств LabVIEW;
- Используя возможности программы `rs.vi`, построить графики зависимостей модулей сопротивлений передачи заданной р.ц. в нормальном, шунтовом и контрольных режимах от длины р.ц. при постоянном значении сопротивления изоляции $r_{и.мин.} = 1 \text{ Ом.км.}$. Длина должна задаваться с дискретностью 0,25 км в пределах от 0,25 до 1,5 км (для станционных р.ц.) и от 0,75 до 2,5 км (для перегонных р.ц.);
- Построить графики зависимостей модулей сопротивлений передачи заданной р.ц. в нормальном и шунтовом режимах от значения сопротивления изоляции $r_{и}$ для заданной длины р.ц. Значение $r_{и}$ задавать в пределах от 0,25 до 2 Ом.км (независимо от типа р.ц.) с дискретностью 0,25 Ом.км.;
- Построить (для перегонных р.ц.) график зависимости коэффициента чувствительности к обрыву рельсовой нити $K_{кп}$ от коэффициента поверхностной утечки – m , значение которого должно задаваться в пределах от 1 до 10 с дискретностью 0,1;
- Построить (для станционных р.ц.) график зависимости угла расстройки φ в нормальном режиме от изменения сопротивления изоляции $r_{и}$ в пределах от 0,25 до 3 Ом.км с дискретностью 0,25 Ом.км.

Тип длина и значения отдельных параметров р.ц. выбираются студентом из табл. 1, 2 и 3 по двум последним цифрам своего учебного шифра.

Таблица 1

Типы анализируемых рельсовых цепей переменного тока

Варианты (последняя цифра шифра)	Наименование рельсовых цепей	Вид тяги поездов
1	2	3
1, 5, 9	Перегонная кодовая р.ц. 25 Гц с двумя дроссель-трансформаторами типа ДТ-1-150, рис. 1	Электротяга переменного тока
2, 6	Перегонная кодовая р.ц. 50 Гц с дроссель-трансформаторами типов ДТ-0,6-500 на питающем и ДТ-0,2-500 на релейном концах, рис. 2	Электротяга постоянного тока
3, 7, 0	Станционная неразветвленная двухниточная р.ц. 25 Гц с двумя дроссель-трансформаторами типа ДТ-1-150 и фазочувствительным реле ДСШ-13, кодируемая с питающего конца, рис. 3	Электротяга переменного тока
4, 8	Станционная неразветвленная двухниточная р.ц. 50 Гц с двумя дроссель-трансформаторами типа ДТ-0,2-500 и фазочувствительным реле ДСШ-12, кодируемая с питающего конца, рис. 4	Электротяга постоянного тока

Таблица 2

Параметры рельсовой линии

Последняя цифра шифра	Длина рельсовой цепи, км	Минимальное удельное сопротивление изоляции рельсовой линии $\Gamma_{и.мин}$, Ом.км									
		Предпоследняя цифра шифра									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	2,1	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5	0,45
2	2,0	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35
3	1,0	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25
4	0,9	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,3
5	1,9	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,3	0,25	0,4
6	1,7	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,3	0,25	0,4	0,35	0,5
7	0,8	0,3	0,25	0,2	0,3	0,25	0,4	0,35	0,5	0,45	0,6
8	0,6	0,2	0,3	0,25	0,4	0,35	0,5	0,45	0,6	0,55	0,7
9	1,6	0,25	0,4	0,35	0,5	0,45	0,6	0,55	0,7	0,65	0,8
0	0,5	0,35	0,5	0,45	0,6	0,55	0,7	0,65	0,8	0,75	0,9

Данные, используемые учебной программой *rs.vi* при расчете рельсовых цепей, приведены в табл. 4, 5 и 6.

Таблица 3

Дополнительные учитываемые параметры рельсовых цепей

№ п/п	Наименование параметра	Варианты (последняя цифра шифра)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	Коэффициент поверхностной утечки - m	1,8	1,8	0	0	9,1	9,1	1,8	1,8	0	0
2	Удельное сопротивление заземления контактных опор – r_o , Ом.км	2	3	-	-	4	5	-	-	6	-
3	Сопротивление кабеля между путевым реле и изолирующим трансформатором (ИТ) – R_k , Ом	-	-	150	-	-	-	100	-	-	120
4	Сопротивление кабеля между путевым реле и дроссель- трансформатором (ДТ) - R_k , Ом	-	-	-	150	-	-	-	70	-	-
5	Сопротивление соединительных проводов между релейным ИТ и ДТ – r_{cp} , Ом	0,3	-	0,5	-	0,2	-	0,4	-	0,1	0,3
6	Сопротивление соединительных проводов между ДТ и ИТ питающего конца - $r_{сп}$, Ом	0,2	-	-	-	0,1	-	-	-	0,3	1

Таблица 4

Нормативные параметры рельсовых линий

№ п/п	Наименование параметра	Частота сигнального тока, Гц	
		25	50
1	Удельное сопротивление рельсовой линии – z , Ом/км	$0,5 \exp(j52^\circ)$	$0,8 \exp(j65^\circ)$
2	Удельная взаимная индуктивность рельсовой линии – M , Гн/км	$0,00135 \exp(-j6,7^\circ)$	$0,00128 \exp(-j7^\circ)$
3	Критическая постоянная распространения электромагнитной волны в рельсовой линии – $(\gamma l)_{кр}$	$1,13 \exp(j26^\circ)$	$1,35 \exp(j32,5^\circ)$
4	Расчетные коэффициенты контрольного режима работы двухниточной рельсовой цепи - S_1, S_2	1	1

Курсовую работу представить в виде расчетно-пояснительной записки, которая должна содержать принципиальную схему р.ц., результаты расчетов всех ее режимов и краткие пояснения к ним, графики заданных зависимостей с кратким их анализом, а также заключение.

Для каждого из режимов должна быть приведена своя расчетная схема замещения, а расчет нормального режима фазочувствительной р.ц. переменного тока должен быть дополнен векторной диаграммой фактических и идеальных фазовых соотношений путевого реле соответствующего типа ДСШ.

Таблица 5

Электрические характеристики оборудования рельсовых цепей

№ п/п	Наименование данных	Тип рельсовой цепи			
		кодovая		фазочувствительная	
		50 Гц	25 Гц	25 Гц	50 Гц
1	2	3	4	5	6
1	Сопротивление путевого реле - Z_p , Ом	ИМВШ-110 $165\exp(j0^\circ)$	ИМВШ-110 $165\exp(j0^\circ)$	ДСШ-13 $405\exp(j72^\circ)$	ДСШ-12 $610\exp(j72^\circ)$
2	Идеальный угол фазовых соотношений реле ДСШ – $\alpha_{и}$, град.	-	-	+ 72°	- 18°
3	Рабочее напряжение путевого реле – U_p , В	3,84	3,84	$15\exp(j72^\circ)$	$14\exp(j72^\circ)$
4	Рабочий ток путевого реле – I_p , А	0,023	0,023	0,037	0,023
5	Коэффициент запаса по срабатыванию путевого реле - $K_{зср}$	1,2	1,2	1,0	1,0
6	Коэффициент надежного возврата путевого реле - $K_{вн}$	0,75	0,75	0,42	0,41
7	Допустимый коэффициент перегрузки путевого реле - $K_{пер}$	3,7	3,7	4,0	4,3
8	Коэффициенты четырехполюсника защитного фильтра	ЗБФ-1 (n = збф)	ФП-25 (n = фп)	ЗБ-ДСШ (n = зб)	-
	A_n	1	1,22	1	-
	B_n , Ом	120	85	0	-
	C_n , См.	0	0,0026	$0,0024 \exp(j88,5)$	-
	D_n	1	1	1	-
9	Сопротивление ограничителя – Ом	РОБС-3А	R_o	R_n	R_o
		Z_o			
		$45\exp(j81^\circ)$	200	2,2	50
10	Коэффициенты четырехполюсника ДТ (дрессель-трансформатора) релейного конца	ДТ-0,2-500 (n = 23)	ДТ-1-150 (n = 3)	ДТ-1-150 (n = 3)	ДТ-0,2-500 (n = 40)
	$A_{др}$	$0,052\exp(-j3^\circ)$	0,333	0,333	$0,03\exp(-j3^\circ)$
	$B_{др}$, Ом	$0,842\exp(j61^\circ)$	$0,0525\exp(j40^\circ)$	$0,0525\exp(j40^\circ)$	$1,47\exp(j61^\circ)$
	$C_{др}$, См.	$0,244\exp(-j82^\circ)$	$0,49\exp(-j70^\circ)$	$0,49\exp(-j70^\circ)$	$0,14\exp(-j82^\circ)$
	$D_{др}$	$23\exp(-j1^\circ)$	3	3	$40,1\exp(-j1^\circ)$

Электрические характеристики оборудования рельсовых цепей

1	2	3	4	5	6
11	Коэффициенты четырехполюсника ДТ (дрессель-трансформатора) питающего конца	ДТ-0,6-500 (n = 15)	ДТ-1-150 (n = 3)	ДТ-1-150 (n = 3)	ДТ-0,2-500 (n = 40)
	$A_{дп}$	$15,5\exp(-3^\circ)$	3	3	$40,1\exp(-j1^\circ)$
	$B_{дп}$, Ом	$1,815\exp(j72,5^\circ)$	$0,05\exp(j35^\circ)$	$0,05\exp(j35^\circ)$	$1,47\exp(j61^\circ)$
	$C_{дп}$, См.	$0,135\exp(-j80,8^\circ)$	$0,302\exp(-j60^\circ)$	$0,302\exp(-j60^\circ)$	$0,14\exp(-j82^\circ)$
	$D_{дп}$	$0,08\exp(j1,5^\circ)$	0,333	0,333	$0,03\exp(-j3^\circ)$
12	Коэффициенты четырехполюсника ИТ (изолирующего трансформатора) релейного конца	-	ПРТ-А (n = 9,15)	ПРТ-А (n = 18,3)	-
	$A_{ир}$	-	0,11	0,055	-
	$B_{ир}$, Ом		$2,4\exp(j36^\circ)$	$3,9\exp(j36^\circ)$	
	$C_{ир}$, См.		$0,006\exp(-j65^\circ)$	$0,0033\exp(-j80^\circ)$	
	$D_{ир}$		9,15	18,3	
13	Коэффициенты четырехполюсника ИТ (изолирующего трансформатора) питающего конца	-	ПРТ-А (n = 9,15)	-	-
	$A_{ир}$	-	9,15	-	-
	$B_{ир}$, Ом		$2,4\exp(j36^\circ)$		
	$C_{ир}$, См.		$0,006\exp(-j65^\circ)$		
	$D_{ир}$		0,11		
14	Нормативный ток АЛСН на входном конце р.ц. - $I_{лн}$, А	2,0	1,4	1,4	2,0
15	Емкость, мкФ:	-	-	-	-
	релейного конденсатора - C_p ;	-	-	-	2,0
	ограничителя - C_o ;	-	-	-	12
	Компенсирующих конденсаторов - C_k	24	-	-	-

Таблица 6

Характеристики и параметры источника питания

№ п/п	Наименование данных	Тип рельсовой цепи			
		кодовая		фазочувствительная	
		50 Гц	25 Гц	25 Гц	50 Гц
1	Источник питания	ПОБС-3А	ПЧ 50/25-100	ПРТ-А	ПОБС-3А
2	Номинальное напряжение, В	247,5	165	12,0	247,5
3	Номинальный ток, А	1,21	0,606	5,4	1,21
4	Номинальная полная мощность, В.А	300	100	65	300
5	Градации регулировки напряжения, В	5,5	5,0	0,5	5,5
6	Коэффициент отклонения напряжения источника питания от номинального значения - $K_{нс}$	1,1	1,025	1,025	1,1

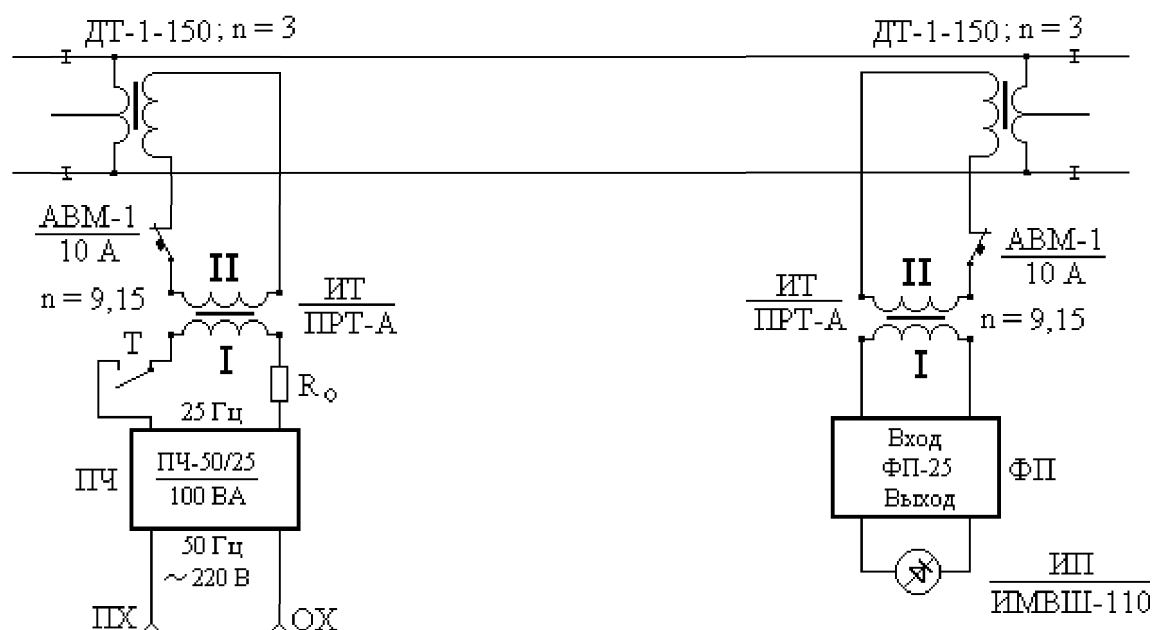


Рис. 1. Кодовая рельсовая цепь переменного тока 25 Гц с двумя ДТ-1-150

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

2.1. Общие сведения по теории рельсовых цепей

Анализ и расчет любых схем р.ц. осуществляется с помощью электрической общей схемы их замещения, состоящей из каскадного соединения ряда четырехполюсников (рис. 5).

Коэффициенты четырехполюсников H и K для каждого конкретного типа р.ц. являются постоянными величинами и не зависят от режимов работы р.ц.

Коэффициенты рельсового четырехполюсника РЛ зависят не только от первичных параметров рельсовой линии, но и от режимов работы р.ц., в зависимости от которых коэффициенты следует обозначать, как:

$A_p = A$; $B_p = B$; $C_p = C$; $D_p = D$ – в нормальном режиме;

$A_p = A_{ш}$; $B_p = B_{ш}$; $C_p = C_{ш}$; $D_p = D_{ш}$ – в шунтовом режиме при произвольном месторасположении нормативного шунта $R_{шн}$;

$A_p = A_{шр}$; $B_p = B_{шр}$; $C_p = C_{шр}$; $D_p = D_{шр}$ – в шунтовом режиме при месторасположении нормативного шунта на релейном конце р.ц.;

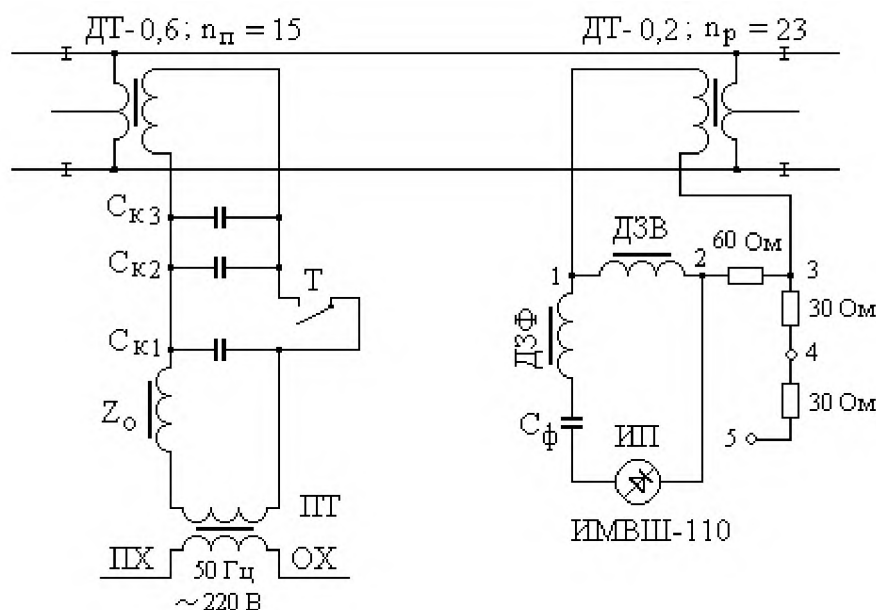


Рис. 2. Кодовая рельсовая цепь переменного тока 50 Гц

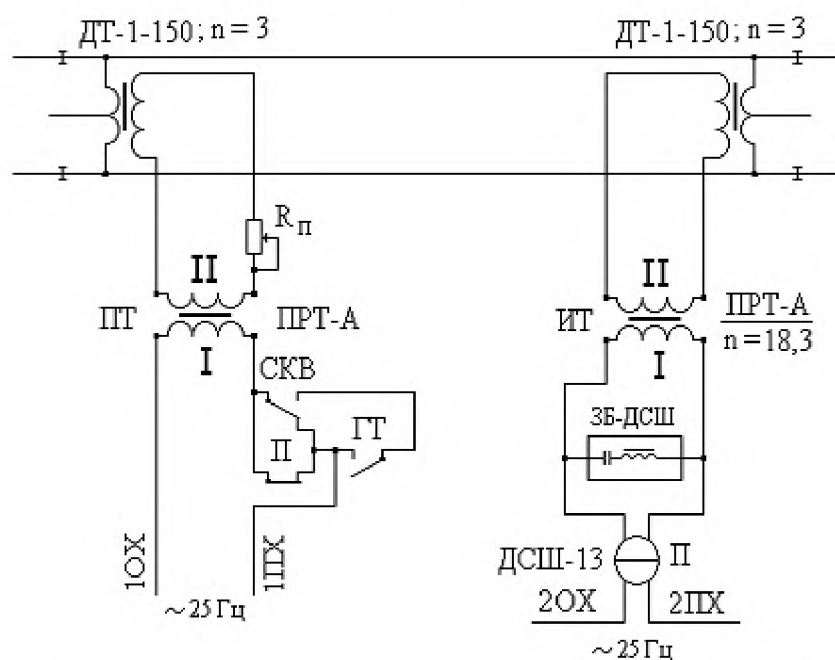


Рис. 3. Фазочувствительная рельсовая цепь переменного тока 25 Гц

$A_p = A_{шп}; B_p = B_{шп}; C_p = C_{шп}; D_p = D_{шп}$ – в шунтовом режиме при месторасположении нормативного шунта на питающем конце р.ц.;

$A_p = A_{кп}; B_p = B_{кп}; C_p = C_{кп}; D_p = D_{кп}$ – в контрольном режиме при расположении места обрыва одной из рельсовых нитей в середине длины р.ц.;

$A_p = A; B_p = B; C_p = C; D_p = D$ – в режиме АЛС при месторасположении нормативного шунта на релейном конце р.ц. коэффициенты четырехполосника РЛ соответствуют нормальному режиму.

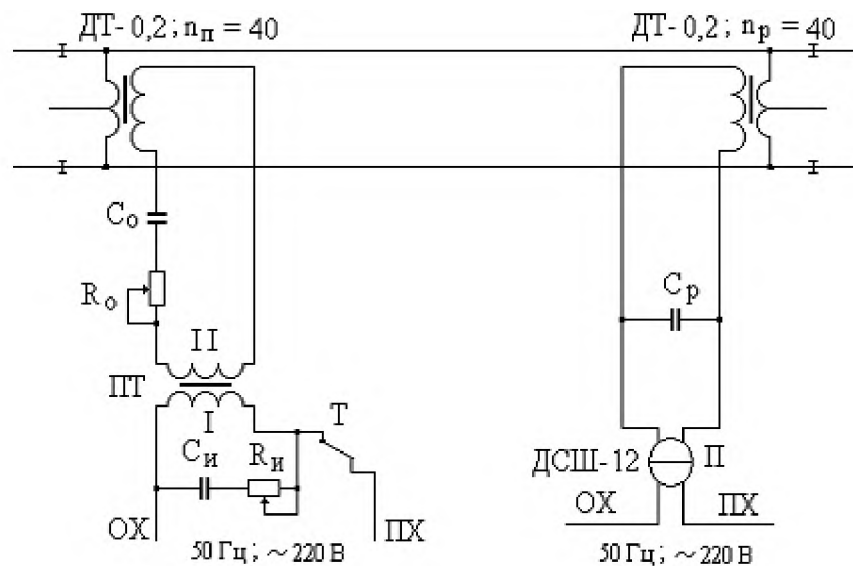


Рис. 4. Фазочувствительная рельсовая цепь переменного тока 50 Гц

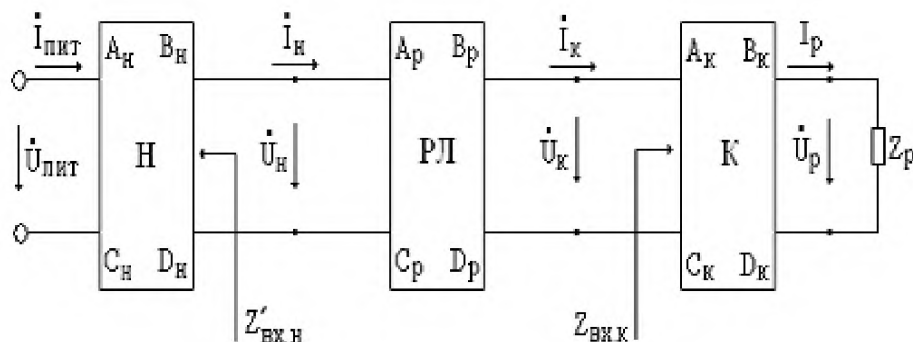


Рис. 5. Общая схема замещения рельсовой цепи

В режиме короткого замыкания рельсовый четырехполосник отсутствует.

Таким образом, общая схема замещения р.ц. в каждом из режимов, кроме режимов АЛС и короткого замыкания, имеет один и тот же вид. Отличие лишь в обозначении коэффициентов рельсового четырехполосника, а также расчетных токов и напряжений путевого реле и источника питания. На рис. 6, 7, 8, 9 и 10

приведены примеры общей схемы замещения р.ц. для каждого из возможных режимов ее работы.

Каждый из четырехполюсников H и K может быть представлен в виде каскадного соединения элементарных четырехполюсников, замещающих отдельные простейшие части электрических схем питающего и релейного концов и представленных на рис. 11. Коэффициент A любого четырехполюсника есть отношение напряжения на его входе к напряжению на выходе в режиме холостого хода, а коэффициент D – отношение входного тока четырехполюсника к выходному току в режиме короткого замыкания. Из рассмотрения схем четырехполюсников, представленных на рис. 11, следует: $A1 = 1$; $D1 = 1$; $A2 = 1$; $D2 = 1$.

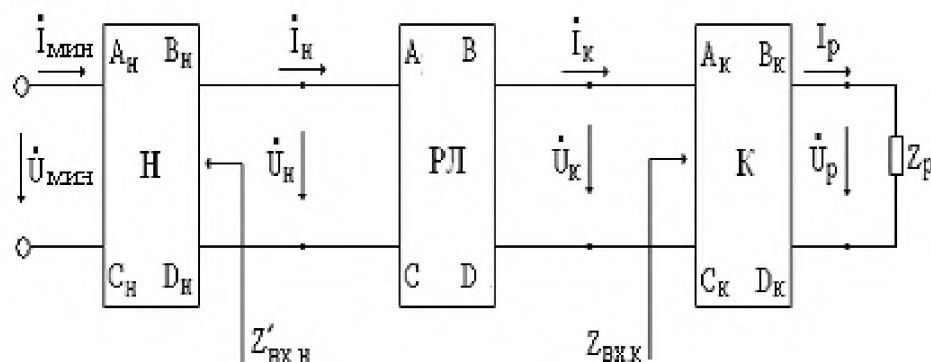


Рис. 6. Общая схема замещения рельсовой цепи в нормальном режиме

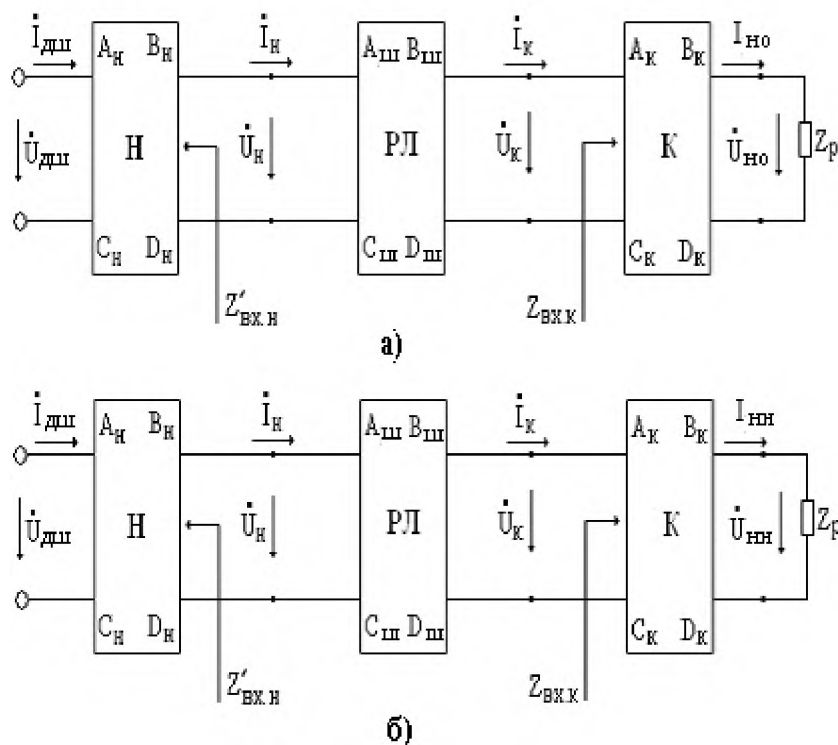


Рис. 7. Общая схема замещения рельсовой цепи в шунтовом режиме

а - фазочувствительной; б - кодовой

Коэффициент B любого четырехполюсника есть сопротивление передачи Z_{Π} по току в режиме короткого замыкания и представляет собой отношение входного напряжения четырехполюсника к его выходному току короткого замыкания. Коэффициент C четырехполюсника имеет размерность проводимости и представляет собой отношение входного тока четырехполюсника в режиме холостого хода к его выходному напряжению.

Для схемы четырехполюсника (рис. 11, а) справедливо: $B1 = Z1$; $C1 = 0$.

Для схемы четырехполюсника (рис. 11, б): $B2 = 0$; $C2 = 1/Z2$.

В общем виде связь напряжения и тока на входе четырехполюсника с током и напряжением на выходе выражается через его коэффициенты в виде следующих соотношений: $U_{\text{вх}} = A \cdot U_{\text{вых}} + B \cdot I_{\text{вых}}$; $I_{\text{вх}} = C \cdot U_{\text{вых}} + D \cdot I_{\text{вых}}$.

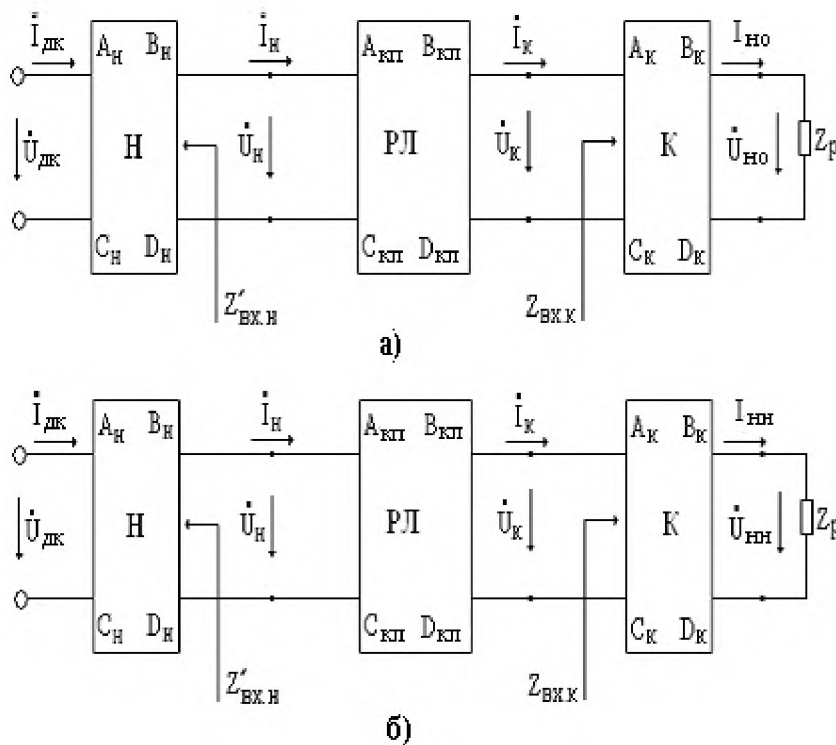


Рис. 8. Общая схема замещения рельсовой цепи в контрольном режиме
а - фазочувствительной; б - кодовой

Следовательно, для простейшего вида четырехполюсников (см. рис. 11) будем иметь следующую систему уравнений:

$$\text{а) } U_1 = U_2 + Z1 \cdot I_2; \quad I_1 = I_2;$$

$$\text{б) } U_1 = U_2; \quad I_1 = U_2/Z2 + I_2.$$

Коэффициенты более сложных по своей структуре четырехполюсников можно определить путем перемножения матриц коэффициентов включенных каскадно элементарных четырехполюсников, из которых состоит сложный

четырёхполюсник, в порядке направления передачи электрической энергии. Так, например, рельсовый четырёхполюсник РЛ в шунтовом режиме в зависимости от местонахождения нормативного поездного шунта (на питающем или релейном концах) можно представить в виде двух каскадно включенных элементарных четырёхполюсника, так, как показано на рис. 12.

В этом случае коэффициенты четырёхполюсника РЛ определяются следующим образом:

а) нормативный шунт $R_{шн}$ находится на питающем конце:

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} A_{шн} & B_{шн} \\ C_{шн} & D_{шн} \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} A2 & B2 \\ C2 & D2 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} A1 & B1 \\ C1 & D1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} (A2 \cdot A1 + B2 \cdot C1) & (A2 \cdot B1 + B2 \cdot D1) \\ (C2 \cdot A1 + D2 \cdot C1) & (C2 \cdot B1 + D2 \cdot D1) \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 1/R_{шн} & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & z \cdot l \\ 0 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & z \cdot l \\ 1/R_{шн} & 1 + z \cdot l / R_{шн} \end{vmatrix}, \end{aligned}$$

следовательно: $A_{шн} = 1$; $B_{шн} = z \cdot l$; $C_{шн} = 1/R_{шн}$; $D_{шн} = 1 + z \cdot l / R_{шн}$.

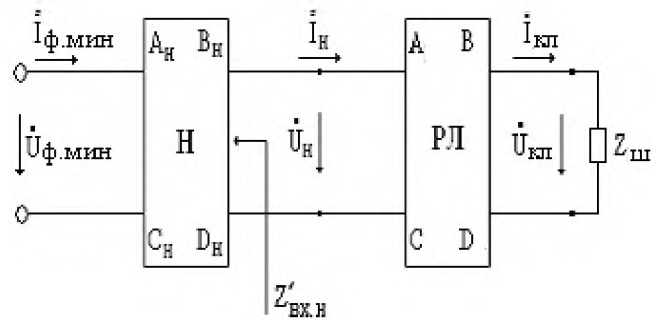


Рис. 9. Общая схема замещения рельсовой цепи в режиме АЛС

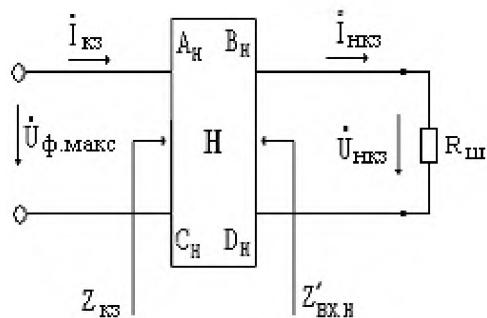


Рис. 10. Общая схема замещения рельсовой цепи в режиме короткого замыкания

б) нормативный шунт $R_{шн}$ находится на релейном конце:

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} A_{up} & B_{up} \\ C_{up} & D_{up} \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} A1 & B1 \\ C1 & D1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} A2 & B2 \\ C2 & D2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} (A1 \bullet A2 + B1 \bullet C2) & (A1 \bullet B2 + B1 \bullet D2) \\ (C1 \bullet A2 + D1 \bullet C2) & (C1 \bullet B2 + D1 \bullet D2) \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} 1 & z \bullet l \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 1/R_{unn} & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 + z \bullet l / R_{unn} & z \bullet l \\ 1/R_{unn} & 1 \end{vmatrix}, \end{aligned}$$

следовательно: $A_{шп} = 1$; $B_{шп} = z \cdot l$; $C_{шп} = 1/R_{шпн}$; $D_{шп} = 1 + z \cdot l/R_{шпн}$.

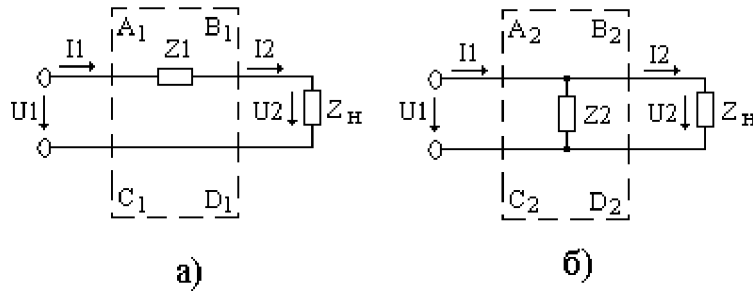


Рис. 11. Схемы элементарных четырехполосников

В рельсовых цепях, применяемых на участках с электротягой, в состав четырехполосников H и K включаются соответственно четырехполосники $ДТ_{п}$ и $ДТ_{р}$, замещающие дроссель-трансформаторы на питающем и релейном концах. Значения коэффициентов четырехполосников для дроссель-трансформаторов различного типа в зависимости от места их установки приведены в табл. 5.

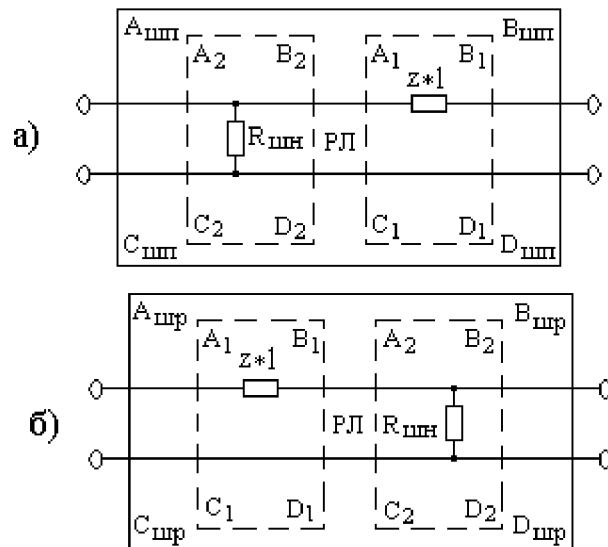


Рис. 12. Схемы рельсового четырехполосника в шунтовом режиме

При выполнении курсовой работы анализ работоспособности рельсовых цепей производится с использованием общей схемы замещения р.ц. (см. рис. 5). На схеме приняты следующие обозначения электрических параметров:

U_p, I_p – соответственно рабочее напряжение и ток путевого реле;

U_k, I_k – соответственно напряжение и ток на выходе рельсового четырехполюсника;

U_n, I_n – соответственно напряжение и ток на входе рельсового четырехполюсника;

$U_{пит}, I_{пит}$ – соответственно напряжение и ток регулируемого источника питания р.ц;

Z_p – сопротивление обмотки путевого реле сигнальному току, Ом;

$Z_{вх.к}$ – прямое входное сопротивление аппаратуры релейного конца (четырёхполюсника К, нагруженного на сопротивление Z_p), Ом;

$Z'_{вх.н}$ – обратное входное сопротивление аппаратуры питающего конца (четырёхполюсника Н, нагруженного на внутреннее сопротивление источника питания $Z_{г}$), Ом.

Примечание. Знак точки (·) над символами напряжений и токов указывает на то, что это комплексные величины, аргумент вектора которых при расчете р.ц. отсчитывается относительно вектора рабочего тока I_p , расположенного на действительной оси. Знак штриха (') над символами переменных указывает на то, что эти величины определяются при обратном направлении электрической энергии.

Расчет рельсовых цепей начинается с определения значений величин, не зависящих от режима работы р.ц., а именно: с расчета коэффициентов четырехполюсников H и K , уточнения первичных параметров и последующего определения вторичных параметров рельсовой линии.

Для расчета коэффициентов необходимо предварительно составить схему замещения аппаратуры питающего и релейного концов в виде каскадного соединения элементарных четырехполюсников и более сложных четырехполюсников, замещающих дроссель-трансформаторы, изолирующие трансформаторы или фильтры, а затем произвести расчет коэффициентов четырехполюсников H и K по изложенной выше методике путем последовательного перемножения матриц коэффициентов составляющих четырехполюсников.

Уточнение первичных параметров рельсовой линии перегонных рельсовых цепей сводится к определению эквивалентного удельного сопротивления изоляции r_z рельсовой линии, учитывающего некоторое снижение сопротивления изоляции из-за подключения к рельсовым нитям заземления напольного оборудования, например, контактных опор на электрофицированных участках. Для определения значения величины r_z используют схему замещения эквивалентного сопротивления изоляции элемента рельсовой линии длиной 1 км., представленную на рис. 13.

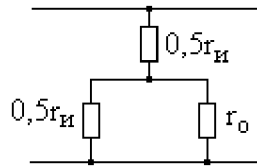


Рис. 13. Схема замещения эквивалентного сопротивления изоляции с учетом заземления контактных опор

На схеме замещения приняты следующие обозначения:

$r_{и}$ – удельное сопротивление изоляции рельсовой линии, Ом·км;

$r_{о}$ – удельное сопротивление заземления, Ом·км.

Из схемы (см. рис. 13) следует:

$$r_{э} = 0,5r_{и} + \frac{0,5r_{и} \bullet r_{о}}{0,5r_{и} + r_{о}}.$$

Для станционных рельсовых цепей принимаем $r_{э} = r_{и}$. При вычислении $r_{э}$ в качестве $r_{и}$ следует брать его минимальное значение $r_{и.мин}$

Зная значения первичных параметров рельсовой линии, определяем значения ее вторичных параметров: $Z_{в}$ - волновое сопротивление рельсовой линии и γ – постоянную распространения электромагнитной волны в рельсовой линии, по следующим формулам:

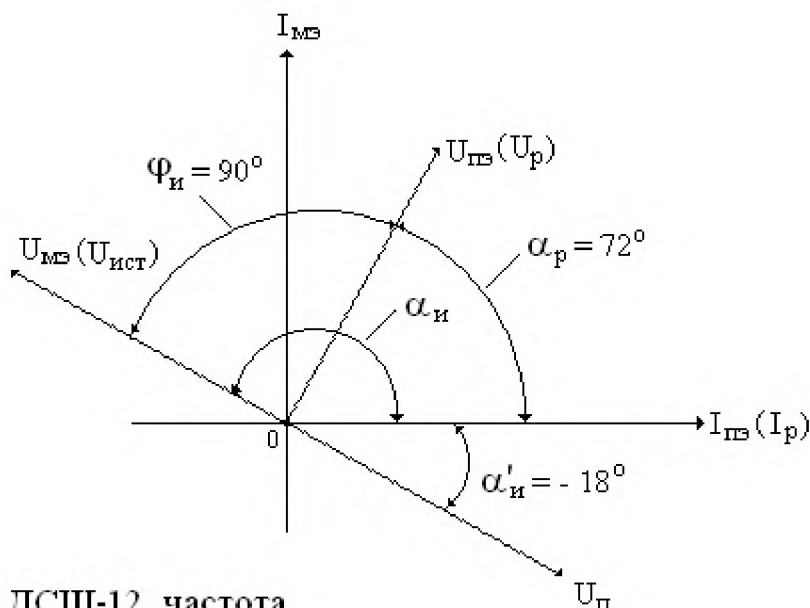
$$Z_{в} = \sqrt{z \bullet r_{э}}; \quad \gamma = \sqrt{\frac{z}{r_{э}}}.$$

При расчете фазочувствительных р.ц. следует учитывать особенность путевых реле типа ДСШ, срабатывание которых зависит не только от напряжения на путевом элементе $U_{пэ}$, но и от угла сдвига фазы его ф относительно опорного напряжения, роль которого выполняет напряжение местного элемента $U_{мэ}$ реле.

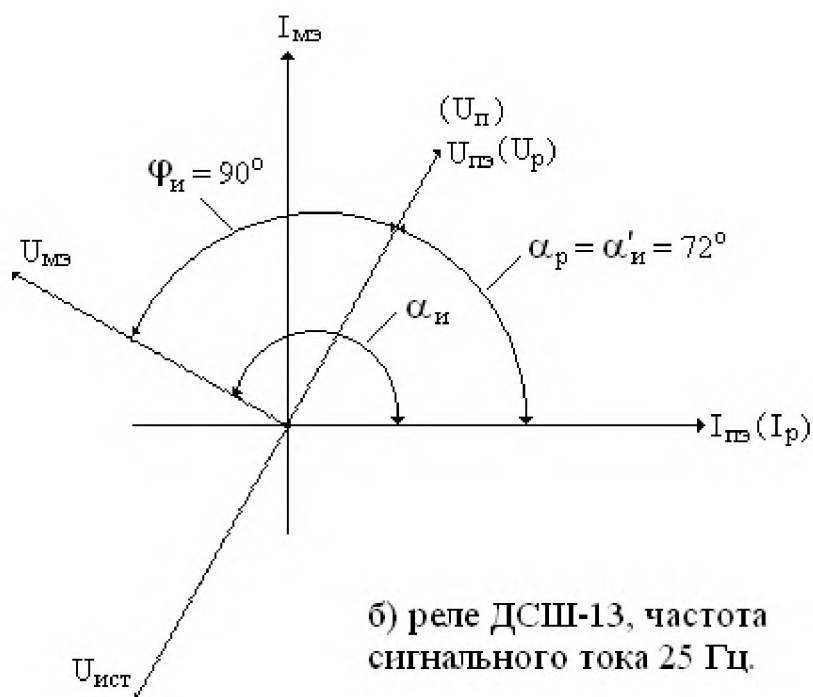
Конструктивно реле ДСШ разработаны таким образом, что действие максимального вращающего момента $M_{вр.макс.}$ на сектор реле при минимальном напряжении путевого элемента имеет место при фазовом соотношении между током путевой обмотки и напряжением местной обмотки, равном $+ 162^{\circ}$. Это фазовое соотношение называется идеальным $\alpha_{и}$ (см. рис. 14).

На рис. 14,а представлена векторная диаграмма фазочувствительного приемника типа ДСШ-12, используемого в рельсовых цепях с непрерывным питанием сигнальным током частотой 50 Гц при электротяге постоянного тока. Особенность питания данных р.ц. заключается в том, что первичная обмотка

питающего трансформатора *ПТ* и местная обмотка реле (см. рис. 4) включаются в одну фазу источника сетевого питания 50 Гц, т.е. $U_{ист} = U_{мэ}$, при этом $\varphi_{ист} = \alpha_{и}$. Так как источником регулируемого напряжения питания р.ц. $U_{п}$ является секционированная вторичная обмотка питающего трансформатора *ПТ*, которая меняет фазу первичного напряжения на 180° , то угол $\varphi_{п} = \varphi_{ист} - 180^\circ = -18^\circ$ будем называть приведенным к источнику питания идеальным фазовым углом $\alpha'_{и}$, при котором угол между вектором напряжения местной обмотки и вектором тока путевой обмотки (тока реле I_p) соответствует идеальному $\alpha_{и} = 180^\circ$.



а) реле ДСШ-12, частота
сигнального тока 50 Гц.



б) реле ДСШ-13, частота
сигнального тока 25 Гц.

Рис. 14. Векторные диаграммы фазочувствительных приемников

На рис. 14,б представлена векторная диаграмма фазочувствительного приемника типа ДСШ-13, используемого в рельсовых цепях с непрерывным питанием сигнальным током частотой 25 Гц при электротяге переменного тока. Особенность питания данных р.ц. заключается в том, что первичная обмотка питающего трансформатора ПТ и местная обмотка реле (см. рис. 3) питаются от разных преобразователей частоты ПЧ50/25, включенных противофазно в сеть промышленной частоты 50 Гц. Схема фазирования выходных цепей преобразователей обеспечивает фазовое соотношение между напряжением местной обмотки $U_{мэ}$ и напряжением первичного источника питания р.ц. $U_{ист}$, равное -90° . Так как регулирование питания данной р.ц. осуществляется посредством коммутации секционированной вторичной обмотки путевого трансформатора ПТ, выходное напряжение которой $U_{п}$ по фазе сдвинуто относительно напряжения первичной обмотки на 180° , то приведенный к источнику питания идеальный фазовый угол $\alpha_{и}'$ равен аргументу вектора комплексного сопротивления Z_p путевой обмотки реле $\alpha_{и}$, равному 72° . Как видим из приведенной векторной диаграммы, в идеальном случае требуемый сдвиг фазы между напряжением питания р.ц. $U_{п}$ и напряжением питания реле U_p равен нулю.

Фактическое приведенное фазовое соотношение $\varphi_{п}$ может отличаться от идеального. Для того, чтобы сохранить номинальный вращающий момент при наличии угла расстройки $\beta = \varphi_{п} - \alpha_{и}'$, необходимо в $1/\cos\beta$ раз увеличить ток (напряжение) путевого элемента. Это напряжение, соответствующее фактическим условиям работы р.ц., называется приведенным и обозначается тем же символом, но с добавлением справа сверху штриха, например, $U_{п}'$.

2.2. Методика расчета нормального режима.

Нормальный (регулируемый) режим р.ц. – это режим ее свободного от подвижного состава состояния. К р.ц. в нормальном режиме предъявляется требование, чтобы при самых неблагоприятных условиях для передачи энергии от источника к приемнику путевое реле надежно удерживало свой якорь притянутым при непрерывном питании или надежно его притягивало в каждом импульсе при кодовом питании ($I_{фн.мин} \geq k_3 \cdot I_{ср} = I_p$). При самых благоприятных условиях для передачи энергии по рельсовой линии в нормальном режиме требуется, чтобы перегрузка путевого реле не превышала допустимого значения ($I_{фн.макс} / I_{ср} = k_{пер.ф} \leq k_{пер}$).

Расчетными величинами нормального режима являются;

- 1) в кодовых рельсовых цепях – минимальное напряжение $U_{мин}$, минимальный ток $I_{мин}$ и минимальная мощность $S_{мин}$ регулируемого источника питания, которые в неблагоприятных условиях передачи энергии обеспечивают уровень сигнала на входе одноэлементного приемника, равный его рабочему току I_p ;

- 2) в фазочувствительных р.ц. – приведенные минимальные значения напряжения $U'_{\text{мин}}$, тока $I'_{\text{мин}}$ и мощности $S'_{\text{мин}}$ на выходе питающего трансформатора ПТ, обеспечивающие на входе путевого элемента двухэлементного приемника при неблагоприятных условиях передачи энергии по рельсовой линии уровень и фазу сигнала, соответствующие его рабочему вращающему моменту;
- 3) коэффициент фактической перегрузки $k_{\text{пер.ф}}$ путевого приемника, определяемый уровнем сигнала на входе одноэлементного приемника при самых благоприятных условиях для передачи энергии по рельсовой линии, или определяемый уровнем и фазой на входе путевого элемента двухэлементного приемника при тех же условиях.

Расчет нормального режима включает в себя следующие этапы:

- 1) расчет коэффициентов рельсового четырехполюсника РЛ;
- 2) расчет сопротивлений по концам рельсовой линии $Z_{\text{вх.к}}$ и $Z'_{\text{вх.н}}$;
- 3) расчет максимального $Z_{\text{пн.макс}}$ и минимального $Z_{\text{пн.мин}}$ сопротивлений передачи;
- 4) вычисление расчетных минимальных значений выходных параметров регулируемого источника питания $U_{\text{мин}}(U'_{\text{мин}})$, $I_{\text{мин}}(I'_{\text{мин}})$;
- 5) вычисление расчетных номинальных значений выходных параметров регулируемого источника питания $U(U')$, $I(I')$;
- 6) расчет фактических значений выходных параметров регулируемого источника питания $U_{\text{ф}}(U_{\text{ф.мин}}, U_{\text{ф.макс}})$, $I_{\text{ф}}(I_{\text{ф.мин}}, I_{\text{ф.макс}})$, а также мощности $S_{\text{ф}}(S_{\text{ф.мин}}, S_{\text{ф.макс}})$;
- 7) расчет коэффициента фактической перегрузки путевого приемника $k_{\text{пер.ф}}$.

Коэффициенты рельсового четырехполюсника в нормальном режиме для однородной рельсовой линии вычисляются по следующим формулам:

$$A = D = ch(\gamma l); \quad B = Z_{\text{в}} \cdot sh(\gamma l), \text{ Ом}; \quad C = sh(\gamma l)/Z_{\text{в}}, \text{ См}.$$

Здесь: l – длина рельсовой линии, км.

Входные сопротивления по концам могут замещать аппаратуру питающего и релейного концов в основной схеме замещения р.ц., как показано на рис. 15.

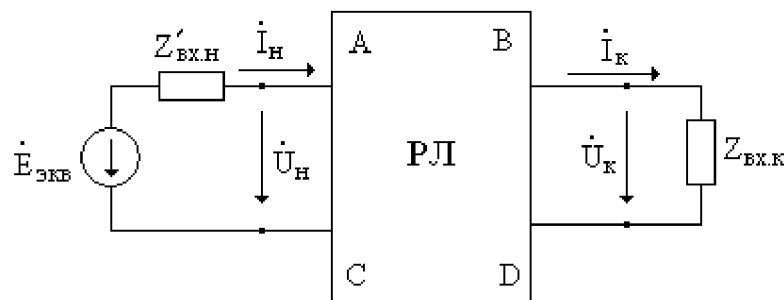


Рис. 15. Основная схема замещения рельсовой цепи в нормальном режиме

Расчетные формулы имеют следующий вид:

$$\dot{E}_{э\kappa\beta} = \dot{U}_n / A_n; \quad Z_{\text{вх.к}} = \dot{U}_\kappa / \dot{I}_\kappa = (A_\kappa \cdot \dot{U}_p + B_\kappa \cdot I_p) / (C_\kappa \cdot \dot{U}_p + D_\kappa \cdot I_p) = \\ = (A_\kappa \cdot Z_p + B_\kappa) / (C_\kappa \cdot Z_p + D_\kappa); \quad Z'_{\text{вх.н}} = B_n / A_n.$$

Сопротивление передачи р.ц. – есть отношение напряжения источника питания (на входе р.ц.) к току путевого реле (на выходе р.ц.) и характеризует условия передачи энергии по рельсовой линии при постоянных значениях сопротивлений по ее концам. Очевидно, что $Z_{\text{пн.макс}}$ соответствует наихудшим, а $Z_{\text{пн.мин}}$ – наилучшим условиям передачи энергии в нормальном режиме.

$$Z_{\text{пн.макс}} = k'_{\text{тн}} \cdot k_{\text{тк}} \cdot [A \cdot Z_{\text{вх.к}} + B + (C \cdot Z_{\text{вх.к}} + D) \cdot Z'_{\text{вх.н}}].$$

Здесь: $k_{\text{тк}} = I_\kappa / I_p = C_\kappa \cdot Z_p + D_\kappa$ – коэффициент снижения тока на релейном конце; $k'_{\text{тн}} = I_n / I_\Pi = A_n$ – обратный коэффициент снижения тока на питающем конце.

При наилучших условиях передачи энергии рельсовый четырехполюсник представляет собой элементарный четырехполюсник (см. рис. 11,а), коэффициенты четырехполюсника которого равны: $A = 1$; $B = z \cdot l$; $C = 0$; $D = 1$. Следовательно, формула для вычисления минимального сопротивления передачи в нормальном режиме после подстановки значений коэффициентов рельсового четырехполюсника примет вид:

$$Z_{\text{пн.мин}} = k'_{\text{тн}} \cdot k_{\text{тк}} \cdot [1 \cdot Z_{\text{вх.к}} + z \cdot l + (0 \cdot Z_{\text{вх.к}} + 1) \cdot Z'_{\text{вх.н}}] = k'_{\text{тн}} \cdot k_{\text{тк}} \cdot (Z_{\text{вх.к}} + z \cdot l + Z'_{\text{вх.н}}).$$

Минимальное расчетное напряжение регулируемого источника питания р.ц. определяем по формуле:

$$\dot{U}_{\text{мин}} = U_{\text{мин}} \cdot e^{j\varphi_u} = I_p \cdot Z_{\text{пн.макс}}.$$

При расчете фазочувствительной р.ц. необходимо учесть угол фазовой расстройки β : $\beta = \varphi_u - \alpha'_n$, чтобы определить приведенное значение минимального напряжения источника питания $U'_{\text{мин}}$:

$$\dot{U}'_{\text{мин}} = \dot{U} / \cos \beta.$$

Минимальный расчетный ток источника питания определяется последовательным вычислением по направлению к питающему концу входных токов и напряжений отдельных четырехполюсников общей схемы замещения р.ц. в нормальном режиме:

$$\dot{I}_\kappa = C_\kappa \cdot \dot{U}_p + D_\kappa \cdot I_p; \quad \dot{U}_\kappa = A_\kappa \cdot \dot{U}_p + B_\kappa \cdot I_p;$$

$$I_n = C \cdot \dot{U}_\kappa + D \cdot \dot{I}_\kappa; \quad \dot{U}_n = A \cdot \dot{U}_\kappa + B \cdot \dot{I}_\kappa;$$

$$\dot{I}_{мин} = C_n \cdot \dot{U}_n + D_n \cdot \dot{I}_n, \text{ для фазочувствительных р.ц.: } \dot{I}_{мин} = \dot{I}_{мин} / \cos \beta.$$

При определении расчетных номинальных значений напряжения и тока источника питания учитывают коэффициент отклонения напряжения источника питания $k_{нс}$ от номинального значения:

$$\dot{U} = \dot{U}_{мин} \cdot k_{нс}; \quad \dot{I} = \dot{I}_{мин} \cdot k_{нс}.$$

Для фазочувствительных рельсовых цепей аналогичным образом определяются расчетные приведенные номинальные значения напряжения U' и тока I' .

Полученное расчетом номинальное напряжение $U(U')$ необходимо теперь установить на зажимах путевого трансформатора ПТ типа ПОБС-3 или преобразователя частоты (ПЧ50/25-100, ПЧ50/25-150). При этом необходимо учитывать, что напряжение на них можно изменять только ступенями через 5 или 5,5В в зависимости от типа источника питания. Поэтому для установки требуемого напряжения необходимо выбрать ближайшую большую ступень, которой будет соответствовать фактическое номинальное напряжение U_ϕ . Однако, в этом случае U_ϕ и, соответственно, фактический ток I_ϕ будут несколько больше расчетных U и I . Зная относительное увеличение $k_{тр}$ фактического напряжения можно определить значение I_ϕ : $k_{тр} = U_\phi / U$; $I_\phi = k_{тр} \cdot I$.

Зная фактические значения номинального напряжения, установленного на источнике питания, определяем возможные минимальные и максимальные значения электрических параметров последнего:

$$\dot{U}_{\phi.мин} = \dot{U}_\phi / k_{нс}; \quad \dot{U}_{\phi.макс} = \dot{U}_\phi \cdot k_{нс}; \quad S_\phi = \dot{U}_\phi \cdot \dot{I}_\phi^*;$$

$$\dot{I}_{\phi.мин} = \dot{I}_\phi / k_{нс}; \quad \dot{I}_{\phi.макс} = \dot{I}_\phi \cdot k_{нс}; \quad S_{\phi.мин} = S_\phi / k_{нс}^2; \quad S_{\phi.макс} = S_\phi \cdot k_{нс}^2.$$

Фактические номинальные ток I_ϕ , напряжение U_ϕ и мощность S_ϕ должны сравниваться с паспортными (справочными) данными источника питания. Если фактические значения окажутся выше паспортных, следует принять меры по увеличению мощности источника питания.

Для удовлетворения требований нормального режима необходимо также, чтобы коэффициент фактической перегрузки путевого приемника $k_{пер.ф}$ не превышал его допустимого паспортного значения $k_{пер.д}$. Для путевых приемников типа ИМВШ-110, ДСШ-12 и ДСШ-13 он принимается равным 3,5.

Для одноэлементных приемников справедливы следующие соотношения:

$$K_{пер.ф} = \frac{I_{фн.макс}}{I_{ср}} = K_з \cdot I_{фн.макс} / I_p = K_з \frac{I_{фн.макс} \cdot Z_{пн.макс}}{U_{мин}} = K_з \cdot K_u \cdot K_{тр} \frac{I_{фн.макс} \cdot Z_{пн.макс}}{U_{ф.макс}} =$$

$$= K_з \cdot K_u \cdot K_{тр} \frac{Z_{пн.макс}}{Z_{пн.мин}}.$$

В данном выражении K_u есть коэффициент неустойчивости источника питания р.ц., который равен отношению максимального значения фактического напряжения источника питания $U_{ф.макс}$ к минимальному значению $U_{ф.мин}$:

$$K_u = U_{ф.макс} / U_{ф.мин} = K_{нс}^2.$$

Для фазочувствительных приемников необходимо учесть фазовые соотношения, исходя из следующих соображений. Чем больше угол расстройки при наихудших условиях распространения энергии β_1 , тем больше должен устанавливаться приведенный минимальный ток путевого элемента для компенсации фазовой расстройки, что эквивалентно соответствующему увеличению сопротивления $Z_{пн.макс}$ при делении его на $\cos\beta_1$, где β_1 – есть аргумент комплексной величины $Z_{пн.макс}$. И, наоборот, увеличение угла расстройки при наилучших условиях распространения энергии β_2 равносильно уменьшению тока $I_{фн.макс}$ при умножении его на $\cos\beta_2$, где β_2 – есть аргумент комплексного числа $Z_{пн.мин}$. Следовательно, формула для определения коэффициента фактической перегрузки двухэлементных путевых приемников с учетом фактических фазовых соотношений примет следующий вид:

$$K_{пер.ф} = K_з \cdot K_u \cdot K_{тр} \frac{Z_{пн.макс}}{Z_{пн.мин}} \cdot \frac{\cos\beta_2}{\cos\beta_1}.$$

При вычислении функций гиперболических синуса и косинуса от комплексного переменного их представляют в виде комбинации круговых и гиперболических функций от вещественных переменных, например:

$$\operatorname{ch} \gamma l = \operatorname{ch}(\alpha l + \beta l) = \operatorname{ch} \alpha l \cdot \cos \beta l + j \operatorname{sh} \alpha l \cdot \sin \beta l = C_1 + j C_2 = C e^{j\varphi_c};$$

$$\operatorname{sh} \gamma l = \operatorname{sh}(\alpha l + \beta l) = \operatorname{sh} \alpha l \cdot \cos \beta l + j \operatorname{ch} \alpha l \cdot \sin \beta l = S_1 + j S_2 = S e^{j\varphi_s}.$$

Здесь: l – длина р.ц., км;

γ – постоянная распространения электромагнитной волны, 1/км;

α – километрический коэффициент затухания;

β – километрический коэффициент фазы.

2.3. Методика расчета шунтового режима.

Шунтовой режим (ш.р.) – это состояние р.ц., занятой подвижным составом. В шунтовом режиме к р.ц. предъявляется требование, чтобы при самых благоприятных условиях распространения энергии (неблагоприятные условия для ш.р.) наличие хотя бы одной колесной пары подвижного состава в пределах

р.ц. приводило к надежному отпаданию сектора фазочувствительного путевого реле в случае непрерывного питания ($I_{\text{фш.макс}} \leq I_{\text{но}}$) или надежному непритяжению якоря одноэлементного путевого реле ($I_{\text{фш.макс}} \leq I_{\text{нн}}$) в случае кодового (импульсного) питания р.ц.

В качестве нормативного сопротивления поездного шунта принимается сопротивление $R_{\text{шн}}$, равное 0,06 Ом для всех р.ц. магистрального транспорта.

Работоспособность р.ц. в ш.р. можно оценить по одному из двух расчетных критериев: коэффициенту чувствительности р.ц. к нормативному шунту $K_{\text{шн}}$ или абсолютной шунтовой чувствительности $R_{\text{ш}}$.

Коэффициент $K_{\text{шн}}$ - это есть отношение тока (напряжения) надежного отпадания $I_{\text{но}}$ (для станционных р.ц. с непрерывным питанием) или непритяжения $I_{\text{нн}}$ (для перегонных р.ц. с кодовым питанием) якоря (сектора) путевого реле к максимально возможному при неблагоприятных для ш. р. условиях фактическому току, протекающему через обмотку путевого реле, (напряжению) при наложении нормативного шунта в месте минимальной шунтовой чувствительности.

Местом минимальной шунтовой чувствительности является местоположение нормативного шунта в пределах р.ц., при котором через обмотку путевого реле протекает максимальный ток. При положительных аргументах комплексных сопротивлений по концам рельсовой линии $Z_{\text{вх.к}}$ и $Z'_{\text{вх.н}}$ местом минимальной шунтовой чувствительности является тот конец р.ц., сопротивление которого больше.

Абсолютная шунтовая чувствительность $R_{\text{ш}}$ представляет собой наибольшее сопротивление условного шунта, при наложении которого на р.ц. в месте минимальной шунтовой чувствительности обеспечивается надежное отпадание (непритяжение) сектора(якоря) путевого реле при наилучших условиях распространения энергии вдоль рельсовой линии.

Требования шунтового режима выполняются, если $K_{\text{шн}} \geq 1$ или $R_{\text{ш}} \geq R_{\text{шн}}$.

Учитывая, что р.ц. обладает свойством линейности, коэффициент $K_{\text{шн}}$ можно определить по отношению максимально допустимого по условиям выполнения шунтового режима напряжения источника питания $U_{\text{дш.макс}}$ к максимальному фактическому напряжению источника питания $U_{\text{ф.макс}}$, выбранного по условиям выполнения нормального режима.

$$K_{\text{шн}} = \left| \frac{I_{\text{нн}}}{I_{\text{фш.макс}}} \right| = \frac{K_{\text{вн}} \cdot I_{\text{р}}}{I_{\text{фш.макс}}} = K_{\text{вн}} \cdot I_{\text{р}} \left| \frac{Z_{\text{шн.мин}}}{U_{\text{ф.макс}}} \right| = \left| \frac{\dot{U}_{\text{дш.макс}}}{\dot{U}_{\text{ф.макс}}} \right|.$$

Здесь: $K_{\text{вн}}$ – коэффициент надежного возврата путевого реле;

$I_{\text{р}}$ – паспортное значение рабочего тока путевого реле, А;

$Z_{\text{шн.мин}}$ – минимальное значение комплексного сопротивления передачи в ш.р. при наихудших условиях работы р.ц.

Если числитель и знаменатель полученного выше выражения поделить на коэффициент неустойчивости источника питания $K_{и}$, то получим другой наиболее употребительный на практике вид формулы для вычисления коэффициента $K_{шн}$:

$$K_{шн} = \frac{K_{вн} \cdot I_p}{K_{и}} \left| \frac{Z_{ши.мин}}{U_{ф.мин}} \right| = K_{вн}' \cdot I_p \left| \frac{Z_{ши.мин}}{\dot{U}_{ф.мин}} \right| = \left| \frac{\dot{U}_{дш.мин}}{\dot{U}_{ф.мин}} \right|.$$

Здесь: $U_{дш.мин}$ — максимально допустимое по условиям выполнения шунтового режима значение минимального напряжения источника питания.

При расчете шунтового режима фазочувствительных станционных р.ц. с непрерывным питанием необходимо учитывать наличие угла расстройки фазы $\beta_{ши}$, равного разности между аргументом $\varphi_{ши.мин}$ комплексной величины $Z_{ши.мин}$ и приведенным к источнику питания идеальным фазовым углом $\alpha'_{и}$. При увеличении угла $\beta_{ши}$ улучшаются условия работы р.ц. в ш.р., что равносильно увеличению сопротивления передачи $Z_{ши.мин}$ в $(1/\cos \beta_{ши})$ раз и что необходимо учитывать соответствующим образом при расчете коэффициента $K_{шн}$:

$$K_{шн} = \frac{K_{вн} \cdot I_p}{K_{и}} \left| \frac{Z_{ши.мин}}{U_{ф.мин} \cdot \cos \beta_{ши}} \right| = K_{вн}' \cdot I_p \left| \frac{Z_{ши.мин}}{\dot{U}_{ф.мин} \cdot \cos \beta_{ши}} \right| = \left| \frac{\dot{U}_{дш.мин}}{\dot{U}_{ф.мин} \cdot \cos \beta_{ши}} \right|.$$

При этом необходимо иметь в виду, что произведение $(K_{вн} \cdot I_p)$ в случае использования фазочувствительных р.ц. равно току надежного отпадения $I_{но}$, в отличие от кодовых р.ц., где это произведение равно току надежного неприятия $I_{нп}$.

Расчет шунтового режима производится для двух вариантов наложения нормативного поездного шунта: на питающем и на релейном концах, и для каждого из вариантов включает в себя следующие этапы:

- 1) расчет коэффициентов рельсового четырехполюсника $РЛ$;
- 2) расчет минимального $Z_{ши.мин}$ сопротивлений передачи;
- 3) вычисление расчетного минимального напряжения источника питания $U_{дш.мин}$ по условиям выполнения шунтового режима;
- 4) вычисление коэффициента чувствительности к нормативному шунту $K_{шн}$;

Примеры вычисления коэффициентов рельсового четырехполюсника в ш.р. при нахождении нормативного шунта на релейном и питающем концах даны выше при рассмотрении рис. 12.

Формулы для определения минимального сопротивления передачи имеют следующий вид:

- а) нормативный шунт находится на питающем конце р.ц.:

$$Z_{ши.мин} = K_{тн}' \cdot K_{тк} [A_{ит} \cdot Z_{эк.к} + B_{ит} + (C_{ит} \cdot Z_{эк.к} + D_{ит}) \cdot Z_{эк.н}'];$$

б) нормативный шунт находится на релейном конце р.ц.:

$$Z_{нир.мин} = K'_{тн} \bullet K_{тк} [A_{ир} \bullet Z_{вх.к} + B_{ир} + (C_{ир} \bullet Z_{вх.к} + D_{ир}) \bullet Z'_{вх.н}].$$

Расчет допустимого по условиям выполнения шунтового режима верхнего предела минимального напряжения источника питания р.ц. производится на основе рассмотренных выше формул:

а) при наложении нормативного шунта на питающий конец р.ц.:

$$\dot{U}_{дип.мин} = K'_{ен} \bullet I_p \bullet Z_{пит.мин};$$

б) при наложении нормативного шунта на релейный конец р.ц.:

$$\dot{U}_{дир.мин} = K'_{ен} \bullet I_p \bullet Z_{нир.мин}.$$

Аналогично для двух положений нормативного шунта определяются коэффициенты $K_{шн}$:

а) для перегонных кодовых р.ц.:

$$K_{шнт} = \left| \frac{\dot{U}_{дип.мин}}{\dot{U}_{ф.мин}} \right|; \quad K_{шнр} = \left| \frac{\dot{U}_{дир.мин}}{\dot{U}_{ф.мин}} \right|.$$

б) для стационарных фазочувствительных р.ц.:

$$K_{шнт} = \left| \frac{\dot{U}_{дип.мин}}{\dot{U}_{ф.мин} \bullet \cos \beta_{пит}} \right|; \quad K_{шнр} = \left| \frac{\dot{U}_{дир.мин}}{\dot{U}_{ф.мин} \bullet \cos \beta_{нир}} \right|.$$

2.4. Методика расчета контрольного режима.

Контрольный режим (к.р.) – есть состояние р.ц. при нарушении целостности (изломе) одной из рельсовых нитей. К р.ц. в этом режиме предъявляется требование, чтобы при самых благоприятных условиях распространения энергии в линии (неблагоприятных условиях для контроля наличия поврежденного рельса) путевое реле надежно опускало свой сектор ($I_{фк.макс} \leq I_{но}$) при непрерывном питании или надежно не притягивало свой якорь ($I_{фк.макс} \leq I_{нн}$) при кодовом питании.

Критерием выполнения контрольного режима является коэффициент чувствительности р.ц. к повреждению рельса $K_{кп}$, формула для вычисления которого выводится аналогично формуле для вычисления коэффициента $K_{шн}$:

$$K_{кп} = \left| \frac{\dot{U}_{дк.мин}}{\dot{U}_{ф.мин}} \right|; \text{ или } K_{кп} = \left| \frac{\dot{U}_{дк.мин}}{\dot{U}_{ф.мин} \cdot \cos \beta_{пк}} \right|.$$

Здесь: $U_{дк.мин} = K_{вн}' \cdot I_p \cdot Z_{пк.мин}$ – расчетное максимально допустимое по условиям выполнения к.р. значение минимального напряжения источника питания при обрыве рельсовой нити в критическом месте. Критическим местом обрыва симметричной рельсовой линии при критическом сопротивлении изоляции является ее середина. Сопротивление изоляции, при котором сопротивление передачи $Z_{пк}$ р.ц. произвольной длины минимально в случае обрыва рельсовой нити, называется критическим сопротивлением изоляции $\Gamma_{и.кр}$ рельсовой линии данной длины. При расчетах р.ц. обычно вместо $\Gamma_{и.кр}$ задается критический коэффициент распространения электромагнитной волны в виде произведения $(\gamma l)_{кр} = \gamma_{кр} \cdot l$.

При расчете к.р. фазочувствительных р.ц. учитывается угол расстройки фазы $\beta_{пк}$, равный разности аргумента $\varphi_{пк.мин}$ комплексной величины $Z_{пк.мин}$ и приведенного идеального фазового угла $\alpha'_и$.

Рельсовая цепь удовлетворяет требованиям к.р., если при самых неблагоприятных условиях работы р.ц. в этом режиме коэффициент $K_{кп} \geq 1$.

Расчет контрольного режима при обрыве рельсовой нити в середине длины р.ц. включает в себя следующие этапы:

- 1) расчет коэффициентов рельсового четырехполюсника PL ;
- 2) расчет минимального $Z_{пк.мин}$ сопротивления передачи при критическом сопротивлении изоляции $\Gamma_{и.кр}$;
- 3) вычисление расчетного минимального напряжения источника питания $U_{дк.мин}$ по условиям выполнения контрольного режима;
- 4) вычисление коэффициента чувствительности к повреждению рельсовой нити $K_{шн}$.

Коэффициенты симметричного рельсового четырехполюсника в контрольном режиме для цепей переменного тока определяются из следующих выражений:

$$\begin{aligned} A_{кп} &= D_{кп} = ch(\gamma l)_{кр} + E \sqrt{(1+2m)} sh(\gamma l)_{кр}; \\ B_{кп} &= [zl/(\gamma l)_{кр}] \cdot \{sh(\gamma l)_{кр} + E \sqrt{(1+2m)} \cdot [ch(\gamma l)_{кр} + 1]\}; \\ C_{кп} &= [(\gamma l)_{кр}/zl] \cdot \{sh(\gamma l)_{кр} + E \sqrt{(1+2m)} \cdot [ch(\gamma l)_{кр} - 1]\}. \end{aligned}$$

Здесь: $E = \sqrt{\left(1 + \frac{4j\omega M}{z}\right)}$ – постоянный коэффициент, зависящий от частоты сигнального тока р.ц.;

M – удельная взаимная индуктивность рельсовых нитей;

m – коэффициент поверхностной утечки, учитывающий утечку сигнального тока через верхний слой балласта и шпалы.

Необходимо также иметь в виду, что отношение в квадратных скобках $[zl/(\gamma l)_{кр}]$ – есть ничто иное, как волновое сопротивление рельсовой линии при критическом сопротивлении изоляции.

Минимальное сопротивление передачи общей схемы замещения р.ц. в контрольном режиме (см. рис. 8) для цепей переменного тока определяется по формуле:

$$Z_{пк.мин} = K_{тн}^{\prime} \cdot K_{тк} [A_{кп} \cdot Z_{вх.к} + B_{кп} + (C_{кп} \cdot Z_{вх.к} + D_{кп}) \cdot Z_{вх.н}^{\prime}].$$

Вычисление расчетного минимального напряжения источника питания $U_{дк.мин}$ по условиям выполнения контрольного режима и коэффициента чувствительности к повреждению рельсовой нити $K_{шн}$ для цепей переменного тока с кодовым питанием и цепей с фазочувствительным приемником определяются по соответствующим рассмотренным выше формулам.

2.4. Методика расчета режима АЛСН.

Режим АЛСН соответствует состоянию исправной р.ц., когда при вступлении на ее входной конец подвижной единицы, оборудованной локомотивными устройствами АЛСН, в рельсах под приемными катушками локомотива протекает кодовый ток, достаточный для надежной работы локомотивного приемника АЛСН при самых неблагоприятных условиях распространения энергии.

Критерием режима АЛСН является коэффициент тока АЛСН $K_{л}$, который есть отношение минимального фактического тока в рельсах под приемными катушками $I_{л.мин}$ при вступлении локомотива на входной конец р.ц. к нормативному току АЛСН $I_{лн}$.

Для удовлетворения требований режима АЛСН необходимо, чтобы при самых неблагоприятных условиях работы р.ц. выполнялось следующее условие:

$$K_{л} = I_{л.мин} / I_{лн} \geq 1.$$

При расчете режима АЛСН используется общая схема замещения р.ц., представленная на рис. 9, где $Z_{ш}$ – есть сопротивление нагрузки рельсовой линии при наложении нормативного поездного шунта $R_{шн}$ на релейный конец:

$$Z_{ш} = \frac{Z_{вх.к} \cdot R_{шн}}{Z_{вх.к} + R_{шн}}.$$

Так как сопротивление $Z_{ш}$ меньше $R_{шн}$, то его значение с целью упрощения расчетов можно приравнять к нулю.

Расчет режима АЛСН включает в себя следующие этапы:

- 1) расчет максимального $Z_{пл.макс}$ сопротивления передачи р.ц. при нахождении нормативного поездного шунта на релейном конце р.ц.;

- 2) вычисление фактического минимального тока АЛСН $I_{л.мин}$ при самых неблагоприятных условиях распространения энергии по рельсовой линии;
- 3) вычисление коэффициента тока АЛСН $K_{л}$.

При расчете режима АЛСН значения коэффициентов рельсового четырехполюсника $РЛ$ соответствуют значениям коэффициентов $РЛ$ в нормальном режиме, поэтому выражение для определения сопротивления передачи $Z_{пл.макс}$ можно представить в следующем виде:

$$Z_{пл.макс} = K'_{тн} \cdot K_{тк} [A \cdot Z_{ш} + B + (C \cdot Z_{ш} + D) \cdot Z'_{вх.н}].$$

Так как ток на выходе рельсового четырехполюсника $I_{кл}$ равен току нагрузки $I_{л.мин}$, то коэффициент снижения тока на релейном конце $K_{тк}$ принимаем равным единице. С учетом того, что $Z_{ш} \sim 0$, формулу для вычисления $Z_{пл.макс}$ можно преобразовать к более простому виду:

$$Z_{пл.макс} = K'_{тн} \cdot (B + D \cdot Z'_{вх.н}).$$

Зная сопротивление передачи в режиме АЛСН, можно определить минимальный ток АЛСН под приемными катушками:

$$I_{л.мин} = \left| \frac{\dot{U}_{ф.мин}}{Z_{пл.макс}} \right|.$$

Коэффициент тока АЛСН $K_{л}$ определяем по рассмотренной выше формуле относительно известного для заданной р.ц. нормативного значения тока $I_{лн}$.

2.4. Методика расчета режима короткого замыкания (режима КЗ).

Режим КЗ – это поверочный режим работы р.ц., при котором проверяется соответствие фактической нагрузки источника питания по току и мощности нормируемым значениям при нахождении поездного шунта с минимальным (нулевым) значением его сопротивления на питающем конце р.ц.

Таким образом, критерием режима $КЗ$ являются ток $I_{кз}$ и мощность $S_{кз}$ источника питания, которые при самых неблагоприятных условиях его работы в режиме $КЗ$ не должны превышать допускаемых паспортных значений тока $I_{п}$ и мощности $S_{п}$ заданного источника питания.

При расчете режима $КЗ$ следует использовать общую схему замещения р.ц., представленную на рис. 10.

Расчет режима $КЗ$ включает в себя следующие этапы:

- 1) вычисление фактических максимальных значений тока $I_{кз}$ и мощности $S_{кз}$ при самых неблагоприятных условиях работы источника питания;

- 2) производится сравнение расчетных данных с паспортными данными заданного источника питания.

Следует иметь в виду, что в кодовых р.ц. переменного тока частотой 50 Гц мощность путевого трансформатора типа *ПОБС* в режиме *КЗ* допускается до 500 В•А, что обуславливается достаточным охлаждением его обмоток за время интервалов кодовых сигналов.

Формула для вычисления тока $I_{\text{КЗ}}$ имеет вид:

$$I_{\text{КЗ}} = \frac{\dot{U}_{\text{ф.макс}}}{Z_{\text{КЗ}}},$$

где $Z_{\text{КЗ}}$ – входное сопротивление четырехполюсника H при закороченном его выходе:

$$Z_{\text{КЗ}} = \frac{\dot{U}_{\text{ф.макс}}}{\dot{I}_{\text{КЗ}}} = \frac{A_{\text{H}} \cdot \dot{U}_{\text{H.КЗ}} + B_{\text{H}} \cdot \dot{I}_{\text{H.КЗ}}}{C_{\text{H}} \cdot \dot{U}_{\text{H.КЗ}} + D_{\text{H}} \cdot \dot{I}_{\text{H.КЗ}}}.$$

Так как при коротком замыкании выходных клемм четырехполюсника H напряжение $U_{\text{H.КЗ}}$ равно нулю, то формула для определения сопротивления $Z_{\text{КЗ}}$ преобразуется к более простому виду:

$$Z_{\text{КЗ}} = B_{\text{H}} / D_{\text{H}}.$$

Вычислив по приведенной выше формуле значение тока $I_{\text{КЗ}}$, определяем далее полную мощность, потребляемую источником питания в режиме *КЗ*:

$$S_{\text{КЗ}} = \dot{U}_{\text{ф.макс}} \cdot \dot{I}_{\text{КЗ}}^* = \dot{U}_{\text{ф.макс}} \cdot \left| \dot{I}_{\text{КЗ}} \right| \cdot \exp(-\varphi_{\text{КЗ}}).$$

Здесь: $\dot{I}_{\text{КЗ}}^*$ – сопряженный комплекс тока $\dot{I}_{\text{КЗ}}$;

$\varphi_{\text{КЗ}}$ – аргумент комплекса тока $\dot{I}_{\text{КЗ}}$.

2.5. Методика расчета р.ц. с использованием компьютерной программы.

Для выполнения расчета необходимо открыть компьютерную программу *rs.vi*, в результате чего на экране появится окно с несколькими вкладками: входные данные, схема замещения, нормальный, шунтовой, контрольный, АЛС и короткого замыкания (рис. 16). Первые две вкладки (окна программы) предназначены для ввода исходных данных (параметров, схем замещения и т.п.), а остальные – для отображения результатов расчета программы по каждому из режимов работы заданной р.ц.

Начало работы программы осуществляется с нажатием кнопки «Run Continuously»  и выбора вкладки «Входные данные». В этом окне необходимо указать данные пользователя, с обязательным введением шифра, тип

р.ц., расчет которой будет производиться, оборудование р.ц. и параметры линии и оборудования р.ц.

rs d.vi

File Edit Operate Tools Browse Window Help

Входные данные | Схема замещения | Нормальный | Шунтовой | Контрольный | АЛС | Короткого замыкания

Расчет рельсовой цепи

Фамилия И.О. Шифр:

Выберите тип рельсовой цепи:

- ☐ Перегонная кодовая 25 Гц
- ☐ Перегонная кодовая 50 Гц
- ☐ Станционная двухниточная 25 Гц
- ☐ Станционная двухниточная 50 Гц

электротяга переменного тока

Укажите устройства, входящие в заданную р. ц.:

- ☐ Дроссель-трансформатор ДТ-1-150
- ☒ Дроссель-трансформатор ДТ-0,2-500
- ☒ Дроссель-трансформатор ДТ-0,6-500
- ☐ Преобразователь частоты ПЧ 50/25
- ☒ Трансформатор типа ПОБС-3А
- ☐ Трансформатор типа ПРТ-А
- ☒ Путевое реле ИМВШ-110
- ☐ Путевое реле ДСШ-12
- ☐ Путевое реле ДСШ-13
- ☐ Защитный фильтр ФП-25
- ☒ Защитный фильтр ЗБФ-1
- ☐ Защитный фильтр ЗБ-ДСШ

Параметры линии и оборудования р.ц.:

Сопротивление соединительных проводов между релейным ИТ и ДТ: $R_{cp} = 0$ Ом; Длина рельсовой цепи: $L = 0$

Сопротивление соединит. проводов между релейным ИТ и ДТ п. к.: $R_{cp} = 0$ Ом; Сопротивление кабеля: $R_k = 0$

Удельное сопротивление заземления контактных опор: $R_o = 0$ Ом*км; Кэфф. поверх. утечки: $m = 0$

Минимальное удельное сопротивление изоляции рельсовой цепи: $R_{um} = 0$ Ом*км; Норматив. ток в режиме АЛС: $I_{AL} = 0$

Печать страницы

Рис. 16. Вид окна «Входные данные» программы расчета параметров р.ц.

На второй закладке (рис. 17) пользователь должен составить общую схему замещения р.ц. для каждого режима ее работы. Для этого необходимо выбрать режим работы р.ц. и количество блоков, необходимых для составления схемы замещения р.ц. в указанном режиме. Выбор вида блоков осуществляется путем изменения цифр задатчика номера блока, появляющегося после указания количества блоков.

В состав блоков входят: источник питания с указанием режима питания (min , max), различные типы четырехполюсников с возможностью задания входящих в их состав элементов, нагрузка в виде сопротивления нагрузки различного характера. Схема замещения будет собрана корректно только после правильного указания количества блоков, входящих в ее состав, их последовательности и обозначения на схеме.

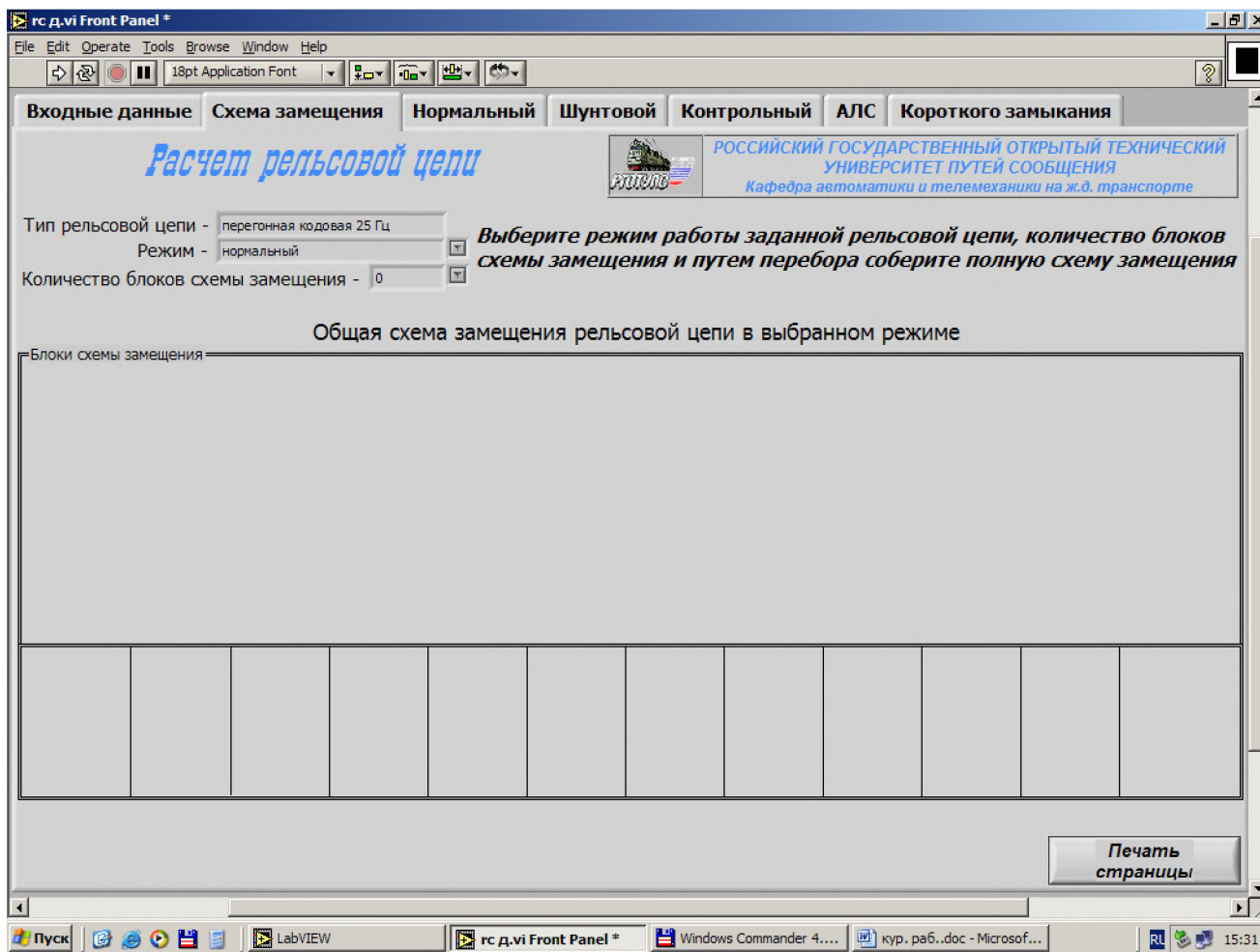


Рис. 17. Вид окна программы для составления схемы замещения р.ц. в выбранном режиме

Необходимо иметь ввиду, что, если вводимые исходные данные не соответствуют заданному варианту или, если схема замещения в каком-либо из режимов работы р.ц. собрана неверно (неправильно выбраны типы четырехполюсников или нарушена их последовательность подключения), то программа расчета не запустится!

Если при вводе ошибки отсутствуют, то на соответствующих закладках появятся результаты расчета программы для выбранного режима. В противном случае, результатами расчетов будут нули.

Печать результатов расчета осуществляется при нажатии кнопки «Печать страницы». При этом распечатываются данные текущего окна программы, дата и время проведения расчетов.

Для построения графиков зависимости модулей сопротивлений передачи ($|Z_{nn}|$, $|Z_{ni}|$ и $|Z_{nk}|$) заданной р.ц. от ее длины необходимо вернуться на закладку «Входные данные» программы *rs.vi* и изменить значения соответствующих параметров. Затем повторить расчет р.ц. для каждого вновь вводимого значения ее длины и на листе миллиметровки размера А4 аккуратно построить соответствующие графики в одной системе координат, используя выводимые на

экран монитора данные расчета р.ц. При вводе длины р.ц. необходимо соблюдать требуемую дискретность ее значений, а также установить требуемое расчетное минимальное значение сопротивления изоляции $r_{и.мин.} = 1 \text{ Ом.км.}$

Для построения графиков зависимости модулей сопротивлений передачи $(|Z_{nn}|, |Z_{ni}|)$ заданной р.ц. значения сопротивления изоляции $r_{и}$ необходимо вернуться на закладку «Входные данные» программы *gs.vi* и изменить значения соответствующих параметров. Затем повторить расчет р.ц. для каждого вновь вводимого значения $r_{и}$ и на листе миллиметровки размера А4 аккуратно построить соответствующие графики в одной системе координат, используя выводимые на экран монитора данные расчета р.ц. При вводе значений $r_{и}$ необходимо соблюдать требуемую дискретность их задания, а также установить заданное расчетное значение длины р.ц. в соответствии со своим шифром.

Для построения графика зависимости коэффициента чувствительности к обрыву рельсовой нити $K_{кп}$ перегонных р.ц. от коэффициента поверхностной утечки – m необходимо вернуться на закладку «Входные данные» программы, изменить значение данного параметра и повторить расчет р.ц. для каждого вновь вводимого значения m , соблюдая при этом требуемую дискретность его задания. По результатам каждого расчета на графике строится точка, которая затем соединяется прямой линией с соседними точками.

Для построения графика зависимости угла расстройки $\square$ станционных р.ц. в нормальном режиме от изменения сопротивления изоляции $r_{и}$ необходимо вернуться на закладку «Входные данные» программы, изменить значение данного параметра и повторить расчет р.ц. для каждого вновь вводимого значения $r_{и}$, соблюдая при этом требуемую дискретность его задания. По результатам каждого расчета на графике отмечается точка, которая затем соединяется с соседними точками.

Графики с соответствующими комментариями должны быть представлены в пояснительной записке к курсовой работе.