

М. Н. Василенко, Б. П. Денисов, В. Б. Культин, С. Н. Растегаев

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ И ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ БЕССТЫКОВЫХ ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

Надежность и безопасность функционирования тональных рельсовых цепей (ТРЦ) определяется рядом факторов, которые необходимо учитывать при анализе работоспособности рельсовых цепей во всех режимах работы. Рассмотрены методы расчета параметров бесстыковых рельсовых цепей, основанные на использовании схем замещения в виде четырехполюсников, приведены результаты анализа работоспособности ТРЦ в зависимости от влияния внешних факторов и характеристик рельсовых и кабельных линий.

бесстыковая тональная рельсовая цепь, математическое моделирование, схема замещения, цепочечное соединение четырехполюсников, регулировочные характеристики рельсовых цепей, автоматизация расчета параметров и проектирования схем тональных рельсовых цепей.

Введение

К числу основных факторов, определяющих устойчивую работу бесстыковой ТРЦ на перегонах, необходимо отнести:

величину нагрузки на путевой генератор в зависимости от числа путевых приемников (от 2 до 4) на релейных концах;

длину рельсовой и кабельной линий;

изменение входных сопротивлений питающих и релейных концов соседних и смежных ТРЦ на резонансной и нерезонансных частотах.

Расчет электрических параметров ТРЦ выполняется на основании формального описания в виде схем замещения аппаратуры рельсовых цепей и условий канализации сигнального тока в рельсовых цепях.

Построение схем замещения для расчета ТРЦ может осуществляться неавтоматизированным или автоматизированным способом.

При первом способе построение схем замещения рельсовых цепей осуществляется проектировщиком на основании «бумажной» версии технического проекта. Схемы замещения строятся по принципиальным электрическим схемам и путевому плану перегона, на котором указаны рельсовые цепи, выбраны несущая и модулирующая частоты, указаны длины рельсовых и кабельных линий.

Второй способ основан на использовании электронной версии проектной документации, представленной в отраслевом формате технической документации (ОФ ТД), разработанной с применением автоматизированного рабочего места проектировщика АРМ ПТД.

В статье изложены результаты исследования влияния различных факторов при расчете регулировочных таблиц, предложена методика обоснованного вы-

бора схемы замещения для расчета электрических параметров ТРЦ и дана оценка точности получаемых при этом результатов. Исследование проводилось на основании общей теории рельсовых цепей и математического моделирования с использованием теории четырехполюсников [1], [2].

Расчет тональных рельсовых цепей без изолирующих стыков

Третье поколение тональных рельсовых цепей ТРЦ 3 без изолирующих стыков широко применяется в автоблокировке с центральным размещением аппаратуры типа АБТЦ [3]. Удаленность станционной аппаратуры от рельсовой линии может достигать 12 км. При этом следует использовать кабель с парной скруткой жил, имеющий минимальную удельную величину емкостной утечки 0,5 мкФ/км. В ТРЦ 3 используется 5 несущих частот 420, 480, 580, 720, 780 Гц и 2 модулирующие частоты 8 и 12 Гц, т. е. всего 10 типов рельсовых цепей.

В бесстыковых ТРЦ необходимо при расчете учитывать утечку сигнальных токов (рис. 1) как с питающего конца $I_{упк}$, так и с релейного $I_{урк}$. Величина тока утечки будет определяться входным сопротивлением $Z_{вх.см}$ смежной и $Z_{вх.с}$ соседних рельсовых линий, входными сопротивлениями $Z_{вх}$ аппаратуры питающего $Z_{вх.п}$ и релейного $Z_{вх.р}$ концов смежной и соседних рельсовых цепей, а также волновым сопротивлением $Z_{в}$ распространения сигнального тока в последующих рельсовых линиях.

Аналитическая модель для расчета параметров ТРЦ в этом случае может быть построена на основании схемы замещения рельсовой цепи с использованием цепочечного соединения четырехполюсников (рис. 2) и схем замещения аппаратуры питающего (рис. 3) и релейного (рис. 4) концов.

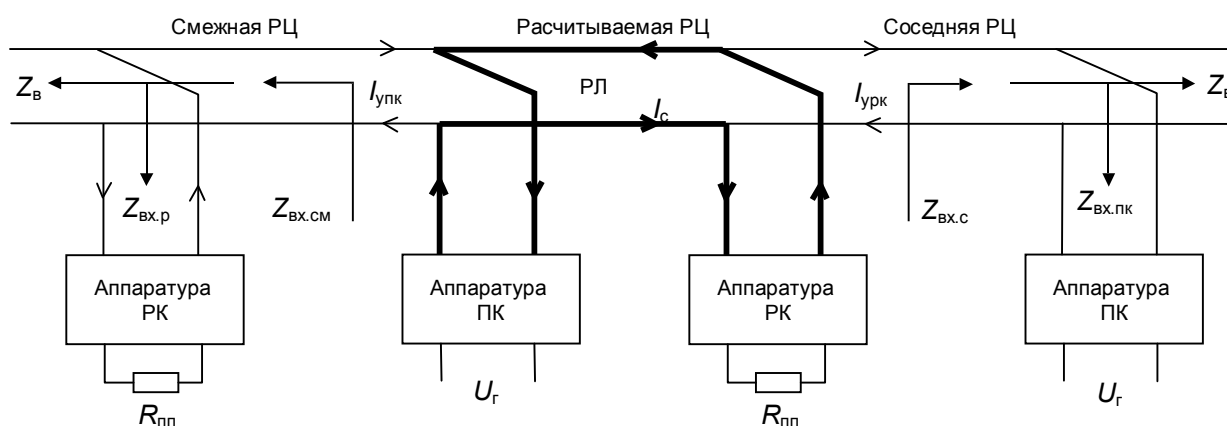


Рис. 1. Схема распространения сигнального тока в тональной рельсовой цепи



Рис. 2. Укрупненная схема замещения тональной рельсовой цепи

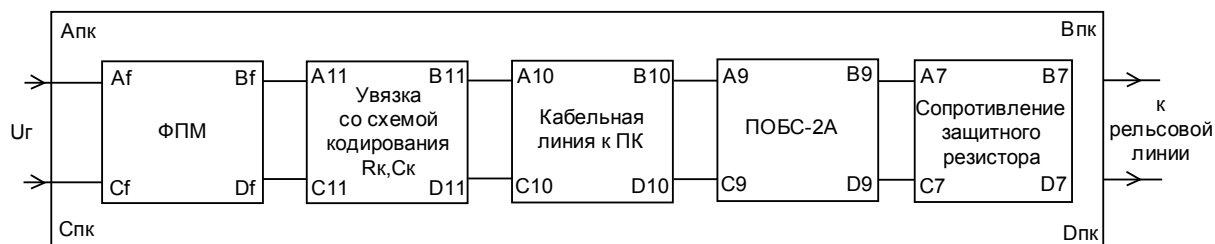


Рис. 3. Схема замещения аппаратуры питающего конца

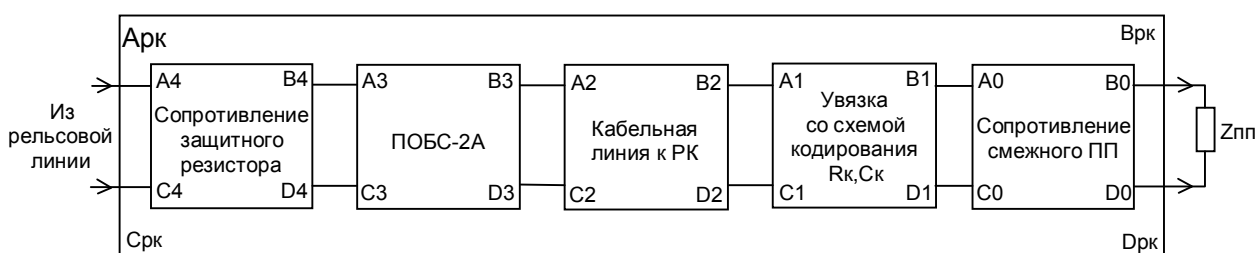


Рис. 4. Схема замещения аппаратуры релейного конца

Токи утечки как с питающего, так и с релейного концов могут распространяться достаточно далеко.

Результаты исследования зависимости величины входного сопротивления ответвлений $Z_{\text{вх.см}}$ и $Z_{\text{вх.с}}$ от числа учитываемых в схеме замещения рельсовых линий и входных сопротивлений релейных и питающих концов приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Величина входных сопротивлений рельсовых линии и ответвлений

Тип входного сопротивления	$Z_{\text{вх.см1}}$	$Z_{\text{вх.см2}}$	$Z_{\text{вх.см3}}$
Величина входного сопротивления, Ом	2,184	2,184	2,211
Тип входного сопротивления	$Z_{\text{вх.с1}}$	$Z_{\text{вх.с2}}$	$Z_{\text{вх.с3}}$
Величина входного сопротивления, Ом	2,158	2,158	2,166

В таблице 1 указаны значения входных сопротивлений ответвлений при следующих схемах замещения:

$Z_{\text{вх.см1}}$ — входное сопротивление смежной рельсовой линии и ее релейного конца;

$Z_{\text{вх.см2}}$ — входное сопротивление смежной и соседней рельсовых линии и одного релейного конца;

$Z_{\text{вх.см3}}$ — входное сопротивление смежной и соседней рельсовой линии, одного релейного и одного питающего конца;

$Z_{\text{ВХ.с1}}$ – входное сопротивление соседней рельсовой линии и питающего конца;

$Z_{\text{ВХ.с2}}$ – входное сопротивление двух соседних рельсовых линий и одного питающего конца;

$Z_{\text{ВХ.с3}}$ – входное сопротивление двух соседних рельсовых линий, одного релейного и одного питающего концов.

Погрешность расчетов регулировочных таблиц при использовании схем замещения для определения $Z_{\text{ВХ.сМ2}}$ или $Z_{\text{ВХ.сМ3}}$, $Z_{\text{ВХ.с2}}$ или $Z_{\text{ВХ.с3}}$ не превышает двух процентов (см. табл. 1).

Поэтому при достаточно большом удельном сопротивлении рельсовой линии в схеме замещения для определения $Z_{\text{ВХ.сМ}}$ и $Z_{\text{ВХ.с}}$ достаточно учитывать три параметра:

входное сопротивление смежной рельсовой линии, входное сопротивление релейного конца и входное (волновое) сопротивление следующей рельсовой линии (рис. 5, а);

входное сопротивление соседней рельсовой линии, входное сопротивление питающего конца соседней рельсовой линии и входное (волновое) сопротивление следующей рельсовой линии (рис. 5, б).

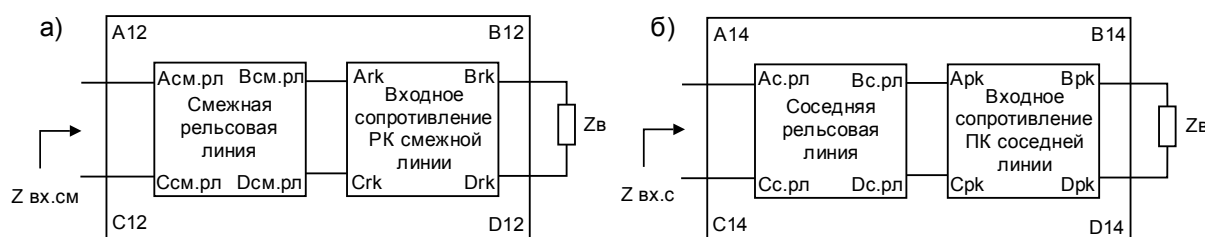


Рис. 5. Схемы замещения для расчета входного сопротивления смежной и соседней рельсовых цепей

Примеры анализа работоспособности ТРЦ в нормальном режиме для рельсовой цепи, расположенной вне зоны светофора, в зависимости от сопротивления изоляции балласта r_i , защитного резистора R_z , длины рельсовой l и кабельной l_k линий, приведены в таблицах 2, 3, 4. (Значения U_r , которые не могут быть получены на выходе путевого генератора ГПЗ, выделены жирным шрифтом.)

ТАБЛИЦА 2. Зависимость $U_r = f(r_i)$

r_i , Ом·км	f_n/f_m , Гц	l , м	U_r , В	U_ϕ , В	U_H , В	$U_{\text{пп}}$, В	
						мин.	макс.
1,0	420/12	620	4,3	37,9	0,65	0,4	0,74 0,77
0,9			4,6	39,5	0,67	0,4	0,78 0,81
0,8			4,9	41,6	0,69	0,4	0,83 0,86

0,7			5,2	44,4	0,72	0,4	0,89 0,93
0,6			5,8	48,4	0,76	0,4	0,98 1,02
0,5			6,6	54,2	0,81	0,4	1,12 1,16
0,4			7,9	63,8	0,91	0,4	1,34 1,39

ТАБЛИЦА 3. Зависимость $U_{\Gamma} = f(R_3)$

l , км	f_n/f_m , Гц	R_3 , Ом	U_{Γ} , В					
			Длина l_k кабельных линий ПК и РК, км					
			6,0	7,0	8,0	9,0	10	11
0,62	420/12	0,5	5,6	6,1	6,7	7,3	8,1	9,0
		0,45	5,2	5,7	6,3	6,9	7,6	8,4
		0,4	4,9	5,4	5,9	6,5	7,1	7,9
		0,35	4,6	5,0	5,5	6,1	6,7	7,4
		0,3	4,3	4,7	5,1	5,7	6,2	6,0
		0,25	4,0	4,4	4,8	5,3	5,8	6,4
		0,2	3,7	4,1	4,5	4,9	5,4	6,0

Значение $U_{\text{пп макс}}$ определялось при $r_i = 50 \text{ Ом} \cdot \text{км}$.

ТАБЛИЦА 4. Зависимость $U_{\Gamma} = f(l, l_k)$

f_n/f_m , Гц	Длина рельсовой линии l , км	U_{Γ} , В											
		Длина l_k кабельных линий ПК и РК, км											
		1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10	11	12
420/12	0,2												3,6
	0,3												4,5
	0,4											5,1	5,7
	0,5								5,2	5,7	6,3	7,0	
	0,6							5,3	5,8	6,4	6,9		
	0,7				5,0	5,4	5,8	6,4	7,0				
	0,8		5,2	5,6	6,0	6,5	7,0						
	0,9	5,8	6,2	6,7	7,2								
	1,0	6,3											

Схему замещения (рис. 2) можно использовать и для расчета ТРЦ в зоне установки проходного светофора, заменив четырехполюсник входного сопротивления соседней (или смежной) рельсовой цепи на четырехполюсник сопротивления рельсовой петли длиной 40 м (рис. 6).



Рис. 6. Схема замещения для расчета параметров тональной рельсовой цепи, расположенной в зоне светофора

Для обеспечения режимов работы ТРЦ в зоне светофора при длине зоны дополнительного шунтирования $l_{ds} = 0,04 \text{ км}$ необходимо повышение напряжения U_{Γ} . При удалении рельсовой цепи от станции на расстояние более 8 км на

выходе путевого генератора может потребоваться напряжение, превышающее 6 В. В этом случае необходимо рассчитывать величину защитного сопротивления R_3 , при котором для таких ТРЦ возможно обеспечение выходного напряжения U_r не более 6 В и длины зоны дополнительного шунтирования не более 40 метров.

Зависимость напряжения U_r от величины R_3 и длины l_{ds} приведена в таблице 5. Методика позволяет определить увеличение зоны дополнительного шунтирования при неправильно выбранном значении сопротивления R_3 . При увеличении R_3 до 0,3 Ом зона дополнительного шунтирования будет составлять 45 м, а при $R_3 = 0,35$ Ом – 50 м.

ТАБЛИЦА 5. Зависимость $U_r = f(R_3, l_{ds})$

Исходные данные	R_3 , Ом	l_{ds} , км	U_r , В
$l = 0,3$ км $f_n = 580$ Гц $f_m = 8$ Гц $l_{kp} = 8,5$ км $l_{kr} = 8,8$ км	0,42	0,04	8,1
	0,4	0,04	7,8
	0,35	0,04	7,1
	0,3	0,04	6,5
	0,25	0,04	5,8
	0,3	0,045	5,9
	0,35	0,05	6,0

Для расчета ТРЦ в шунтовом режиме в укрупненную схему замещения добавляется четырехполюсник на питающем или релейном конце рельсовой линии, имитирующий сопротивление поездного шунта $r_s = 0,06$ Ом. Рельсовая линия рассчитывается при сопротивлении балласта $r_i = 50$ Ом·км. Оценка выполнения шунтового режима производится расчетом величины коэффициента шунтовой чувствительности $K_{ш} = U_{пп.пасп}/U_{пп.ш.факт} \geq 1$, где $U_{пп.пасп}$ – паспортное значение напряжения на путевом приемнике, $U_{пп.ш.факт}$ – фактическое напряжение на путевом приемнике при наложении шунта. $U_{пп.пасп.} = U_{пп.д} \cdot K_B$, где $K_B = 0,58$ – коэффициент надежного возврата, $U_{пп.д} = 0,4$ В – действующее значение напряжения на входе путевого приемника, при котором путевое реле замыкает фронтовые контакты.

Зависимость коэффициентов шунтовой чувствительности K_{sn} (шунт на питающем конце), K_{sp} (шунт на релейном конце) и коэффициента контрольного режима K_k от сопротивления изоляции балласта r_i приведена в таблице 6.

ТАБЛИЦА 6. Зависимость коэффициентов шунтовой чувствительности от сопротивления изоляции балласта r_i

Исходные данные	r_i , Ом·км	K_{sn}	K_{sp}	K_k
$l = 0,62$ км $f_n = 420$ Гц $f_m = 12$ Гц $l_{kp} = 4,2$ км $l_{kr} = 4,82$ км $R_3 + R_{сп} = 0,42$ Ом	1,0	4,5	3,8	4,45
	0,9	4,31	3,64	4,27
	0,8	4,09	3,46	4,1
	0,7	3,83	3,24	3,95
	0,6	3,52	2,97	3,82
	0,5	3,14	2,65	3,7
	0,4	2,67	2,25	3,6
	0,3	2,07	1,75	3,52
	0,2	1,39	1,12	3,42
	0,1	0,46	0,38	2,96

Зависимость коэффициентов шунтовой чувствительности от сопротивления изоляции балласта r_i определялась с учетом длины рельсовой линии l , сигнальной и модулирующей частоты f_n/f_m , длины кабельной линии к питающему l_{kp} и к релейному l_{kr} концу, защитного сопротивления R_3 и сопротивления соединительных проводов $R_{сп}$.

Расчет в контрольном режиме коэффициента чувствительности к обрыву рельсовой линии K_k производится также по укрупненной схеме с заменой коэффициентов четырехполюсников в нормальном режиме $A = \cosh(\gamma l)$, $B = Z_v \cdot \sinh(\gamma l)$, $C = \sinh(\gamma l)/Z_v$, $D = A$ на коэффициенты $A_k = D_k$, B_k , C_k , определяемые с учетом обрыва одной рельсовой нити в ее середине; $K_k = U_{пп \text{ пасп}}/U_{пп \text{ факт}} \geq 1$, где $U_{пп \text{ факт}}$ – фактическое значение напряжения на путевом приемнике при контрольном режиме.

Заключение

Предложенная методика расчета параметров ТРЦ без изолирующих стыков при любом виде тяги позволяет:

- 1) производить расчет параметров ТРЦ с учетом возможных путей утечки сигнальных токов;
- 2) выполнять расчеты любых типов ТРЦ в зависимости от их размещения: в зоне проходных светофоров, вне зоны проходных светофоров, на границе со станцией;
- 3) определять значения параметров ТРЦ по регулировочным таблицам, при которых обеспечивается работоспособное состояние рельсовых цепей в нормальном, контрольном и шунтовом режимах;
- 4) выполнять расчет режимов работы АЛС числовым кодом (АЛСН) и кодом с фазоразностной модуляцией (АЛС-ЕН);
- 5) осуществлять анализ регулировочных параметров для ТРЦ, находящихся в эксплуатации;
- 6) производить на этапе проектирования путевого плана перегона предварительный расчет и проверку выполнения режимов работы ТРЦ;

7) автоматизировать расчет регулировочных параметров для ТРЦ при использовании электронной версии проектной документации, представленной в отраслевом формате технической документации (ОФ ТД) и разработанной с применением автоматизированного рабочего места проектировщика АРМ ПТД.

Библиографический список

1. Брылеев А.М., Кравцов Ю.А., Шишляков А.В. Теория, устройство и работа рельсовых цепей. – М.: Транспорт, 1978.
2. Аркатов В.С., Кравцов Ю. А., Степенский Б.М. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание. – М.: Транспорт, 1990.
3. Дмитриев В.С., Минин В.А. Системы автоблокировки с рельсовыми цепями тональной частоты. – М.: Транспорт, 1992.

УДК 541.15.539.21

**И. В. Васильева, Н. И. Якимова, С. В. Мякин, В. Ю. Соловьев,
Р. С. Косенко**

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ОБРАБОТКА В КОМБИНИРОВАННЫХ ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ СТОКОВ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ И СПАВ

Для удаления загрязнений сложного состава в больших концентрациях использование ускорителя электронов в технологической схеме часто является наиболее эффективным способом обработки в режиме реальных технологических, энергетических и экономических расходов. Рассматриваемый метод обеспечивает эффективную очистку загрязненных водных систем не только за счет прямого воздействия ускоренных электронов на органические соединения, но и за счет их реакций с продуктами радиолиза воды.

очистка, транспорт, нефтесодержащие стоки, электронно-лучевая обработка.

Введение

В настоящее время в технологиях водоочистки используют различные методы: физико-механические (отстаивание, фильтрация), химические, или реагентные (нейтрализация, высаливание, коагуляция, экстракция), физико-химические (сорбция, флокуляция, флотация), биологические, электрофизические (электрокоагуляция, электрофлотация, обработка под воздействием излучений и полей – ионизирующих, УФ, УЗ, магнитных и т. д.) [1].

В ряде случаев для удаления загрязнений сложного состава в больших концентрациях использование ускорителя электронов в составе технологической схемы становится единственным способом осуществления эффективной обработки в режиме реальных технологических, энергетических и экономиче-