

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра автоматики и телемеханики

Ю. Ф. БЕРЕЗНЯЦКИЙ, А. Г. СЕРЕНКОВ

# ЛИНИИ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНИКИ И СВЯЗИ

Лабораторный практикум

Часть 2

*Одобрено методической комиссией электротехнического факультета*

Гомель 2011

УДК 656.25 (076.5)  
ББК 39.965  
Б48

Р е ц е н з е н т – зав. кафедрой «Микропроцессорная техника и информационно-управляющие системы» канд. физ.-мат. наук, доцент *Н. В. Рязанцева* (УО «БелГУТ»).

**Березняцкий, Ю. Ф.**

Б48 Линии автоматики, телемеханики и связи : лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 2 / Ю. Ф. Березняцкий, А. Г. Серенков ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 36 с.  
ISBN 978-985-468-960-9 (ч. 2)

Приведен порядок симметрирования низкочастотных кабелей связи, рассмотрены вопросы защиты устройств железнодорожной автоматики и телемеханики от опасных напряжений и токов, а также представлены расчеты влияний тяговой сети переменного тока на кабельные линии. Первая часть практикума издана в 2009 году.

Предназначен для студентов электротехнического факультета в качестве руководства при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Линии автоматики, телемеханики и связи».

**УДК 656.25 (076.5)**  
**ББК 39.965**

**ISBN 978-985-468-960-9 (ч. 2)**  
**ISBN 978-985-468-656-1**

© Березняцкий Ю. Ф., Серенков А. Г., 2011  
© Оформление. УО «БелГУТ», 2011

## Лабораторная работа № 4

### СИММЕТРИРОВАНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

**Цель работы.** Изучить методы симметрирования кабелей низкой частоты.

#### 1 СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Симметрирование выполняется в процессе монтажа кабельной линии с целью уменьшения взаимного влияния между цепями и подверженностью цепей помехам от внешних источников.

В низкочастотном диапазоне преобладают емкостные (электрические) связи, вызванные асимметрией частичных емкостей как между жилами одной пары и землей, так и между жилами соседних пар кабеля.

Конструкция магистральных кабелей имеет сердечник, в котором пары объединены в четверки с шагами скруток, подобранными таким образом, чтобы взаимные влияния между цепями различных четверок были меньше, чем между цепями одной четверки. Симметрирование обычно производится между цепями внутри четверки. При этом необходимо принимать во внимание 8 сосредоточенных частичных емкостей, показанных на рисунке 1, эквивалентных распределенным на длине кабеля емкостям между жилами и между жилами и землей.

Асимметрия частичных емкостей между жилами соседних цепей приводит к уменьшению переходного затухания между цепями. Асимметрия частичных емкостей между жилами одной цепи и землей увеличивает подверженность этой цепи внешним электромагнитным помехам.

Количественно емкостная асимметрия между жилами соседних цепей оценивается коэффициентами емкостной связи:

$$K_1 = (C_{13} + C_{24}) - (C_{14} + C_{23}); \quad (1)$$

$$K_2 = (C_{13} + C_{14}) - (C_{23} + C_{24}); \quad (2)$$

$$K_3 = (C_{13} + C_{23}) - (C_{14} + C_{24}). \quad (3)$$

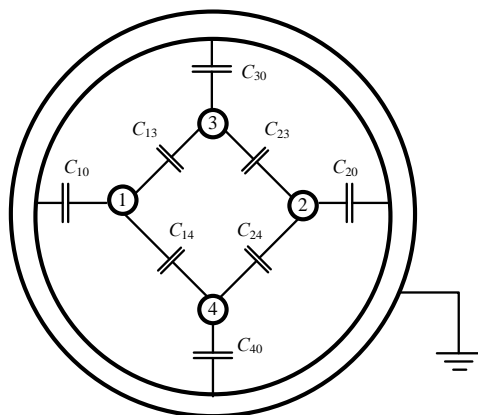


Рисунок 1 – Частичные емкости кабельной четверки

Коэффициент  $K_1$  характеризует переходное затухание между цепями внутри четверок,  $K_2$  и  $K_3$  – соответственно между первой физической цепью и искусственной (фантомной), между второй физической цепью и искусственной.

Фантомная цепь внутри четверки образуется так, как показано на рисунке 2. При наличии искусственной цепи ее тоже необходимо учитывать в процессе симметрирования.

Емкостную асимметрию жил цепей относительно земли количественно оценивают коэффициентами емкостной асимметрии относительно земли:

$$E_1 = C_{10} - C_{20}; \quad (4)$$

$$E_2 = C_{30} - C_{40}; \quad (5)$$

$$E_3 = (C_{10} + C_{20}) - (C_{30} + C_{40}). \quad (6)$$

Коэффициенты  $e_1$ ,  $e_2$  и  $e_3$  характеризуют подверженность внешним помехам соответственно первой, второй и фантомной цепей.

Существуют два метода симметрирования низкочастотных кабелей:  
а) скрещиванием; б) включением дополнительных конденсаторов.

Симметрирование высокочастотных кабелей производят методом скрещивания и включением контуров противосвязи. При первом методе в процессе соединения участков кабельной линии коэффициенты емкостной связи и емкостной асимметрии взаимно компенсируются соответствующим выбором сращиваемых четверок и жил внутри четверки. Взаимная компенсация обусловлена тем, что при соединении жил без скрещивания коэффициенты соседних кусков кабеля складываются, а при соединении со скрещиванием – вычитаются.

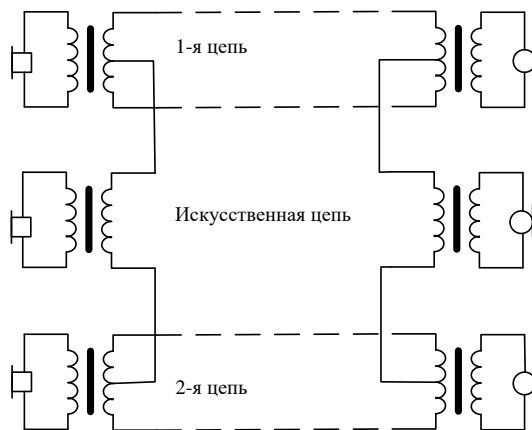


Рисунок 2 – Образование искусственной (фантомной) цепи

Например, пусть для левого куска кабеля  $K_1^{\hat{A}} = +100 \hat{i}\hat{O}$  , а для правого –  $K_1^{\hat{A}} = -100 \hat{i}\hat{O}$  . Тогда при прямом соединении жил четверок  $K_1 = K_1^{\hat{A}} + K_1^{\hat{A}} = 0 \hat{i}\hat{O}$  . Если же и  $K_1^{\hat{A}} = +100 \hat{i}\hat{O}$  , и  $K_1^{\hat{A}} = +100 \hat{i}\hat{O}$  , то одну из пар необходимо скрестить, т. е. соединить жилу 1 левого куска с жилой 2 правого, а жилу 2 левого – с жилой 1 правого; или таким же образом соединить жилы второй цепи (3 и 4). Тогда  $K_1 = K_1^{\hat{A}} - K_1^{\hat{A}} = 0 \hat{i}\hat{O}$  . Заметим, что при одновременном скрещивании жил обеих пар в четверке  $K_1 = K_1^{\hat{A}} + K_1^{\hat{A}}$  .

Симметрирование с помощью включения дополнительных конденсаторов осуществляется обычно после симметрирования

скрещиванием, которое не позволяет сделать равным нулю все коэффициенты. Сущность этого метода в том, чтобы компенсировать емкостные связи включением дополнительных конденсаторов между жилами соседних цепей, а емкостные асимметрии – включением дополнительных конденсаторов между жилами и землей.

Остаточные значения емкостной связи и асимметрии в зависимости от применяемой схемы скрещивания подсчитываются по формулам, приведенным в таблице 1.

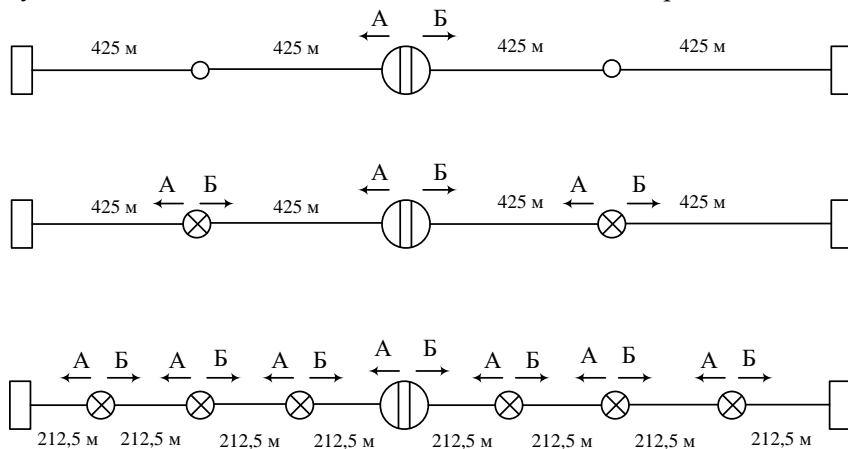
Таблица 1 – Вычисление остаточных значений емкостной связи и асимметрии

Схема соединения жил		Оператор	Емкостные связи			Емкостные асимметрии		
Сторона А	Сторона Б		$K_1$	$K_2$	$K_3$	$E_1$	$E_2$	$E_3$
1 2 3 4	1 2 3 4	● ● ●	$K_1^{\lambda} + K_1^{\hat{\lambda}}$	$K_2^{\lambda} + K_2^{\hat{\lambda}}$	$K_3^{\lambda} + K_3^{\hat{\lambda}}$	$\hat{A}_1^{\lambda} + \hat{A}_1^{\hat{\lambda}}$	$\hat{A}_2^{\lambda} + \hat{A}_2^{\hat{\lambda}}$	$\hat{A}_3^{\lambda} + \hat{A}_3^{\hat{\lambda}}$
1 2 3 4	1 2 3 4	× ● ●	$K_1^{\lambda} - K_1^{\hat{\lambda}}$	$K_2^{\lambda} - K_2^{\hat{\lambda}}$	$K_3^{\lambda} + K_3^{\hat{\lambda}}$	$\hat{A}_1^{\lambda} - \hat{A}_1^{\hat{\lambda}}$	$\hat{A}_2^{\lambda} + \hat{A}_2^{\hat{\lambda}}$	$\hat{A}_3^{\lambda} + \hat{A}_3^{\hat{\lambda}}$
1 2 3 4	1 2 3 4	× × ●	$K_1^{\lambda} + K_1^{\hat{\lambda}}$	$K_2^{\lambda} - K_2^{\hat{\lambda}}$	$K_3^{\lambda} - K_3^{\hat{\lambda}}$	$\hat{A}_1^{\lambda} - \hat{A}_1^{\hat{\lambda}}$	$\hat{A}_2^{\lambda} - \hat{A}_2^{\hat{\lambda}}$	$\hat{A}_3^{\lambda} + \hat{A}_3^{\hat{\lambda}}$
1 2 3 4	1 2 3 4	● × ●	$K_1^{\lambda} - K_1^{\hat{\lambda}}$	$K_2^{\lambda} + K_2^{\hat{\lambda}}$	$K_3^{\lambda} - K_3^{\hat{\lambda}}$	$\hat{A}_1^{\lambda} + \hat{A}_1^{\hat{\lambda}}$	$\hat{A}_2^{\lambda} - \hat{A}_2^{\hat{\lambda}}$	$\hat{A}_3^{\lambda} + \hat{A}_3^{\hat{\lambda}}$
1 2 3 4	1 2 3 4	● ● ×	$K_1^{\lambda} + K_1^{\hat{\lambda}}$	$K_2^{\lambda} + K_2^{\hat{\lambda}}$	$K_3^{\lambda} + K_3^{\hat{\lambda}}$	$\hat{A}_1^{\lambda} + \hat{A}_1^{\hat{\lambda}}$	$\hat{A}_2^{\lambda} + \hat{A}_2^{\hat{\lambda}}$	$\hat{A}_3^{\lambda} - \hat{A}_3^{\hat{\lambda}}$
1 2 3 4	1 2 3 4	× ● ×	$K_1^{\lambda} - K_1^{\hat{\lambda}}$	$K_2^{\lambda} - K_2^{\hat{\lambda}}$	$K_3^{\lambda} + K_3^{\hat{\lambda}}$	$\hat{A}_1^{\lambda} - \hat{A}_1^{\hat{\lambda}}$	$\hat{A}_2^{\lambda} + \hat{A}_2^{\hat{\lambda}}$	$\hat{A}_3^{\lambda} - \hat{A}_3^{\hat{\lambda}}$
1 2 3 4	1 2 3 4	× × ×	$K_1^{\lambda} + K_1^{\hat{\lambda}}$	$K_2^{\lambda} - K_2^{\hat{\lambda}}$	$K_3^{\lambda} - K_3^{\hat{\lambda}}$	$\hat{A}_1^{\lambda} - \hat{A}_1^{\hat{\lambda}}$	$\hat{A}_2^{\lambda} - \hat{A}_2^{\hat{\lambda}}$	$\hat{A}_3^{\lambda} - \hat{A}_3^{\hat{\lambda}}$

	$\bullet \times \times$	$K_1^\lambda - K_1^A$	$K_2^\lambda + K_3^A$	$K_3^\lambda - K_2^A$	$A_1^\lambda + A_2^A$	$A_2^\lambda - A_1^A$	$A_3^\lambda - A_3^A$
--	-------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

В процессе производства строительства симметрирование осуществляется в пределах усилительного участка, который разбивается на шаги длиной 1,7 км. Для прокладки на одном шаге симметрирования подбираются строительные длины кабелей с наиболее близкими значениями  $K_1$ ,  $E_1$  и  $E_2$ , которые записаны в протоколе на строительную длину кабеля. Внутришаговое симметрирование в зависимости от значений  $K_1$ ,  $E_1$  и  $E_2$  скрещиваемых длин может осуществляться по одно-, трех- и семиточечной схемам, показанным на рисунке 3.

Муфты, в которых осуществляется симметрирование скрещиванием, называются симметрирующими. Муфты, в которых после симметрирования скрещиванием включаются дополнительные конденсаторы, называются конденсаторными. Симметрирование осуществляется последовательно от концов шага к середине.



Обозначения на рисунке:

- — соединительная муфта;
- ⊗ — симметрирующая муфта;
- ⦶ — конденсаторная муфта

Рисунок 3 – Одно-, трех- и семиточечная схемы симметрирования

Соединение жил в симметрирующих муфтах осуществляется в следующем порядке. Сначала измеряют коэффициенты всех четверок со стороны А и Б с помощью специального прибора. По результатам измерений подбираются четверки стороны А к четверкам стороны Б. При этом четверка стороны Б с максимальным значением  $K_1^{\hat{A}}$  соединяется с четверкой стороны А с максимальным значением  $K_1^{\hat{A}}$ . Последующие четверки соединяются аналогично по мере убывания  $K_1$ . После подбора четверок выбирают схему соединения жил внутри четверок. Сначала решается вопрос о скрещивании пар. Если в соединяемой четверке  $|K_2^{\hat{A}}| \approx |K_2^{\hat{A}}|$  и при этом  $|K_3^{\hat{A}}| \approx |K_3^{\hat{A}}|$ , то пары соединяются напрямую. Если  $|K_2^{\hat{A}}| \approx |K_3^{\hat{A}}|$  и  $|K_3^{\hat{A}}| \approx |K_2^{\hat{A}}|$ , то пары скрещиваются. Жилы в парах соединяются с учетом знаков сравниваемых коэффициентов. Если знаки разные, то жилы соединяют напрямую – «цвет в цвет», если одинаковые, – то со скрещиванием. При несоблюдении этого правила предпочтение отдается той схеме соединения, которая обеспечивает наибольшую компенсацию емкостных связей и асимметрий. Выбор оператора при этом производится с использованием таблицы 1.

В конденсаторных муфтах после скрещивания между жилами кабеля включаются конденсаторы, величина емкости которых выбирается с помощью таблицы 2, полностью компенсирующие емкостные связи, а с помощью таблицы 3 – емкостные асимметрии.

**Таблица 2 – Вычисление емкости симметрирующих конденсаторов для компенсации емкостных связей**

Емкостная связь	Результаты измерений		Коэффициент $\alpha$ для вычисления емкости по формуле $C = \alpha K$				Емкости симметрирующих конденсаторов, пФ			
	Значение, пФ	Знак, ±	$C_{13}$	$C_{14}$	$C_{23}$	$C_{24}$	$C_{13}$	$C_{14}$	$C_{23}$	$C_{24}$
$K_1$	+60	+	–	0,5	0,5	–	–	30	30	–
		–	0,5	–	–	0,5		–	–	
$K_2$	–50	+	–	–	0,5	0,5	–	–		
		–	0,5	0,5	–	–	25	25	–	–
$K_3$	+70	+	–	0,5	–	0,5	–	35	–	35
		–	0,5	–	0,5	–		–		–
Суммарное значение емкостей							25	90	30	35
Вычитаемая наименьшая сумма							25	25	25	25
Емкости включаемых конденсаторов							0	65	5	10

*Примечание* – Расчет емкости в таблице приведен для случая, когда после скрещивания



измерения дали результаты:  $K_1 = +60$  пФ,  $K_2 = -50$  пФ,  $K_3 = +70$  пФ.

Поясним таблицу. Из (1) следует  $K_1 = +60$  пФ  $= (C_{13} + C_{24}) - (C_{14} + C_{23})$ . Чтобы сделать  $K_1$  равным нулю, необходимо увеличить отрицательную величину  $(C_{14} + C_{23})$  правой части уравнения на 60 пФ, т. е. между жилами 1 и 4, 2 и 3 включить симметрирующие конденсаторы суммарной емкостью 60 пФ. Чтобы не изменились коэффициенты  $K_2$  и  $K_3$ , емкости этих конденсаторов должны быть равными, т. е. по 30 пФ. Тогда  $K_2 = (C_{13} + C_{14} + 30) - (C_{23} + C_{24} + 30) = (C_{13} + C_{14}) - (C_{23} + C_{24})$ , что соответствует (2). Очевидно, что и величина  $K_3$  не изменится.

Аналогично приравниваются нулю коэффициенты  $K_2$  и  $K_3$ . Суммарная величина емкостей симметрирующих конденсаторов:  $C_{13} = 25$  пФ;  $C_{14} = 90$  пФ;  $C_{23} = 30$  пФ;  $C_{24} = 35$  пФ. Если все емкости уменьшить на одну и ту же величину, симметрия четверки не нарушится. Уменьшив все емкости на 25 пФ, получим:  $C_{13} = 0$ ;  $C_{14} = 65$  пФ;  $C_{23} = 5$  пФ;  $C_{24} = 10$  пФ. Аналогичным образом поясняется и таблица 3.

**Таблица 3 – Вычисление емкости симметрирующих конденсаторов для компенсации емкостных асимметрий**

Емкостная связь	Результаты измерений		Коэффициент $\alpha$ для вычисления емкости по формуле $C = \alpha K$				Емкости симметрирующих конденсаторов, пФ			
	Значение, пФ	Знак, $\pm$	$C_{10}$	$C_{20}$	$C_{30}$	$C_{40}$	$C_{10}$	$C_{20}$	$C_{30}$	$C_{40}$
$E_1$	+400	+	–	1	0,5	0,5	–	400	200	200
		–	1	–	0,5	0,5		–		
$E_2$	+700	+	0,5	0,5	–	1	350	350	–	700
		–	0,5	0,5	1	–				–
$E_3$	–500	+	–	–	0,5	0,5	–	–	–	–
		–	0,5	0,5	–	–	250	250	–	–
Суммарное значение емкостей							600	1000	200	900
Вычитаемая наименьшая сумма							200	200	200	200
Емкости включаемых конденсаторов							400	800	0	700
<i>Примечание</i> – Расчет емкости в таблице приведен для случая, когда после скрещивания измерения дали результаты: $E_1 = +400$ пФ, $E_2 = +700$ пФ, $E_3 = -500$ пФ.										

В качестве симметрирующих конденсаторов применяют конденсаторы повышенной влаго- и теплостойкости емкостью от 10 до 300 пФ с градацией через 10 пФ.

После симметрирования производят контрольные измерения емкостных связей и асимметрий. Их значения на шаге

симметрирования не должны превышать:  $K_1, K_2, K_3 - 10/20$  пФ,  $E_1, E_2, E_3 - 100/300$  пФ (в числителе указано среднее значение, в знаменателе – максимальное для усилительного участка).

Симметрирование заканчивается наращиванием шагов симметрирования с концов усилительного участка. Если при подключении очередного шага переходное затухание на ближнем конце меньше нормы, в соединительной муфте делают симметрирование. По окончании соединения шагов измеряют защищенность на дальнем конце, которая должна быть выше установленных норм.

## 2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Изучить теоретические сведения по данному практикуму и рекомендуемой преподавателем литературе.

2 По заданному преподавателем варианту (таблица 4) рассчитать емкостные связи и асимметрии для всех операторов скрещивания.

3 Выбрать оператор скрещивания, подходящий для наилучшей компенсации емкостных связей и асимметрий.

4 Подобрать симметрирующие конденсаторы согласно выбранному оператору скрещивания и отобразить их на схеме аналогично рисунку 1 исключив ненужные.

5 Сделать выводы по работе, в которых отразить основные результаты выполненного симметрирования цепей кабеля.

Таблица 4 – Варианты заданий

Вариант	Емкостная связь, пФ						Емкостная асимметрия, пФ					
	Со стороны А			Со стороны Б			Со стороны А			Со стороны Б		
	$K_1^A$	$K_2^A$	$K_3^A$	$K_1^B$	$K_2^B$	$K_3^B$	$A_1^A$	$A_2^A$	$A_3^A$	$A_1^B$	$A_2^B$	$A_3^B$
01	+30	+40	+50	+40	+40	-90	+500	-700	-300	+400	-500	+700
02	+40	-50	+30	+50	+30	-40	-500	+700	-300	-600	-400	-500
03	+30	-70	+60	+50	+30	-80	+90	+150	-800	-300	-250	+700
04	+60	-30	+20	-30	+90	-50	-100	-200	+500	-200	-150	-600
05	+30	-70	+60	-50	+30	-40	+90	-150	+800	-300	-250	-700
06	+40	-50	+30	-50	+30	-40	-500	+700	+300	-600	-400	+500
07	+90	-70	+30	+40	+60	-30	+95	+600	+350	-250	-450	-750
08	+30	+70	-60	+50	+30	-40	-90	-150	-800	-300	-250	+700
09	+40	-50	-30	+50	+30	-40	+500	-700	-300	+600	-400	-500
10	+35	+75	+30	-55	+40	-50	-300	+250	-450	+300	-250	+150
11	+30	-70	+60	-50	+30	-40	+90	+150	-800	+300	-250	-700
12	+40	-50	-30	-50	+30	-40	-500	-700	+300	+600	-400	+500
13	-30	+70	+60	-50	+30	+40	+90	-150	+800	+300	-250	-700
14	-40	+50	+30	-50	+30	-40	-500	+700	+300	+600	+400	+500

Вариант	Емкостная связь, пФ						Емкостная асимметрия, пФ						
	Со стороны А			Со стороны Б			Со стороны А			Со стороны Б			
	$K_1^{\hat{A}}$	$K_2^{\hat{A}}$	$K_3^{\hat{A}}$	$K_1^{\hat{B}}$	$K_2^{\hat{B}}$	$K_3^{\hat{B}}$	$\hat{A}_1^{\hat{A}}$	$\hat{A}_2^{\hat{A}}$	$\hat{A}_3^{\hat{A}}$	$\hat{A}_1^{\hat{B}}$	$\hat{A}_2^{\hat{B}}$	$\hat{A}_3^{\hat{B}}$	
15	-75	+30	+80	+65	+45	-30	+200	+100	+800	+900	+250	-400	
16	-35	+35	+70	+60	+40	-35	-250	-150	-550	+700	+100	+200	
17	-45	+60	+75	+65	+35	-95	+350	-450	-100	-150	+300	-650	
18	-30	+70	-60	-50	-30	+40	-90	+150	-800	-300	+250	+700	
Окончание таблицы 4						-30	+40	+500	+700	-300	-600	+400	-500
20	-30	+70	-60	+50	-30	+40	-90	-150	+800	-300	+250	+700	
21	-35	+35	-70	+60	-40	+35	+250	-150	+550	-700	+100	-200	
22	-45	+60	-75	+65	-35	+95	-350	+450	+100	-150	+300	+650	
23	+30	-70	+50	-50	-30	+40	+90	+150	+800	-300	+250	-700	
24	+40	-25	+90	-45	-95	+30	-250	-300	-750	-150	+200	+250	
25	+40	-50	+30	+50	-30	+40	+500	-700	-300	+600	+400	-500	
26	+90	-70	+30	+40	-60	+30	-95	+600	-350	+250	+450	+750	
27	+30	+70	+60	-50	-30	+40	+90	+150	-800	+300	-250	-700	
28	+40	-50	+30	+50	-30	+40	-500	-700	+300	+600	-400	-500	
29	+30	-80	+55	+35	-45	+80	+150	-550	+700	+450	+900	+400	
30	+40	-90	+65	+40	-65	+60	-250	+150	+800	+550	+800	+300	
31	+50	-100	-75	-50	-30	+20	+350	+350	+900	+650	+700	+150	
32	+60	-35	-30	+90	-80	+80	-450	-550	-200	+750	+600	-900	
33	+70	-45	-80	+30	-70	+90	+500	-600	-350	-850	-500	+200	

Пример. Пусть имеются следующие результаты измерений  $K_1^{\hat{A}} = +40$  пФ;  $K_2^{\hat{A}} = +70$  пФ;  $K_3^{\hat{A}} = -60$  пФ;  $K_1^{\hat{B}} = +60$  пФ;  $K_2^{\hat{B}} = -80$  пФ;  $K_3^{\hat{B}} = +100$  пФ;  $\hat{A}_1^{\hat{A}} = -100$  пФ;  $\hat{A}_2^{\hat{A}} = -200$  пФ;  $\hat{A}_3^{\hat{A}} = +700$  пФ;  $\hat{A}_1^{\hat{B}} = -50$  пФ;  $\hat{A}_2^{\hat{B}} = +200$  пФ;  $\hat{A}_3^{\hat{B}} = +500$  пФ.

Заполняем таблицу 5 согласно таблице 1.

Таблица 5 – Результаты расчета емкостной связи и асимметрии

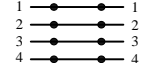
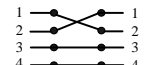
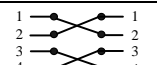
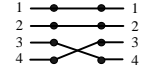

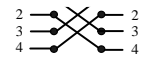



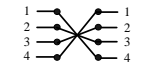

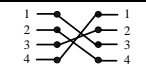

Схема соединения жил		Оператор	Емкостные связи			Емкостные асимметрии		
Сторона А	Сторона Б		$K_1$	$K_2$	$K_3$	$E_1$	$E_2$	$E_3$
1 2 3 4		● ● ●	+100	-10	+40	-150	0	+1200
1 2 3 4		× ● ●	-20	+150	+40	-50	0	+1200
1 2 3 4		× × ●	+100	+150	-160	-50	-400	+1200

Схема соединения жил		Оператор	Емкостные связи			Емкостные асимметрии		
Сторона А	Сторона Б		$K_1$	$K_2$	$K_3$	$E_1$	$E_2$	$E_3$
		-20	-10	-160	-150	-400	+1200	
<i>Окончание таблицы 5</i>								
		+100	+170	-140	+100	-250	+200	
		-20	-30	-140	-300	-250	+200	
		+100	-30	+20	-300	-150	+200	
		-20	+170	+20	+100	-150	+200	

Из таблицы 5 выписываем максимальные значения коэффициентов емкостной связи или асимметрии для каждого оператора скрещивания (таблица 6).

Таблица 6 – Модули максимальных коэффициентов

Оператор	●●●	×●●	××●	●×●	●●×	×●×	×××	●××
Максимальный коэффициент, пФ	1200	1200	1200	1200	250	300	300	200

Поскольку для схемы скрещивания по оператору ●×× получился наименьший коэффициент среди максимальных, то именно она и выбирается за основу при выполнении скрещивания.

Далее остается лишь выполнить подбор симметрирующих конденсаторов, руководствуясь таблицами 2 и 3, и выполнить схему подсоединения симметрирующих конденсаторов.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Порядок выполнения симметрирования низкочастотных кабелей связи.
- 3 Таблицы с результатами расчетов.
- 4 Ответы на заданные преподавателем контрольные вопросы.
- 5 Выводы по работе.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1 Какие методы симметрирования кабельных линий вам известны?
- 2 Поясните сущность симметрирования скрещиванием.
- 3 Поясните сущность симметрирования включением дополнительных конденсаторов.
- 4 Поясните сущность симметрирования включением контуров противосвязи.
- 5 Каким образом изменяется характер электромагнитной связи между цепями в кабеле с ростом частоты?
- 6 Назовите первичные и вторичные параметры взаимных влияний.
- 7 Приведите последовательность симметрирования низкочастотных кабелей.
- 8 Почему не производится симметрирование между цепями соседних четверок в кабеле?
- 9 От чего зависит выбор схемы симметрирования?
- 10 Какие особенности симметрирующих конденсаторов?
- 11 Каким образом образуется фантомная цепь?
- 12 Назовите особенности конструкции низкочастотных кабелей связи.

## **Лабораторная работа № 5**

### **ЗАЩИТА УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ ОТ ОПАСНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ**

Цель работы. Ознакомиться с устройством и принципом действия основных приборов защиты, изучить схемы защиты устройств автоматики, телемеханики и связи от опасных напряжений и токов.

#### **1 СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ**

##### **1.1 Общие сведения**

Перенапряжения ухудшают основные показатели перевозочного процесса значительным количеством сбоев в движении поездов, которые наблюдаются при отказах аппаратуры из-за нестационарных процессов в атмосфере, линиях электропередач, контактной сети, линейных цепях и при коммутации различных нагрузок с реактивными элементами в цепях.

За любой из грозовых периодов на железной дороге регистрируются нарушения нормальной работы систем железнодорожной автоматики и

телемеханики (ЖАТ), которые приводят к задержке поездов общей продолжительностью до сотен часов.

В самом общем случае перенапряжения, проникающие в устройства ЖАТ, можно разбить на две группы: *атмосферные* и *коммутационные*.

Основным источником *атмосферных перенапряжений* являются грозовые разряды. При прямых и косвенных разрядах молний в линиях сигнализации и связи и рельсовой колее железной дороги возникают атмосферные перенапряжения. Они распространяются вдоль линии и рельсов в обе стороны от места разряда в виде волн (импульсов). Обычно их называют продольными перенапряжениями (провод – земля) в отличие от поперечных перенапряжений, возникающих между проводами (провод – провод).

*Коммутационные перенапряжения* возникают в электрических цепях при изменении режимов их работы. Каждое нарушение установившегося режима электрической цепи вызывает перераспределение запасов электрической и магнитной энергии в индуктивностях и емкостях цепи, сопровождающееся переходными процессами и, следовательно, перенапряжениями.

В устройствах ЖАТ и связи возникновение коммутационных перенапряжений, вызывающих повреждение полупроводниковых приборов, связано с изменениями режима работы низковольтных силовых цепей и цепей постоянного тока. Электропитание устройств ЖАТ и связи осуществляется от силовых трансформаторов мощностью от 0,3 до 100 кВ·А, в первичной или вторичной обмотке которых включены коммутирующие элементы. Наиболее опасные перенапряжения возникают при переключении электропитания (с основного на резервное и наоборот) в цепи первичной обмотки силового трансформатора. Амплитуда коммутационных перенапряжений зависит от режима коммутации (выключения и включения источника тока) и момента коммутации напряжения переменного тока.

Для защиты устройств железнодорожной автоматики и телемеханики от перенапряжений используют различные типы разрядников, отличающиеся конструкцией и электрическими характеристиками. Для защиты устройств от опасных токов применяют

предохранители. К приборам защиты относятся также выравнители, автоматические выключатели (АВМ-1) и молниеотводы.

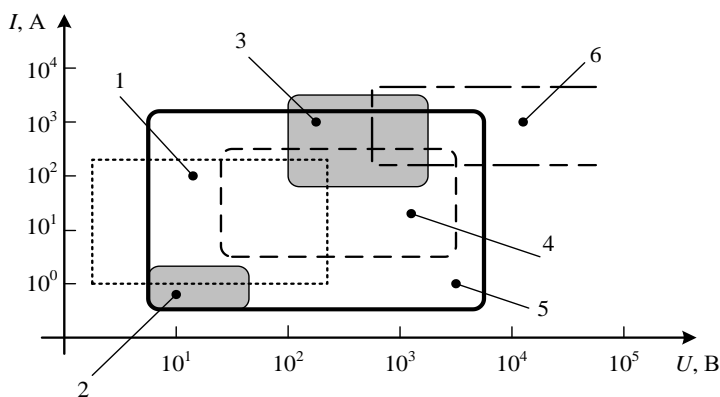
Целесообразность использования для защиты от перенапряжений ограничителей уровня напряжения той или иной группы в зависимости от величины рабочего напряжения защищаемого объекта и ожидаемого тока перенапряжения может быть оценена с помощью рисунка 1.

Остановимся более подробно на каждом из перечисленных видов приборов защиты.

## 1.2 Разрядники

Наибольшее распространение в устройствах ЖАТ получили **вентильные разрядники**. Их используют для защиты цепей с высоким (высоковольтные вентильные разрядники) и низким (низковольтные вентильные разрядники) рабочим напряжением переменного тока. Основными элементами вентильного разрядника являются искровой промежуток (ИП) и нелинейное рабочее сопротивление (РС).

Рабочее сопротивление обычно выполняется из полупроводникового материала (тервита, вилита), обладающего нелинейной вольт-амперной характеристикой. С увеличением напряжения его сопротивление резко падает, а с уменьшением – резко возрастает.



1 – ограничительные диоды; 2 – импульсные стабилитроны; 3 – газонаполненные разрядники; 4 – оксидно-цинковые варисторы; 5 – полупроводниковые разрядники; 6 – вентильные разрядники

Рисунок 1 – Сравнительная оценка ограничителей перенапряжения

Принцип действия вентильного разрядника заключается в следующем. Приходящая с линии волна атмосферного напряжения с амплитудой, превосходящей пробивное напряжение ИП, вызывает пробой разрядника. При этом амплитуда волны снизится до напряжения, безопасного для изоляции защищаемого устройства. После пробоя ток молнии отводится с провода в землю. Одновременно под действием рабочего напряжения электрической цепи протекает ток  $I$ , который как бы "сопровождает" ток молнии. Между электродами ИП возникает дуга, горение которой поддерживается сопровождающим током. Если дугу не погасить, разрядник может выйти из строя. Гашение дуги в вентильных разрядниках происходит за счет



интенсивной деионизации воздушного зазора между электродами ИП при снижении прикладываемого к разряднику напряжения и соответствующем увеличении РС.

Основные параметры разрядников, рекомендованных к применению в устройствах ЖАТ, приведены в таблице 1.

В таблице 1 приняты следующие обозначения:  $U_p$  – рабочее напряжение цепи;  $U_{ст пр}$  – статическое напряжение пробоя;  $U_{дин пр}$  – динамическое напряжение пробоя при скорости нарастания 1000 В/мкс;  $I_{амп доп}$  – допустимая амплитуда одиночного импульса тока длительностью  $20 \pm 2$  мкс;  $U_{ост}$  – остающееся напряжение.

Таблица 1 – Основные параметры разрядников

Параметр	Тип прибора			
	РКШ-600	РКВН-250	РКН-600	РКН-900
$U_p$ , В, в цепи:				
– постоянного тока	120	250	250	250
– переменного тока	250	250	250	250
$U_{ст пр}$ , В	500–800	600–1150	500–800	650–1250
$U_{дин пр}$ , В, не более	2000	2200	2000	2000
$I_{амп доп}$ , А, не более	20000	500	20000 $\pm 2000$	10000 $\pm 1000$
$U_{ост}$ , В	100	1400 при $I = 5000$ А	20–40	20–40
Полный срок службы, лет	25	10	10	10
<i>Примечание</i> – Разрядники РКН обеспечивают гашение сопровождающего тока ( $100 \pm \pm 10$ ) мА в цепи с постоянным рабочим напряжением ( $120 \pm 5$ ) В.				

Буквы в обозначении разрядников обозначают: Р – разрядник, К – керамический, Н – с ножевыми выводами, В – вентильный, Ш – штепсельный.

Разрядники РКН-600 применяются для защиты от продольных перенапряжений при мощности питающего трансформатора до 4 кВА.

Разрядники РКВН-250 используются для защиты от продольных перенапряжений цепей ввода питания 230 В при мощности питающего трансформатора от 4 до 10 кВА и цепей смены направления с рабочим напряжением источника питания от 120 до 250 В.

Разрядники РКН-900 применяются для защиты от продольных перенапряжений линейных (в том числе и цепей смены направления) и

кодовых цепей с рабочим напряжением источника питания до 120 В.

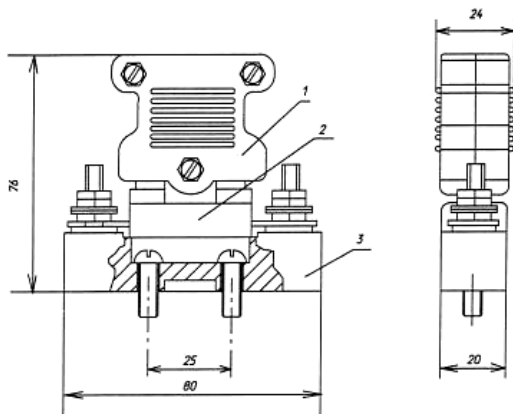
Разрядники РКН-600, РКН-900 и РКВН-250 запрещено использовать для защиты аппаратуры рельсовых цепей.

Разрядники РКН (рисунок 2) предназначены для защиты изоляции цепей переменного тока с напряжением от 0 до 250 В и постоянного тока с напряжением от 0 до 120 В в устройствах железнодорожной автоматики и телемеханики от импульсных перенапряжений, возникающих в результате грозовых разрядов и коммутационных процессов в линиях электропитания.

Разрядники РКН-600 и РКН-900 заменяют разрядники предыдущего поколения РВНШ-250 в цепях защиты вводов питания и цепях ввода – вывода, где влиянием выпрямительного эффекта разрядников можно пренебречь.

Высоковольтные разрядники подробно изучаются в лабораторной работе "Изучение оборудования высоковольтных линий автоблокировки".

Места установки разрядников определяются требованием надежной защиты (ближе к защищаемым приборам), удобства присоединения разрядника к токоведущим проводам и заземляющему контуру, а также удобства обслуживания.



1 – разрядник; 2 – переходная розетка; 3 – контактная колодка

Рисунок 2 – Внешний вид разрядника РКН и выравнителя ВОЦН

Существуют также **газонаполненные разрядники**. Это безнакальные двух- или трехэлектродные защитные приборы, способные под воздействием приложенного напряжения резко

увеличивать свою проводимость и пропускать большие токи.

В зависимости от назначения, условий работы и конструкции в газонаполненных разрядниках могут использоваться свойства импульсного искрового, дугового или тлеющего разряда.

Современные газонаполненные разрядники представляют собой металлокерамические приборы искрового и дугового разряда.

Применение специальных катодных материалов обеспечивает коммутацию импульсных токов до 200 кА с напряжением поддержания разряда в десятки вольт.

Серия современных разрядников Р-81, Р-97, Р-97-3, Р-100, Р-163, Р-165 предназначена для защиты цепей автоматики, телемеханики и связи различных типов от импульсного перенапряжения и от воздействия переменного тока частотой 50 Гц (таблица 2).

Тип прибора	Статическое напряжение пробоя, кВ	Динамическое напряжение пробоя, кВ при $dU/dt=1$ кВ/мкс	Ток анода в импульсе, кА	Длительность импульса тока анода, мкс	Масса, г	Назначение
-------------	-----------------------------------	---	--------------------------	---------------------------------------	----------	------------

Таблица 2 – Характеристики газонаполненных разрядников

<b>P-81</b>	0,25	0,9	10	20	2,0	Защита цепей автоматики, телемеханики и связи от перенапряжений
<b>P-97</b>	0,56	1,5	20	20	16,7	Защита устройств связи, сигнализации и блокировки железных дорог от воздействия импульсов грозового характера и влияния линий электропередач
<b>P-97-3</b>	0,75	2,0	20	20		
<b>P-100</b>	0,2	<0,65	10	17	2,0	Защита оборудования, квазиэлектронных и электронных систем, коммутации и других средств проводной связи от электрических перенапряжений
<b>P-163</b>	0,25	0,7	10	20	2,0	
<b>P-165</b>	0,75-0,95	2	10	20	2,0	

Газонаполненные разрядники имеют ограниченную область применения, так как они не обеспечивают гашения дуги от сопровождающих токов при рабочем напряжении цепи более 40 В. Это явление возникает из-за того, что большие токи нагревают электроды разрядника до температуры, при которой происходит термическая ионизация воздушного межэлектродного зазора, сохраняющаяся и при низком напряжении. Длительное "горение" разрядников вызывает нарушение работы цепей связи. По этой причине газонаполненные разрядники не применяются для защиты цепей с рабочим напряжением выше 40 В или постоянно находящихся под таким напряжением вследствие влияния линий электропередачи или контактной сети.

Другим недостатком газонаполненных разрядников является то, что они обладают выпрямительными свойствами. Пробивное напряжение разрядников зависит от полярности приложенного напряжения.

Существуют также **угольные и искровые разрядники**, которые в настоящее время практически не выпускаются промышленностью.

Угольные разрядники представляют собой две угольные колодки, разделенные диэлектрической прокладкой с вырезом, образующим разрядный промежуток.

Основной недостаток угольных разрядников – зависимость межэлектродного сопротивления от влажности, степени загрязнения электродов, прокладок и от силы сжатия электродов пружинами. Из-за нестабильности характеристик угольные разрядники применялись только в цепях местной связи.

Искровые разрядники являются наиболее простыми элементами защиты устройств автоматики, телемеханики и связи от атмосферных перенапряжений. Они состоят из двух металлических электродов. Один электрод присоединяется к проводу воздушной линии, второй – к заземлению.

### 1.3 Выравниватели

Это полупроводниковые приборы, которые по существу являются нелинейными сопротивлениями, обладающими способностью поглощать энергию, сопутствующую перенапряжениям.

В отличие от разрядника выравниватель не имеет искрового промежутка. Его основным элементом является вентильный диск, сопротивление которого резко изменяется в зависимости от приложенного напряжения: уменьшается с увеличением напряжения и возрастает при его снижении. Чем выше прикладываемое напряжение, тем резче падает сопротивление выравнивателя.

Выравниватели, как и разрядники, могут пропускать импульсы тока в обоих направлениях. Время их срабатывания (пробоя) измеряется микросекундами, т. е. они срабатывают в 1000 раз быстрее разрядников. Это время соизмеримо с временем срабатывания полупроводникового прибора. Поэтому выравниватели применяют, главным образом, в качестве дополнительного каскада защиты полупроводникового прибора от поперечных перенапряжений «провод – провод». Эти средства защиты включают, как правило, параллельно полупроводниковому прибору. Иногда их используют в качестве разрядников и включают между проводом и землей.

Выравниватели являются защитными приборами многократного действия. Они имеют высокую механическую прочность, обеспечивающую стабильность электрических параметров при вибрациях, вызываемых движением поездов. Выравниватели просты по конструкции и не требуют особого ухода.

На железнодорожном транспорте используют оксидноцинковые (ВОЦШ, ВОЦН) и керамические (ВК) выравниватели.

Буквы в обозначении выравнителя обозначают: В – выравнитель, ОЦ – оксидноцинковый, К – керамический, Ш – штепсельный; Н – с ножевыми выводами.

В настоящее время выравнители типов ВОЦШ и ВК снимаются с производства и заменяются выравнителями ВОЦН, поэтому рассмотрим их описание подробнее.

Выравнители ВОЦН-110 применяются для защиты от поперечных перенапряжений аппаратуры (в основном с полупроводниковыми приборами) в цепях с рабочим напряжением до 150 В (переменного тока) и до 250 В (постоянного тока). Основные области применения ВОЦН-110: защита блоков питания линейных цепей (с рабочим напряжением более 40 В); защита аппаратуры цепей кодирования с рабочим напряжением 110 В.

Выравнители ВОЦН-220 применяются для защиты от поперечных перенапряжений аппаратуры в цепях с рабочим напряжением до 250 В (переменного тока) и до 350 В (постоянного тока). Основные области применения ВОЦН-220: защита цепей питания аппаратуры с рабочим напряжением 230 В; защита аппаратуры рельсовых цепей при электротяге постоянного тока и автономной тяге.

Выравнители ВОЦН-380 применяются для защиты от поперечных и/или продольных перенапряжений аппаратуры в цепях с рабочим напряжением до 420 В (переменного тока) и до 600 В (постоянного тока). Основные области применения ВОЦН-380: защита вводов питания 230/400 В (220/380 В); защита аппаратуры рельсовых цепей при электротяге переменного тока.

Выравнители ВОЦН-24 применяются для защиты от поперечных перенапряжений аппаратуры в цепях с рабочим напряжением до 28 В (переменного тока) и до 40 В (постоянного тока). Основные области применения ВОЦН-24: защита аппаратуры рельсовых цепей при автономной тяге; защита блоков питания линейных цепей (с рабочим напряжением до 40 В); защита аппаратуры с полупроводниковыми приборами; соединение шины заземления сигнальной установки автоблокировки с рельсовой линией и выравнивание потенциалов между соседними рельсовыми цепями при воздействии грозовых перенапряжений.

Выравнители ВОЦН-36 используются для защиты от поперечных перенапряжений аппаратуры с полупроводниковыми приборами в цепях с рабочим напряжением до 40 В (постоянного и переменного

тока). Основные области применения ВОЦН-36: защита путевых генераторов (по цепям питания) и огневых реле на сигнальной установке автоблокировки; защита аппаратуры в цепях с рабочим напряжением от 28 до 40 В.

В дополнение к выравнителям и разрядникам для повышения эффективности защиты аппаратуры с полупроводниковыми приборами должны применяться высоколинейные оксидноцинковые варисторы типов СН2-1, ВР-1, ВР-4, ВР-9.

Выравнители ВОЦН имеют внешне такое же исполнение, как и разрядники РКН (см. рисунок 2). Отличить их можно по обозначению на корпусе.

Основные параметры выравнителей ВОЦН, рекомендованных к применению в устройствах ЖАТ, приведены в таблице 3.

В таблице 3 использованы следующие обозначения:  $U_{\max}$  – максимальное напряжение;  $I_{\text{ут}}$  – ток утечки при максимальном рабочем напряжении;  $U_{\text{ост}}$  – остающееся напряжение при воздействии в течение  $16 \pm 3,2$  мкс импульса тока.

#### 1.4 Автоматические выключатели и предохранители

Автоматический выключатель многократного действия АВМ-1 предназначен для защиты от токов перегрузки и короткого замыкания силовых цепей напряжением до 250 В и рельсовых цепей автоблокировки. Он состоит из биметаллической и латунной пластин, включенных последовательно в защищаемую электрическую цепь. В случае превышения номинального тока биметаллическая пластина нагревается и, прогибаясь, разрывает электрическую цепь. После охлаждения пластина под действием пружины выпрямляется и вновь замыкает электрическую цепь.

Таблица 3 – Основные электрические параметры выравнителей ВОЦН

Параметр	Тип прибора				
	ВОЦН-24	ВОЦН-36	ВОЦН-110	ВОЦН-220	ВОЦН-380
$U_{\max}$ , В, – постоянного тока	40	40	250	350	600
– переменного тока	28	40	150	250	420
$I_{\text{ут}}$ , мА, в цепи – постоянного тока	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
– переменного тока	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

$U_{ост}$ , В, при воздействии импульса тока с амплитудой: – $2000 \pm 300$ А – $5000 \pm 500$ А	– 700	– 800	700 –	1000 –	1700 –
--	----------	----------	----------	-----------	-----------

АВМ-1 изготавливают на номинальные токи 3; 5; 7,5; 10 и 15 А.

Схемы защиты устройств СЦБ и связи в необходимых случаях дополняют предохранителями, включаемыми в линейные цепи этих устройств по обе стороны от разрядников. Они защищают аппаратуру и разрядники от разрушения токами, протекающими через них длительное время. Для обеспечения бесперебойной работы цепей предохранители не должны перегорать при срабатывании разрядников во время грозы.

По конструкции предохранители делятся на линейные трубчатые теплоемкие типа СН (с ножевыми контактами), СК (с коническими контактами), ПН и ПК (с плавкой нитью). На местных телефонных станциях применяются предохранители специальной конструкции, называемые термическими катушками.

### 1.5 Молниеотводы

Молниеотводы применяют для защиты воздушных линий от прямых ударов молний. Различают стержневые и тросовые молниеотводы. Их назначение – отклонить молнию от защищаемого объекта и отвести затем опасные токи в землю.

Молниеотвод состоит из трех основных частей:

- молниеприёмник – предназначен для перехвата молнии;
- токоотвод (иначе спуск) – предназначен для отвода тока молнии от молниеприёмника к заземлителю;
- заземлитель – предназначен для надежного контакта токоотвода с землёй.

Элементы молниеотвода соединяются между собой и закрепляются на несущей конструкции. Поскольку вероятность поражения наземного объекта молнией растёт по мере увеличения его высоты, молниеприёмник располагается на возможно большей высоте либо прямо на защищаемом объекте, либо как отдельное сооружение рядом с объектом. Радиус защитного действия молниеотвода определяется его высотой и приближенно рассчитывается по формуле:  $R = 1,732 \cdot h$ , где  $h$  – высота от самой высокой точки защищаемого объекта до пика молниеотвода.



## 1.6 Особенности исполнения защиты

Приборы защиты от перенапряжений размещают на станинах, в релейных шкафах (РШ), панелях питания, путевых и кабельных ящиках на специальных панелях защиты.

Для установки выравнивателей и разрядников применяют специальную контактную колодку, на которой располагается переходная розетка. В переходную розетку вставляется защитный прибор.

Для повышения групповой защиты (когда один выравниватель применяется для защиты нескольких приборов) необходимо использовать: четырехпроводную схему подключения выравнивателя (рисунок 3), при которой соединение жил кабеля и монтажных проводов осуществляется на выводах контактной колодки выравнивателя; кабель с парной скруткой для участка цепи от источника перенапряжений до прибора защиты.

На рисунке 3 кружками со штриховой линией указаны места подключения жил кабеля и монтажного провода на клеммах (выводах) прибора защиты.

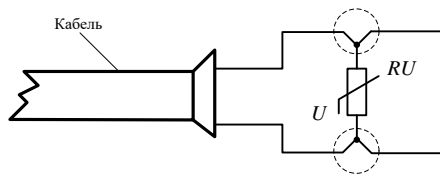


Рисунок 3 – Подключение прибора защиты с применением четырехпроводной схемы

С целью повышения эффективности индивидуальной защиты (когда один варистор применяется для защиты одного прибора) следует использовать: подключение прибора защиты к выводам защищаемого прибора проводами минимальной длины сечением не менее  $0,75 \text{ мм}^2$ ; подключение защищаемой аппаратуры с полупроводниковыми приборами к прибору защиты витой парой (рисунок 4) с шагом скрутки не более 10 мм.

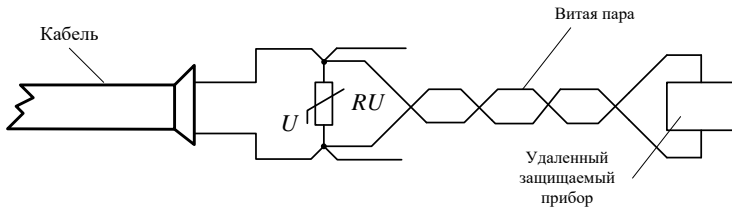


Рисунок 4 – Подключение защищаемого прибора витой парой

Рассмотрим схему защиты цепей питания сигнальной установки автоблокировки (рисунок 5). В данной схеме для защиты цепей используются разрядники и выравниватели.

Разрядники РКН-600 применяются, если мощность питающего трансформатора ПТ не превышает 4 кВА. При использовании более мощных трансформаторов (до 10 кВА включительно) в схеме следует разрядники РКН-600 заменить на РКВН-250.

Выравниватели ВОЦН-220 включаются после предохранителей-выключателей 20 А. Аварийные реле должны подключаться к выравнивателю витой парой с шагом скрутки не более 10 мм.

Дополнительно, для защиты аппаратуры, подключенной к цепи питания ПХ-ОХ от перенапряжений, совпадающих по времени с переключением фидеров питания (и переключением контактов реле А) используются выравниватели ВОЦН-220, подключенные к первичной обмотке кодирующего или путевого трансформатора.

Защита аппаратуры станционных рельсовых цепей от перенапряжений выполняется в соответствии со схемами, представленными на рисунках 6–8.

В схеме защиты рельсовых цепей на станции при автономной тяге используются два выравнивателя ВОЦН -220 и ВОЦН-24 (см. рисунок 6).

При электротяге постоянного тока (см. рисунок 7) в схеме защиты применяются два выравнивателя ВОЦН-220 и автоматический выключатель АВМ.

В случае электротяги переменного тока (см. рисунок 8), в качестве элементов защиты применяются тиристорные устройства защиты типа УЗТ совместно с резистором  $R_0$  и автоматические выключатели АВМ. Регулятор резистора  $R_0$  должен быть установлен в положение, при котором сопротивление резистора в цепи с УЗТ составляет  $10 \pm 1$  Ом.

Для подключения приборов защиты должен использоваться монтажный провод сечением не менее  $1,5 \text{ мм}^2$ .

Тиристорные защитные устройства типа УЗТ (рисунок 9) используют на электрифицированных участках железных дорог переменного тока для защиты путевой аппаратуры рельсовых цепей от коммутационных перенапряжений, возникающих при аварийных режимах работы тяговой сети и асимметрии тяговых токов рельсовых цепей.

В каждом УЗТ находится тиристорный блок, состоящий из двух тиристоров  $VS1$ ,  $VS2$ , включенных встречно-параллельно, и двух оксидноцинковых варисторов  $RU1$  и  $RU2$ , установленных в цепи управления тиристорами. Напряжение срабатывания УЗТ-1 ( $600 \pm 200$ ) В.

Принцип действия УЗТ заключается в следующем. При отсутствии импульсов коммутационных перенапряжений тиристоры закрыты и ток, протекающий через тиристорный блок, очень мал. Сопротивление УЗТ измеряется сотнями кОм. При воздействии импульсов коммутационных перенапряжений ток варисторов, включенных в цепи управления, увеличивается лавинообразно. Тиристор открывается мгновенно и его сопротивление снижается с сотен кОм до нескольких Ом. Защищаемые путевые приборы шунтируются и ограничиваются коммутационные перенапряжения устройствами УЗТ-1 до значения, равного остающемуся напряжению выравнивателя, т. е. до 1200 В при максимальном токе 120 А.

## **2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

1 Изучить теоретические сведения по данному практикуму и рекомендуемой преподавателем литературе.

2 По имеющимся в лаборатории образцам оборудования защиты от перенапряжений наглядно ознакомиться с его конструктивным исполнением и способами монтажа.

3 Сделать выводы по работе, в которых отразить основные особенности заданного преподавателем элемента защиты от опасных напряжений и токов и схем защиты с его применением.

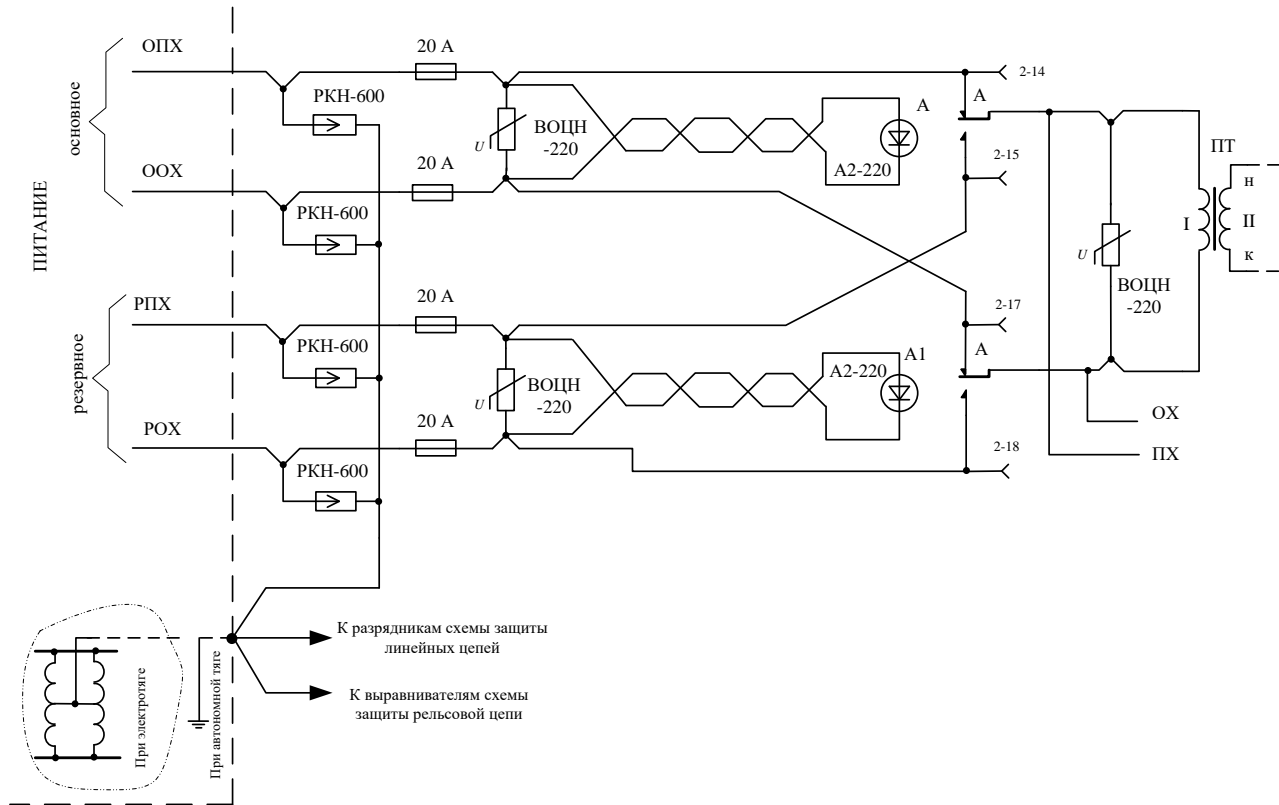


Рисунок 5 – Схема защиты цепей питания сигнальной установки автоблокировки

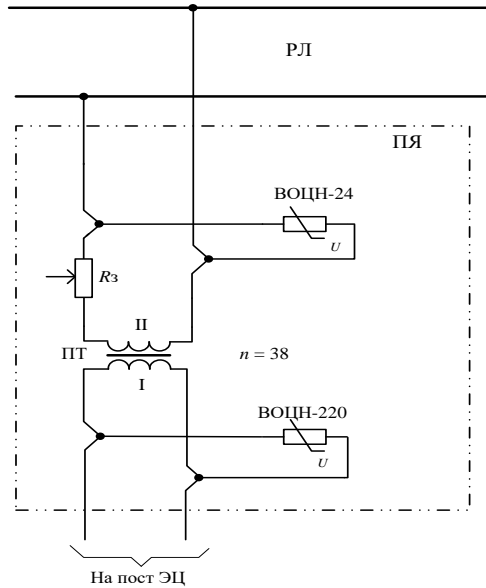


Рисунок 6 – Схема защиты аппаратуры стационарных рельсовых цепей при автономной тяге

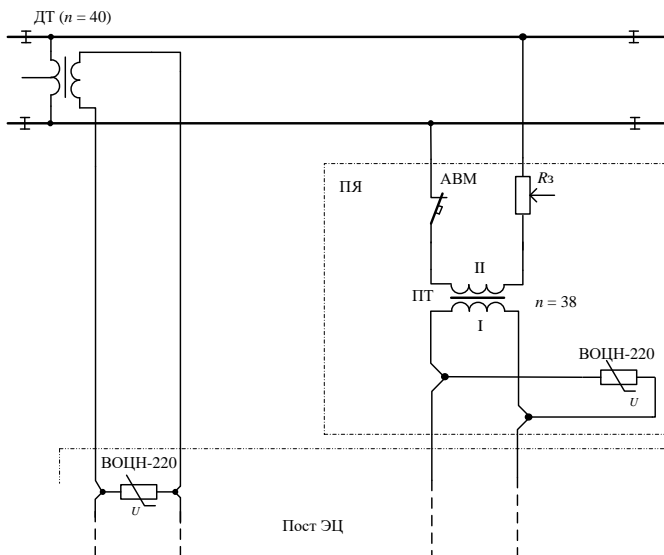


Рисунок 7 – Схема защиты аппаратуры стационарных рельсовых цепей при электротяге постоянного тока

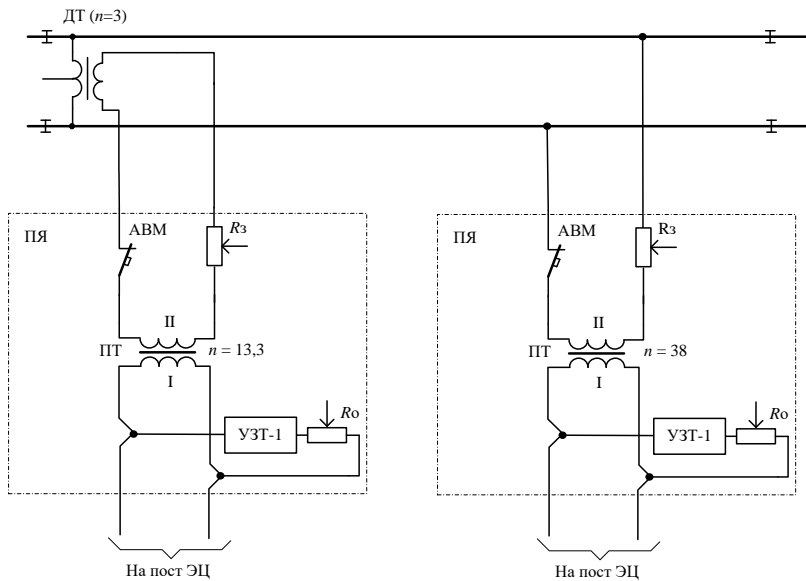
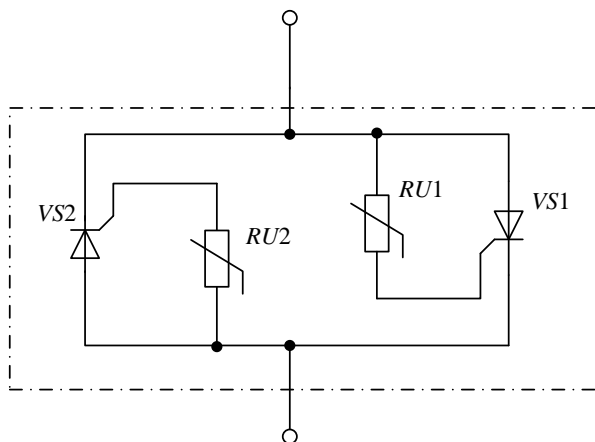


Рисунок 8 – Схема защиты аппаратуры станционных рельсовых цепей при электротяге переменного тока



УЗТ-1 – VS1 и VS2 – тиристоры типа Т132-40-9; RU1 и RU2 – варисторы типа СН2-1-470;  
 УЗТ-2 – VS1 и VS2 – тиристоры типа Т132-40-4; RU1 и RU2 – варисторы типа СН2-1-120;

Рисунок 9 – Схема электрическая принципиальная тиристорного устройства защиты УЗТ

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Краткая характеристика приборов защиты устройств автоматики и телемеханики от опасных напряжений и токов.
- 3 Схема защиты по указанию преподавателя.
- 4 Ответы на заданные преподавателем контрольные вопросы.
- 5 Выводы по работе.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Какие элементы защиты от перенапряжений устройств автоматики и телемеханики вам известны?
- 2 Каково назначение тиристорных устройств защиты УЗТ?
- 3 Какие две группы перенапряжений вам известны?
- 4 Приведите основные параметры разрядников.
- 5 В чем заключается принцип действия вентильного разрядника?
- 6 Приведите основные характеристики газонаполненных разрядников.
- 7 В чем заключается назначение АВМ-1?
- 8 Приведите основные параметры выравнителей.
- 9 Чем отличаются продольные и поперечные перенапряжения?
- 10 Что является источником атмосферных перенапряжений?
- 11 Как определить радиус защитного действия молниеотвода?
- 12 Что является источником коммутационных перенапряжений?
- 13 Предохранители каких видов применяют для защиты от опасных токов в устройствах ЖАТ?
- 14 Каковы недостатки газонаполненных разрядников?
- 15 Каковы отличительные особенности выравнителей?
- 16 В чем заключается недостаток угольных разрядников?
- 17 Для защиты каких цепей применяют ВОЦН-220 и ВОЦН-24?
- 18 Для защиты каких цепей применяют ВОЦН-380 и ВОЦН-36?
- 19 На какие номинальные токи рассчитан АВМ-1?
- 20 Из каких основных частей состоит молниеотвод?

## Лабораторная работа № 6

### РАСЧЕТ ВЛИЯНИЙ ТЯГОВОЙ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ

**Ц е л ь р а б о т ы .** Определить напряжение, индуктируемое на изолированном конце жилы кабеля в вынужденном режиме и режиме короткого замыкания и сделать выводы о соответствии полученного значения напряжения норме.

# 1 СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

## 1.1 Общие сведения

На железных дорогах Республики Беларусь в настоящее время преобладает электротяга переменного тока. Тяговая сеть переменного тока является несимметричной однопроводной цепью и оказывает опасные электромагнитные влияния на цепи автоматики, телемеханики и связи (АТиС), расположенные в зоне ее действия.

Величина опасных и мешающих влияний зависит от режима работы тяговой сети, конфигурации сближения и расположения металлических экранирующих материалов (рельсов, металлических покровов кабелей и др.) и не должна превышать установленные нормами допустимые значения.

Под сближением понимают такое взаимное расположение тягового провода и линии АТиС, при котором в последней могут возникать опасные и мешающие токи и напряжения. Длиной сближения  $L_{сб}$  называют длину той части линии АТиС, которая находится в зоне влияния тяговой сети. Шириной сближения называют кратчайшее расстояние между контактным проводом и проводом цепи связи. Если ширина сближения по длине участка изменяется не более чем на 10 %, то сближение считается параллельным. При невыполнении этого условия имеет место косое сближение. Сближение, состоящее из параллельных и косых участков, называется сложным.

Опасные напряжения в жилах кабелей возникают при аварийном (коротком замыкании тяговой сети на землю) и вынужденном (выключении одной из тяговых подстанций) режимах работы тяговой сети.

Влияние электрифицированных железных дорог зависит от схемы питания и режима работы тяговой сети. Различают одно- и двухстороннюю схемы питания. При одностороннем питании участок тяговой сети (плечо питания) получает питание от одной тяговой подстанции ТП (рисунок 1, *а*); а при двухстороннем – от двух (рисунок 1, *б*). В последнем случае в середине плеча питания устанавливается секционный разъединитель *С*.

Возможны три режима работы тяговой сети: нормальный, вынужденный и аварийный. При нормальном режиме все тяговые подстанции включены согласно принятым схемам питания.



Вынужденный режим возникает при отключении одной из тяговых подстанций и замыкании секционного разъединителя. Длительность вынужденного режима, как правило, не должна превышать 2 ч. Аварийный режим или режим короткого замыкания соответствует замыканию контактного провода на рельсы. Тяговые подстанции снабжаются быстродействующими отключающими устройствами, ограничивающими длительность аварийного режима до 0,6 с.

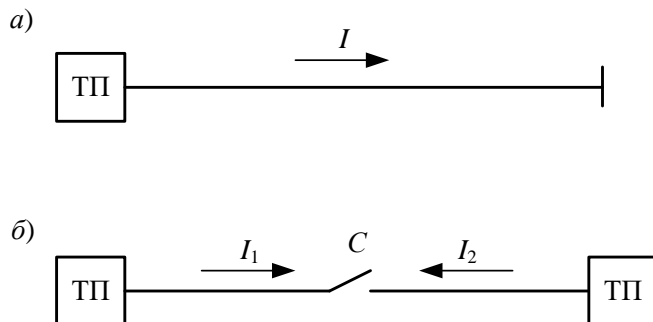


Рисунок 1 – Схемы питания

В лабораторной работе необходимо определить опасные влияния как для вынужденного режима работы тяговой сети, так и для режима короткого замыкания.

## 1.2 Расчет влияний тяговой сети на станционные кабельные сети

Для режима короткого замыкания величина,  $U_{\text{вз}}$ , опасного напряжения (на изолированном конце жилы кабеля при заземленном противоположном конце) может быть определена по формуле

$$U_{\text{вз}} = \omega M I_{\text{вз}} S_{\text{д}} S_{\text{ж}} L_{\text{пз}}, \quad (1)$$

где  $\omega = 2\pi f$  – круговая частота влияющего тока частотой 50 Гц;

$M$  – взаимная индуктивность, Гн/км, между тяговой сетью и жилой кабеля при частоте 50 Гц,

$$M = 10^{-4} \ln \left[ 1 + 6 \cdot 10^5 / a^2 \delta f \right], \quad (2)$$

- $a$  – ширина сближения, м;
- $\delta$  – проводимость грунта, См/м;
- $I_{кз}$  – ток короткого замыкания влияющей тяговой сети, А;
- $S_p$  – коэффициент экранирования рельсов, принимается равным 0,5;
- $S_k$  – коэффициент защитного действия оболочки кабеля в пластмассовой оболочке на частоте 50 Гц, составляющий 1,0;
- $L_{сб}$  – расчетная длина сближения кабельной цепи с тяговой сетью, км.

Для вынужденного режима величину опасного напряжения, В, на изолированном конце жилы кабеля при заземленном противоположном конце следует определять по формуле

$$U_{\hat{a}\delta} = \omega M I_{\hat{a}\epsilon} S_{\delta} S_{\epsilon} L_{\hat{n}\acute{a}} , \quad (3)$$

где  $I_{вл}$  – эквивалентный влияющий ток, А, частотой 50 Гц, определяемый по максимальному падению напряжения в тяговой сети при вынужденном режиме работы,

$$I_{вл} = I_{рез} K_m, \quad (4)$$

$I_{рез}$  – результирующий нагрузочный ток расчетного плеча питания при вынужденном режиме работы тяговой сети, А,

$$I_{\delta\acute{a}\epsilon} = \frac{2m}{m+1} \frac{\Delta U_{\delta\hat{n}}^{\max}}{(R_{\delta\hat{n}} \cos \varphi + X_{\delta\hat{n}} \sin \varphi) L_y} , \quad (5)$$

$\Delta U_{\delta\hat{n}}^{\max}$  – максимальные потери напряжения в тяговой сети между подстанцией и максимально удаленным электровозом, В; при  $L_{\delta} > 30$  км  $\Delta U_{\delta\hat{n}}^{\max} = 8500$  В;

- $L_{\delta}$  – длина плеча питания тяговой сети, км;
- $R_{тс}$  и  $X_{тс}$  – соответственно активное и реактивное сопротивления тяговой сети, Ом/км; величины  $R_{тс}$  и  $X_{тс}$  при расчетах принять равными соответственно 0,12 и 0,48 Ом/км;
- $m$  – количество поездов, одновременно находящихся в пределах плеча питания тяговой сети при вынужденном режиме;

$\cos\varphi$  – коэффициент мощности электровоза ( $\cos\varphi = 0,8$ );

$K_m$  – коэффициент, характеризующий уменьшение влияющего тока  $I_{вл}$  по сравнению с нагрузочным  $I_{рез}$ ,

$$K_m = \frac{1}{m} \left[ 1 + (m-1) \left[ 1 - \frac{2L_{г} + L_{на}}{2L_{г}} \right] \right], \quad (6)$$

$L_{н}$  – расстояние от тяговой подстанции до начала трассы кабеля.

Нормой опасного напряжения для вынужденного режима работы контактной сети в проводах установлена величина  $U_{\text{ао}}^i = 250$  В, а для режима короткого замыкания норма опасного напряжения составляет  $U_{\text{эс}}^i = 1000$  В.

Таким образом, по результатам расчетов следует проверить два соотношения  $U_{\text{ао}} < U_{\text{ао}}^i$  и  $U_{\text{эс}} < U_{\text{эс}}^i$ . В том случае, если хотя бы одно из них не выполняется, то вместо кабеля в пластмассовой оболочке с  $S_k = 1,0$  следует выбрать кабель в алюминиевой оболочке с  $S_k = 0,7$  без брони или с  $S_k = 0,3$  с броней и определить вновь значения индуктируемых в жилах напряжений.

### 1.3 Расчет влияний тяговой сети на кабельные линии связи, расположенные на перегоне

Нормы опасных влияний для цепей связи установлены таким образом, чтобы обеспечивалась безопасность лиц, обслуживающих подключаемые к цепям связи устройства и пользующихся ими, а также, чтобы исключались повреждения устройств связи и кабеля.

Для вынужденного режима работы тяговой сети напряжение, индуктированное в жиле кабеля по отношению к земле при условии заземления жилы на противоположном конце кабеля, не должно превышать 36 В, а для режима короткого замыкания контактного провода на землю при времени отключения тяговой сети менее 0,6 с – 160 В. Выполнить такие нормы при размещении кабеля в полосе отвода практически невозможно. Поэтому допускаются большие напряжения на жилах кабеля относительно земли. Аппаратуру к цепям таких кабелей подключают через изолирующие трансформаторы, а техническое обслуживание и ремонт кабельной линии выполняют с соблюдением особых мер предосторожности.

При вынужденном режиме работы тяговой сети максимальное напряжение, индуктируемое в жилах, не должно превышать в этом случае действующего, напряжения дистанционного питания аппаратуры уплотнения, а при аварийном режиме –  $0,6U_{исп}$ , где  $U_{исп}$  – испытательное напряжение изоляции жил кабеля и вводного оборудования подключаемой к ним аппаратуры. Испытательное напряжение изоляции жил типовых железнодорожных кабелей связи равно 2000 В.

Напряжение дистанционного питания аппаратуры уплотнения зависит от ее типа и длины секции дистанционного питания. Для большинства типов цифровой аппаратуры уплотнения это напряжение составляет 700 В или 850 В при длине секции дистанционного питания 90 или 210 км соответственно.

Мешающие влияния в цепях связи ограничены нормами до величин, гарантирующих достаточную разборчивость полезного сигнала в цепи. Нормы мешающих напряжений установлены для телефонных цепей тональной частоты в психометрических единицах. В соответствии с рекомендациями международного консультативного комитета по телефонии и телеграфии (МККТТ) напряжение шума в кабельных цепях избирательной связи не должно превышать 1 мВ.

Расчетные соотношения для определения опасных влияний на цепи связи такие же, как и для расчета опасных влияний станционных кабельных сетей.

## **2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

1 По рекомендованной преподавателем литературе и данным методическим указаниям ознакомиться с теоретическими сведениями по видам влияний и принципам их расчета.

2 По приведенным в практикуме формулам рассчитать величины влияющих напряжений согласно заданному преподавателем варианту (таблица 1). При этом, если длина сближения по варианту задания составляет до 5 км, расчет следует вести для станционных кабельных сетей, а в противном случае – для цепей связи. При определении норм влияний для цепей связи для нечетных вариантов задания выбрать длину секции дистанционного питания аппаратуры

цифрового уплотнения 90 км, а для четных – 210 км.

3 Сделать выводы и рекомендации по полученным результатам расчетов.

Таблица 1 – Варианты заданий

Вариант	Длина плеча питания тяговой сети $L_{\Sigma}$ , км	Ток короткого замыкания $I_{кз}$ , кА	Проводимость грунта $\delta$ , мСм/м	Расстояние от тяговой подстанции до трассы кабеля $L_{\text{д}}$ , км	Длина сближения $L_{\text{сб}}$ , км	Ширина сближения $a$ , м	Количество поездов $m$ , одновременно находящихся в пределах плеча питания тяговой сети
01	40	10	15	0,2	1,7	5	4
02	65	9	140	64	6	10	5
03	41	8	20	0,3	1,8	6	6
04	64	7	130	60	4	20	6
05	42	6	30	1,0	3,2	3	5
06	63	5	120	45	12	15	5
07	43	4	40	15,5	1,5	4,5	4
08	62	3	110	2,5	2,5	5,5	4
09	44	2	50	17	16	35	5
10	61	2,5	100	3,5	7,5	12	6
11	45	3,5	60	31	1,1	10	5
12	60	4,5	90	3,6	11,5	47	6
13	46	5,5	70	21	12	36	6
14	59	6,5	80	4,8	14,5	18	6
15	47	7,5	15	7,5	18	46	4
16	58	8,5	18	25	16,5	10	4
17	48	9,5	22	20	1,5	8	5
18	59	2,6	33	11	20	29	6
19	49	3,6	135	7	0,9	6,5	5
20	58	4,6	125	0,6	11,5	44	4
21	50	5,6	115	1,5	0,8	7	5
22	57	6,6	105	0,05	13,5	29	6
23	51	7,6	95	3,5	0,95	4,8	5
24	56	8,6	85	2,0	15	39	4
25	52	9,6	75	0,06	2,5	5,5	5
26	55	9,7	65	5,0	21	28	4
27	53	8,7	55	8,0	1,6	7,5	6
28	54	7,7	45	0,15	3,5	3,5	5
29	40	6,7	35	7,5	14	44	6
30	64	5,7	25	0,25	3,2	4	4
31	42	4,7	26	4,5	6,5	14	5
32	62	3,7	44	60	7	42	6
33	44	2,7	127	2,5	9	32	4
34	60	5,5	38	8	2,0	11	5
35	50	6,5	138	1,2	1,2	12	6

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Сведения по нормам опасных и мешающих влияний для цепей автоматики на станциях и для цепей связи на перегоне.
- 3 Расчетные соотношения с подстановкой данных своего варианта задания.
- 4 Ответы на заданные преподавателем контрольные вопросы.
- 5 Выводы по работе.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Какие режимы работы тяговой сети вам известны?
- 2 От каких факторов зависит величина напряжения опасного влияния?
- 3 Что называется сближением?
- 4 Что такое длина сближения?
- 5 Что такое ширина сближения?
- 6 По каким признакам отличают параллельное и сложное сближения?
- 7 Как отличить опасные и мешающие влияния?
- 8 Какие схемы питания тяговой сети вам известны?
- 9 Каким образом устанавливаются нормы опасных влияний для цепей связи?
- 10 Какие вам известны коэффициенты защитного действия оболочки кабеля?
- 11 Какова величина коэффициента экранирования рельсов, принятая в лабораторной работе?
- 12 Чему равна величина испытательного напряжения изоляции жил типовых железнодорожных кабелей связи?

### СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Линии автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / В. В. Виноградов [и др.]. – М. : Транспорт, 1990. – 231 с.
- 2 *Ионов, А. Д.* Линии связи : учеб. пособие для вузов / А. Д. Ионов, Б. В. Попов. – М. : Радио и связь, 1990. – 168 с.
- 3 *Гроднев, И. И.* Линии связи : учеб. для вузов / И. И. Гроднев, С. М. Верник. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 1988. – 544 с.
- 4 И-247-97 Методические указания по защите от перенапряжений устройств автоблокировки и электрической централизации. – М., 1999. – 38 с.
- 5 Электромагнитные влияния на сооружения связи / М. И. Михайлов [и др.]. – М. : Связь, 1979. – 288 с.
- 6 *Евсеев, И. Г.* Защита устройств связи и СЦБ / И. Г. Евсеев. – М. : Транспорт, 1982. – 176 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Лабораторная работа № 4</i> Симметрирование низкочастотных кабелей связи.....	3
<i>Лабораторная работа № 5</i> Защита устройств железнодорожной автоматики и телемеханики от опасных напряжений и токов .....	13
<i>Лабораторная работа № 6</i> Расчет влияний тяговой сети переменного тока на кабельные линии.....	29
Список рекомендуемой литературы.....	36

Учебное издание

*БЕРЕЗНЯЦКИЙ Юрий Фёдорович*  
*СЕРЕНКОВ Анатолий Григорьевич*

## ЛИНИИ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНИКИ И СВЯЗИ

Лабораторный практикум  
Часть 2

Редактор *Т. М. Ризевская*  
Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Подписано в печать 25.11.2011 г. Формат 60×84  $\frac{1}{16}$ .  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,97. Тираж 200 экз.  
Заказ № 3282. Изд. № 144.

Издатель и полиграфическое исполнение  
Белорусский государственный университет транспорта:  
ЛИ № 02330/0552508 от 09.07.2009 г.  
ЛП № 02330/0494150 от 03.04.2009 г.  
246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра автоматике и телемеханики**

**Ю. Ф. БЕРЕЗНЯЦКИЙ, А. Г. СЕРЕНКОВ**

**ЛИНИИ АВТОМАТИКИ,  
ТЕЛЕМЕХАНИКИ И СВЯЗИ**

**Лабораторный практикум**

**Часть 2**

**Гомель 2011**