


Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА, ГЕОЛОГИИ И ГЕОТЕХНОЛОГИИ
(институт)

ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ГОРНО – МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
ПРОИЗВОДСТВА
(кафедра)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 С.В. Кузьмин
(подпись) (инициалы, фамилия)

«09» Февраля 2018г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

21.05.04. Горное дело

(код и наименование специальности)

21.05.04.10 Электрификация и автоматизация горного производства

(код и наименование специализации)

«Разработка и внедрение лаборатории по курсу «Электромагнитная
обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».

Проектирование, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной
работы «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на
подстанциях напряжением 220 кВ»

(тема)

Пояснительная записка

Руководитель

 09.02.2018
(подпись, дата)

к.т.н., доцент
(подпись, ученая степень)

С.В. Кузьмин
(инициалы, фамилия)

Выпускник

 09.02.2018
(подпись, дата)

А.В. Козырев
(инициалы, фамилия)

Красноярск 2018г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему: «Разработка и внедрение лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях». Проектирование, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной работы «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на подстанциях напряжением 220 кВ» содержит 101 лист, 35 рисунков, 22 таблицы, 9 источников, 9 листов формата А1 графического материала.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ОБСТАНОВКА, ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ, КОНТРОЛЬНЫЙ КАБЕЛЬ, РАЗРАБОТКА, МОНТАЖ, НАЛАДКА И АПРОБАЦИЯ СТЕНДА, ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.

Объектом дипломной работы является лабораторная установка для оценки термической устойчивости экранов контрольных кабелей при однофазном коротком замыкании на подстанции 220кВ.

Цель работы: разработка стенда и методического обеспечения по оценке термической устойчивости экранов контрольных кабелей при однофазном коротком замыкании на подстанции 220кВ.

В процессе работы проведены: классификация электромагнитных помех и требования к микропроцессорным устройствам; теоретическое изучение конструкции и способов прокладки контрольных кабелей, методов оценки термической устойчивости экранов контрольных кабелей; разработка схемы стенда по оценке термической устойчивости экранов контрольных кабелей при коротком замыкании на подстанции 220кВ; разработка конструкции стенда, монтаж, наладка и апробация работы стенда; разработка методического обеспечения по выполнению лабораторной работы; выполнение условий безопасности жизнедеятельности при монтаже и наладке лабораторного стенда; разработка сетевого графика создания стенда для своевременного завершения работ.

Использование установки в лабораторном практикуме поможет студентам в закреплении теоретических знаний по тематике лекционного материала дисциплины «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1. Общие технические и проектные решения по разработке и внедрению лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».....	6
1.1 Актуальность разработки лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».....	6
1.2 Описание лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».....	10
1.3 Схема электроснабжения и приборный парк лаборатории.....	23
1.4 Вывод по разделу 1.....	26
2. Особенности конструкции контрольных кабелей и способы их прокладки по ОРУ подстанции.....	27
2.1 Маркировка и конструкция контрольных кабелей.....	27
2.2 Способы прокладки контрольных кабелей.....	30
2.2.1 Прокладка контрольных кабелей в траншеях (в земле).....	31
2.2.2 Прокладка контрольных кабелей по кабельным конструкциям в туннелях и каналах.....	31
2.2.3 Прокладка контрольных кабелей на лотках и в коробах.....	32
2.3 Экранированные контрольные кабели.....	33
2.4 Выводы по 2 разделу.....	34
3. Теоретическое изучение методов и средств оценки термической устойчивости экранов контрольных кабелей.....	35
3.1 Выводы по 3 разделу.....	42
4. Теоретическая разработка схемы стенда по изучению термической устойчивости экранов контрольных кабелей.....	44
4.1 Основные условия для разработки стенда.....	44
4.2 Компьютерное моделирование схемы и результаты моделирования.....	45
4.2.1 Моделирование схемы с сопротивлениями контура ЗУ 20ма.....	46
4.2.2 Моделирование схемы с сопротивлениями контура ЗУ 5,10ма.....	49
4.3 Имитация работы шины уравнивания потенциалов.....	53
4.4 Выводы по 4 разделу.....	55
5. Разработка конструкции стенда, принципиальной и монтажной схемы, апробирование работы стенда.....	56
5.1 Описание конструкции и дизайн стенда.....	56
5.2 Разработка и описание принципиальной схемы стенда.....	61
5.3 Монтажная схема.....	64
5.4 Апробация лабораторного стенда.....	64
5.4.1 Имитация режима КЗ.....	64
5.4.2 Перерасчет полученных данных к реальным значениям.....	66
5.5 Выводы по 5 разделу.....	69
6. Разработка методического обеспечения.....	70

6.1 Методические указания к лабораторным работам : «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на подстанциях напряжением 110,220кВ».....	70
6.1.1 Введение.....	73
6.1.2 Техника безопасности при работах в лаборатории.....	73
6.1.3 Общие указания по оформлению отчетов.....	74
6.1.4 Общие положения.....	74
6.1.5 Термины и определения.....	79
6.1.6 Указания по выполнению лабораторной работы.....	81
6.1.7 Вопросы для самопроверки.....	87
6.2 Указания для проверки полученных результатов при выполнении лабораторной работы.....	88
7. Безопасность жизнедеятельности.....	91
7.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	91
7.2 Технические и организационные мероприятия по охране труда.....	91
7.3 Мероприятия по производственной санитарии.....	93
7.4 Мероприятия по пожарной и взрывной безопасности.....	94
8. Экономика.....	95
Заключение.....	98
Список сокращений.....	100
Список используемых источников.....	101

ВВЕДЕНИЕ

Широкое использование микропроцессорной (МП) техники и устройств на подстанциях (ПС) 110 кВ и выше требует решения вопроса электромагнитной совместимости с оборудованием подстанций и режимами ее работы. К режимам работы подстанций относятся:

- нормальный режим эксплуатации;
- аварийные режимы, к которым относятся режимы короткого замыкания (КЗ) и эксплуатация ПС в период грозовой активности.

Известно [1], что импульсные магнитные поля, возникающие в режиме КЗ или при разряде молнии в молниеприемник на ПС, негативно влияют на работоспособность микропроцессорных устройств (МПУ). Негативное влияние на работоспособность МПУ оказывают и электромагнитные помехи, распространяющиеся в воздушном пространстве или по контрольным кабелям.

Одним из важных аспектов воздействия режимов КЗ на работоспособность МПУ является термическая устойчивость контрольных кабелей, которые связывают устройства релейной защиты и автоматики (РЗА), учета электроэнергии, сбора и передачи информации с трансформаторами тока (ТТ) и трансформаторами напряжения (ТН) расположенными на открытых распределительных устройствах (ОРУ) подстанции. Очевидно, что выход из строя контрольного кабеля приводит к срыву функционирования МПУ, что может привести к тому, что устройства РЗА не будут реагировать на аварийные режимы.

Приобретение студентами навыков и опыта в определении термической устойчивости контрольных кабелей в режимах КЗ на ОРУ подстанции является актуальной задачей. Вследствие вышеизложенного, целью настоящей дипломной работы является разработка стенда и методического обеспечения по оценке термической устойчивости контрольных кабелей к режимам КЗ. Для решения поставленной цели необходимо решить и рассмотреть следующие задачи:

- 1) Особенности конструкции контрольных кабелей и способы их прокладки по ОРУ подстанции.
- 2) Теоретическое изучение методов и средств оценки термической устойчивости контрольных кабелей.
- 3) Теоретическая разработка схемы стенда по изучению термической устойчивости контрольных кабелей.
- 4) Разработка конструкции стенда, принципиальной и монтажной схемы, апробирование работы стенда.
- 5) Разработка методического обеспечения по выполнению лабораторной работы по обеспечению термической устойчивости экранов контрольных кабелей.

1. Общие технические и проектные решения по разработке и внедрению лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»

1.1 Актуальность разработки лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»

Учебной программой подготовки специалистов по направлению «Электрификация и автоматизация горных работ» предусмотрена дисциплина «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях». Изучение данной дисциплины связано с широким внедрением микропроцессорной техники на ПС. Использование МПУ техники позволяет коренным образом изменить функционирование подстанций. Защиты, выполненные на МПУ становятся универсальными, занимают небольшие пространства, позволяют выполнять резервирование, что приводит к повышению надежности подстанции в целом.

Опыт эксплуатации МПУ на ПС показал, что надежная работа устройств обеспечивается соответствующей электромагнитной обстановкой и электромагнитной совместимостью с режимами работы и оборудованием подстанций. Основные требования для МПУ приведены в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Виды испытаний на помехоустойчивость и помехоэмиссию вторичного оборудования и рекомендуемые степени жесткости

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
1	Напряжения и токи промышленной частоты при КЗ на землю. Испытания электрической прочности изоляции (напряжение в установившемся режиме) и импульсным напряжением.	ГОСТ 30328-95 МЭК 60255-5		2000В переменного тока	Для всех портов питания и для портов проводных цепей, выходящих на РУ
Порт корпуса					
2	Магнитные поля промышленной частоты от силового оборудования в нормальных и аварийных режимах. На устойчивость к воздействию магнитного поля промышленной частоты	ГОСТ Р 50648-94 (МЭК 61000-4-8).	5 степень	100А/м(длительно) 1000А/м (кратковременно)	Для устройств чувствительных к магнитным полям
			2 степень	3А/м (длительно)	Для мониторов с электроннолучевой трубкой

Продолжение таблицы 1.1

3	Электромагнитные поля радиочастотного диапазона от внешних и внутренних устройств связи. На устойчивость к излучаемым радиочастотным электромагнитным полям	ГОСТ Р 51317.4.3-99 (МЭК 6100-4-3)	Не ниже 3 степени	10В/м	Для всех устройств
4	Импульсные магнитные поля от молнии и первичных цепей. На устойчивость к импульсному магнитному полю.	ГОСТ Р 50649-94 (МЭК 61000-4-10-93)	Не ниже 4 степени	300А/м	Для устройств чувствительных к магнитным полям
5	Разряды статического электричества с персонала. На устойчивость к разрядам статического электричества	ГОСТ Р 51317.4.2-99 (МЭК 61000-4-2-95, МЭК 60255-22-2-96)	Не ниже 3 степени жесткости	6кВ контактный 8кВ воздушный	Для всех устройств.
Сигнальные порты					
6	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам.	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12-96)	Локальное Полевое 3степень (для однократных) 2 степень (для повторяющихся) <u>С оборудованием</u> 4 степень (для однократных) 3 степень (для повторяющихся)	- 2кВ(провод-земля), 1кВ (провод-провод) 1кВ(провод-земля), 0,5кВ (провод-провод) 4кВ(провод-земля), 2 кВ (провод-провод) Противофазное 2,5кВ(провод-земля), 1 кВ (провод-провод)	Для всех устройств
7	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК61000-4-5-95)	Локальное Провод-земля 2 степень Провод-провод 1 степень Полевое Провод – земля 3 степень Провод-провод 2 степень С оборудованием Провод земля 4 степень Провод – провод 3 степень	1кВ 0,5кВ 2кВ 1кВ 4кВ 2кВ	Для всех устройств.

Продолжение таблицы 1.1

8	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам.	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 60255-22-4).	Локальное 3 степень Полевое 4 степень С оборудованием Специальная степень жесткости	1кВ 2кВ 4кВ	Для всех устройств
9	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150кГц до 80МГц.	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96)	3 степень	10В	Для всех сигнальных портов.
Питание постоянным током					
10	Провалы напряжения Прерывания напряжения	МЭК 61000-4-29		30%(1с) 60%(0,1с) 100%(0,5с)	Только для входных портов
11	На устойчивость к пульсациям напряжения постоянного тока.	ГОСТ Р 51317.4.17-2000 (МЭК 61000-4-17-99).	Не ниже 3 степени	Пульсации не выше 10%	Для всех портов питания постоянного тока
12	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам в полосе от 0 до 150 кГц	ГОСТ Р 51317.4.16-2000 (МЭК 61000-4-16-96)	Не ниже 3 степени	10В (длительно) 100В (1 с)	Для всех портов питания постоянного тока
13	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95).	Провод земля 3 степень Провод-провод 2степень	2кВ 1кВ	Для всех портов питания постоянного тока
14	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам.	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 степень	4кВ	Для всех портов питания постоянного тока
15	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе от 150кГц до 80МГц.	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96)	3 степень	10В	Для всех портов питания постоянного тока
16	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам.	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12)	4степень (для однократных) 3 степень (для повторяющихся)	4кВ (провод-земля) 2кВ (провод-провод) 2,5кВ (провод-земля), 1 кВ (провод-провод)	Для всех портов питания постоянного тока
Питание переменным током					
17	Провалы напряжения Прерывания напряжения	МЭК 61000-4-29		30%(50периодов) 60%(1 период) 100%(5периодов)	Только для входных портов

Продолжение таблицы 1.1

18	На устойчивость к гармоникам и интергармоникам, к сигналам систем телеуправления и сигнализации в напряжении сети переменного тока.	ГОСТ 29280-92 (МЭК 61000-4, МЭК 61000-4-13).	В соответствии с рекомендациями СТО 56947007-29.240.044-2010		Для всех портов питания переменного тока.
	На устойчивость к колебаниям напряжения	ГОСТ Р 51317.4.14-2000 (МЭК 61000-4-14-2000).			
	На устойчивость к динамическим изменениям напряжения электропитания	ГОСТ Р 51317.4.11-99 (МЭК 61000-4-11-94).			
19	На устойчивость к изменениям частоты питания в сети переменного тока	ГОСТ Р 51317.4.28 - 2000 (МЭК 61000-4-28-2000).			
20	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц..	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	Не ниже 3 степени	10В	Для всех портов питания переменного тока
21	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам.	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12)	4степень (для однократных) 3 степень (для повторяющихся)	4кВ(провод – земля) 2кВ (провод-провод) 2,5кВ (провод-земля), 1кВ (провод-провод)	Для всех портов питания переменного тока
22	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4степень	4кВ	Для всех портов питания переменного тока
23	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-96).	Провод -земля 4 степень Провод-провод 3 степень	4кВ 2кВ	Для всех портов питания переменного тока.
Порт функционального заземления					
24	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам (ввод помехи применением емкостных клещей связи)	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 степень	4кВ	Требования применяют к соединениям с функциональным заземлением, отделенным от защитного заземления
25	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц..	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	Не ниже 3 степени	10В	10В=140дБ

Окончание таблицы 1.1

		Помехоэмиссия			
26	Радиопомехи от оборудования. Помехоэмиссия	ГОСТР 51318.22- 99 (СИСПР 22 - 97)	ГОСТР 51318.11-99 (СИСПР 11- 97)		

Анализ таблицы 1.1 указывает на то, что применение МПУ допускается после выполнения обследования электромагнитной обстановки на ПС. Комплексное обследование электромагнитной обстановки на ПС выполняется в следующих направлениях:

1. Диагностика заземляющего устройства (ЗУ).
2. Анализ эффективности систем молниезащиты.
3. Устойчивость МПУ к режимам КЗ и ударам молнии.
4. Измерение, расчеты и анализ влияния электромагнитных полей на функционировании МПУ.
5. Изучение влияния импульсных электромагнитных полей и качества электрической энергии на работоспособность МПУ.
6. Влияние качества источников постоянного тока на состояние МПУ.

Методы измерения параметров ЭМО и методика их анализа приведена в СО 34.35.311-2004 «Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях»; СТО 56947007-29.240.044-2010 «Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства»; СТО 56947007-29.130.15.105-2011 «Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок».

Данные материалы позволяют разработать лабораторию по дисциплине «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на ПС». Наличие данной лаборатории является актуальным, так как позволяет привить навыки и умения студентам по основным направлениям, связанным с изучением ЭМО и ЭМС на подстанциях. Получение знаний и навыков в данной области в дальнейшем позволят студентам получить комплексные знания по специализации электрификация и автоматизация горных работ, что положительно отразится на их профессиональной деятельности.

1.2 Описание лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»

Лаборатория по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях» расположена на 3 этаже учебного корпуса института горного дела геологии и геотехнологий СФУ в аудитории 307. Общая площадь лаборатории составляет 48,9м². Внешний вид

помещения до расположения оборудования и стендов лаборатории показан на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Внешний вид аудитории 307 до создания лаборатории

Для проведения лабораторных работ по курсу ЭМО и ЭМС были разработаны следующие стенды:

1. «Оценка качества электропитания источника постоянного тока»
2. «Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В»
3. «Измерение электропроводности грунта», «Измерение сопротивления заземления»
4. «Определение металlosвязи и напряжения прикосновения»

5. «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»

6. «Оценка воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работоспособность МПУ»

Внешний вид лицевых панелей перечисленных стендов показан на рисунках 1.2 - 1.7.

Внешний вид лаборатории с установленными стендами показан на рисунках 1.8 - 1.9.

Стенд №1 . «Оценка качества электропитания источника постоянного тока».

Позволяет оценить основные показатели качества источника постоянного тока, к которым относятся: отклонение напряжения, размах и пульсация выпрямленного напряжения. Данный стенд наглядно показывает, как влияет схема источника постоянного тока на качество электропитания. Кроме того данный стенд демонстрирует как изменяется качество электропитания источника постоянного тока при использовании LC фильтров и аккумуляторных батарей. С помощью стенда, можно проследить, какие изменения происходят в выпрямленном напряжении в случае выхода из строя силовых диодов. Методическое обеспечение данного стенда включает 6 вариантов выполнения работы.

Стенд №2 «Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В».

Данный стенд позволяет оценить основные параметры качества электрической энергии в сетях переменного тока до 1000В. К таким показателям относятся: отклонение напряжения, отклонение частоты, несимметрия напряжения, несинусоидальность напряжения и тока, спектральный состав напряжения и тока, фликер. Стенд позволяет измерять и анализировать показатели качества в сетях изолированной и глухозаземленной режимами нейтралей. С помощью стенда можно имитировать как линейную, так и не линейную нагрузку. В роли линейной нагрузки выступают лампы накаливания и конденсаторы. В качестве нелинейной нагрузки используются электродвигатели и светодиодное освещение. Кроме этого использование светодиодов позволяет установить влияние импульсной нагрузки на показатели качества электрической энергии. Наличие электроприемников, имеющих различные параметры, позволяет в комплексе оценить их влияние на показатели качества электроэнергии, например параллельная работа электродвигателей с системами освещения выполненными на лампах накаливания или светодиодных лампах, влияние конденсаторных установок на токи электродвигателя и т.д. Таким образом, данный стенд в достаточной мере отражает влияние нагрузки на показатели качества электроэнергии. Методическое обеспечение данного стенда включает 8 вариантов выполнения работы.

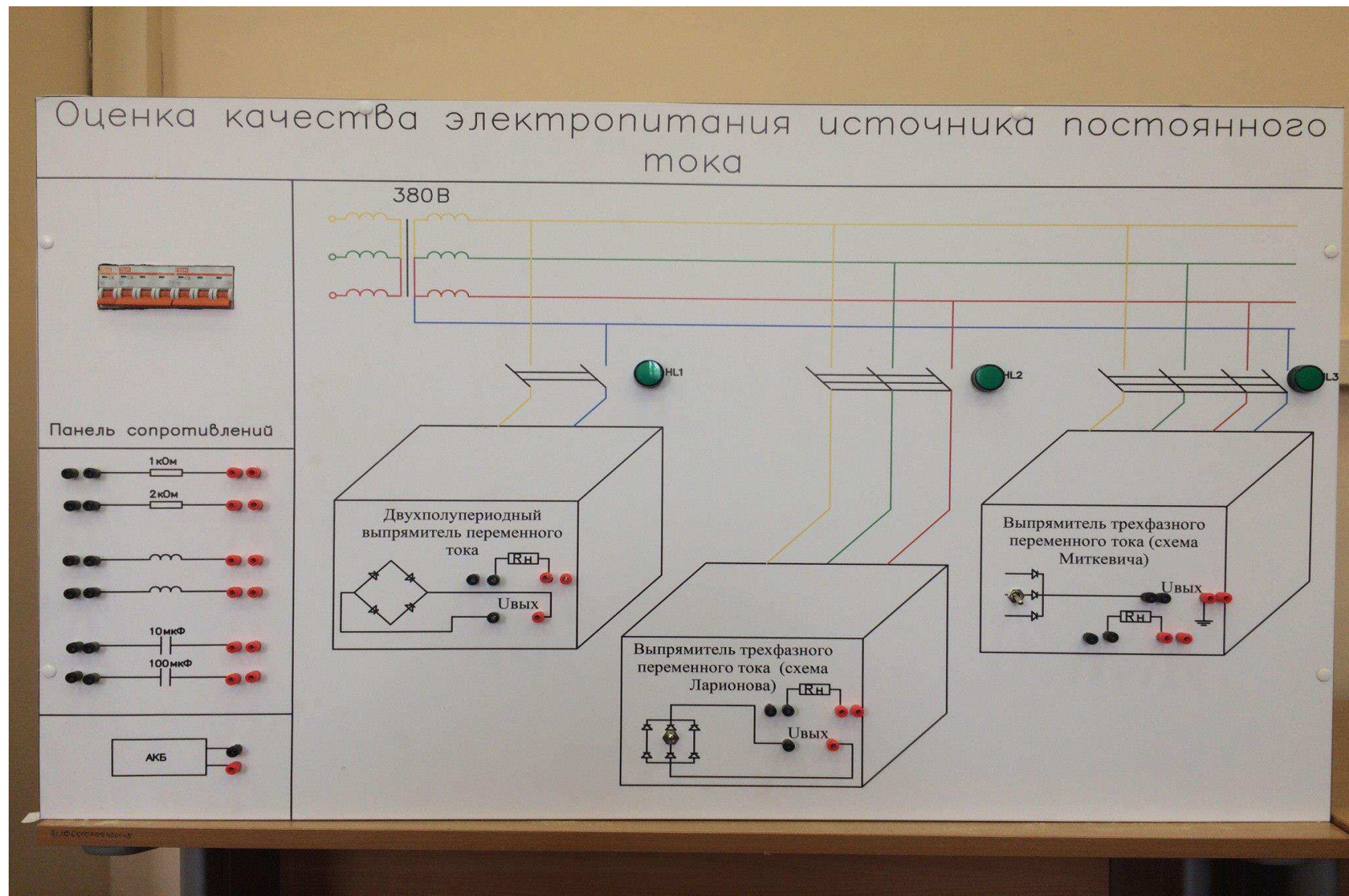


Рисунок 1.2 – Лицевая панель стенда «Оценка качества электропитания источника постоянного тока»

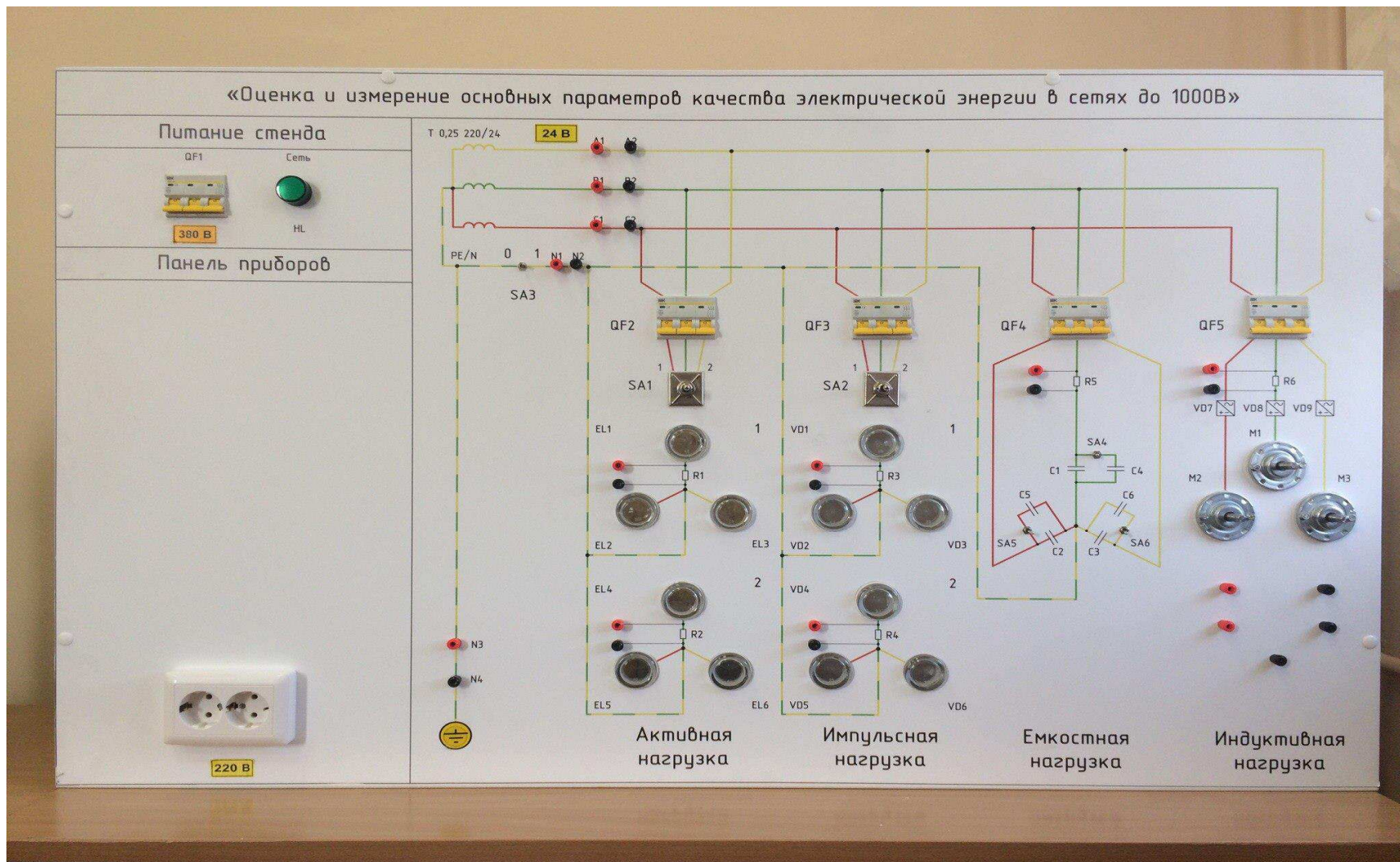


Рисунок 1.3 – Лицевая панель стенда «Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В»

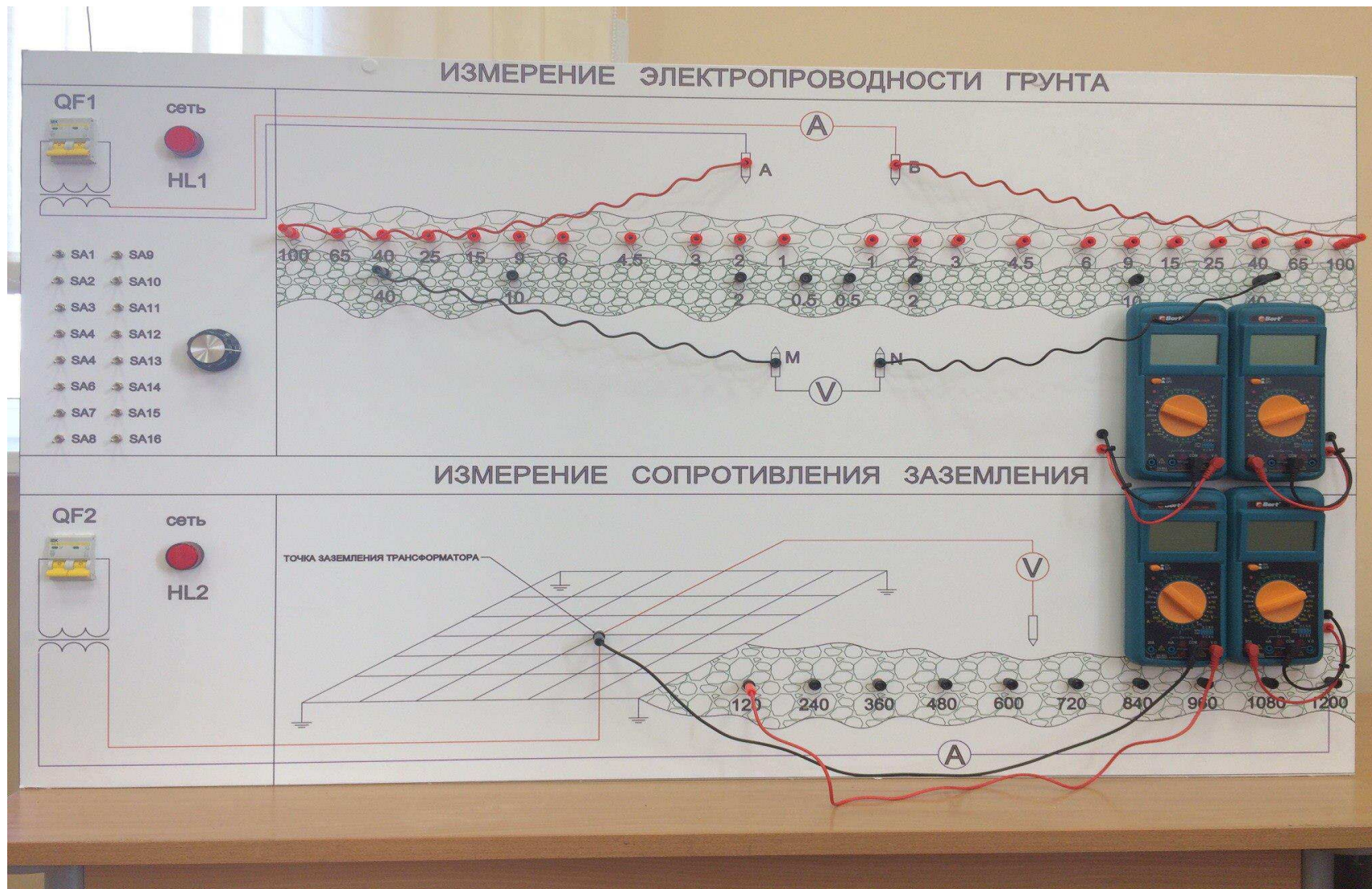


Рисунок 1.4 – Лицевая панель стенда «Измерение электропроводности грунта», «Измерение сопротивления заземления»



Рисунок 1.5 – Лицевая панель стенда «Определение металlosвязи и напряжения прикосновения»

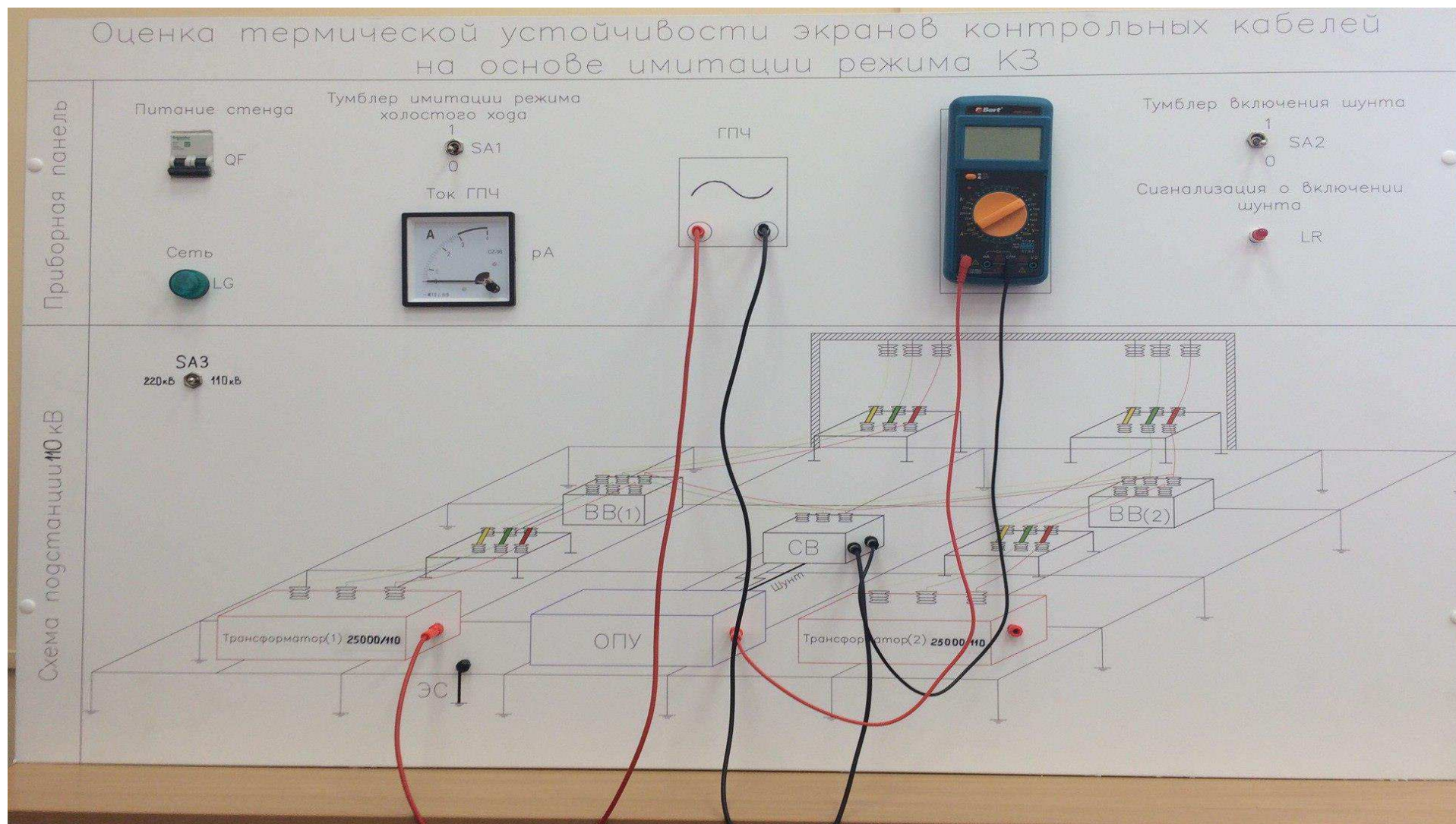


Рисунок 1.6 – Лицевая панель стенда «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»

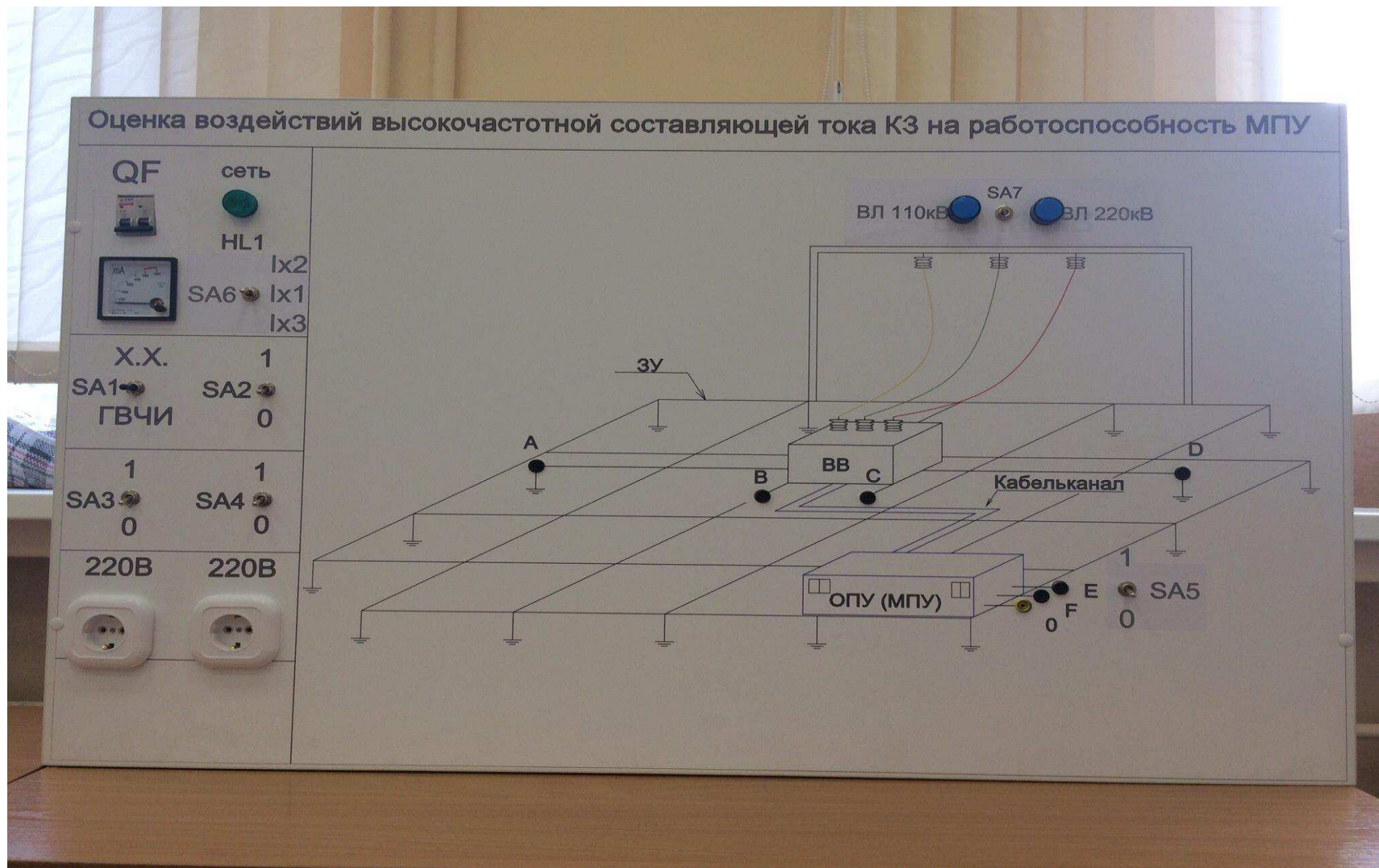


Рисунок 1.7 – Лицевая панель стенда «Оценка воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работоспособность МПУ»



Рисунок 1.8 – Внешний вид лаборатории по изучению электромагнитной обстановки и электромагнитной совместимости на подстанциях.



Рисунок 1.9 - Внешний вид лаборатории по изучению электромагнитной обстановки и электромагнитной совместимости на подстанциях.

Стенд №3 «Измерение электропроводности грунта», «Измерение сопротивления заземления».

Данный стенд позволяет изучить методы по измерению электропроводности грунтов и заземляющих устройств подстанций и привить соответствующие навыки студентам. В основу измерения электропроводности грунтов положен метод вертикального электрического зондирования, так как данный метод нашел широкое применение на практике. Измерение сопротивления заземления ПС производится по методу амперметра – вольтметра. Указанные методы измерений электропроводности грунтов и заземления рекомендованы СТО 56947007-29.130.15.105-2011. Кроме этого, полученные данные по электропроводности грунта на ПС позволяют определить сопротивление ЗУ расчетным путем и сравнить результаты с измеренными данными. Таким образом, работа на данном стенде позволит студентам получить навыки по использованию расчетных и инструментальных методов по определению сопротивления заземления, а также рассчитать напряжение на ЗУ в режиме КЗ. Методическое обеспечение данного стенда включает 10 вариантов выполнения работы.

Стенд №4 «Определение металлосвязи и напряжения прикосновения».

Данный стенд позволяет изучить метод амперметра-вольтметра при определении сопротивления металлосвязи и напряжения прикосновения.

Кроме этого данный стенд наглядно демонстрирует работу шины уравнивания потенциалов для снижения сопротивления металлосвязи и подсыпки из щебня в рабочих зонах на ПС для снижения напряжения прикосновения. Методическое обеспечение данного стенда включает 10 вариантов выполнения работы.

Стенд №5 «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»

Данный стенд позволяет изучить влияние режимов КЗ на функционирование МПУ, связанных с надежностью контрольных кабелей. Одной из основных причин выхода из строя контрольного кабеля является протекание токов по экранам контрольного кабеля, которые способны привести к термическому разрушению кабеля. Стенд позволяет изучить метод имитации режима КЗ для оценки токов в экране контрольного кабеля в случае возникновения однофазного КЗ на подстанции. Кроме этого стенд демонстрирует эффективность использования ШУП для снижения токов в экранах контрольных кабелей. Методическое обеспечение данного стенда включает 30 вариантов выполнения работы - 15 вариантов при имитации ПС 110кВ и 15 вариантов при имитации ПС 220кВ.

Стенд №6 «Оценка воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работоспособность МПУ»

Данный стенд изучает влияние переходных процессов в момент возникновения КЗ на ОРУ подстанций. Основным негативным фактором, влияющим на работоспособность МПУ в первый момент времени при возникновении КЗ, являются высокочастотные составляющие тока КЗ, которые через емкостные связи могут привести к термическому разрушению МПУ или к срыву их функционирования. Стенд позволяет изучить методы по определению импульсного сопротивления оборудования, синфазных и противофазных помех поступающих на вход МПУ и оценить опасность данных помех для функционирования МПУ. Методическое обеспечение данного стенда включает 6 вариантов выполнения работы - 3 варианта при имитации ПС110кВ и 3 варианта при имитации ПС 220кВ.

Таким образом, стенд №1 и стенд №2 позволяют приобрести навыки по изучению показателей качества источников постоянного и переменного тока. Стенд №3 и №4 позволяют получить теоретические знания и практические навыки, связанные с диагностикой заземляющих устройств. Стенд №5 и №6 дают практические навыки и знания студентам по оценке негативного влияния режимов КЗ на МПУ

На рисунке 1.10 приведен план расположения оборудования в лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».

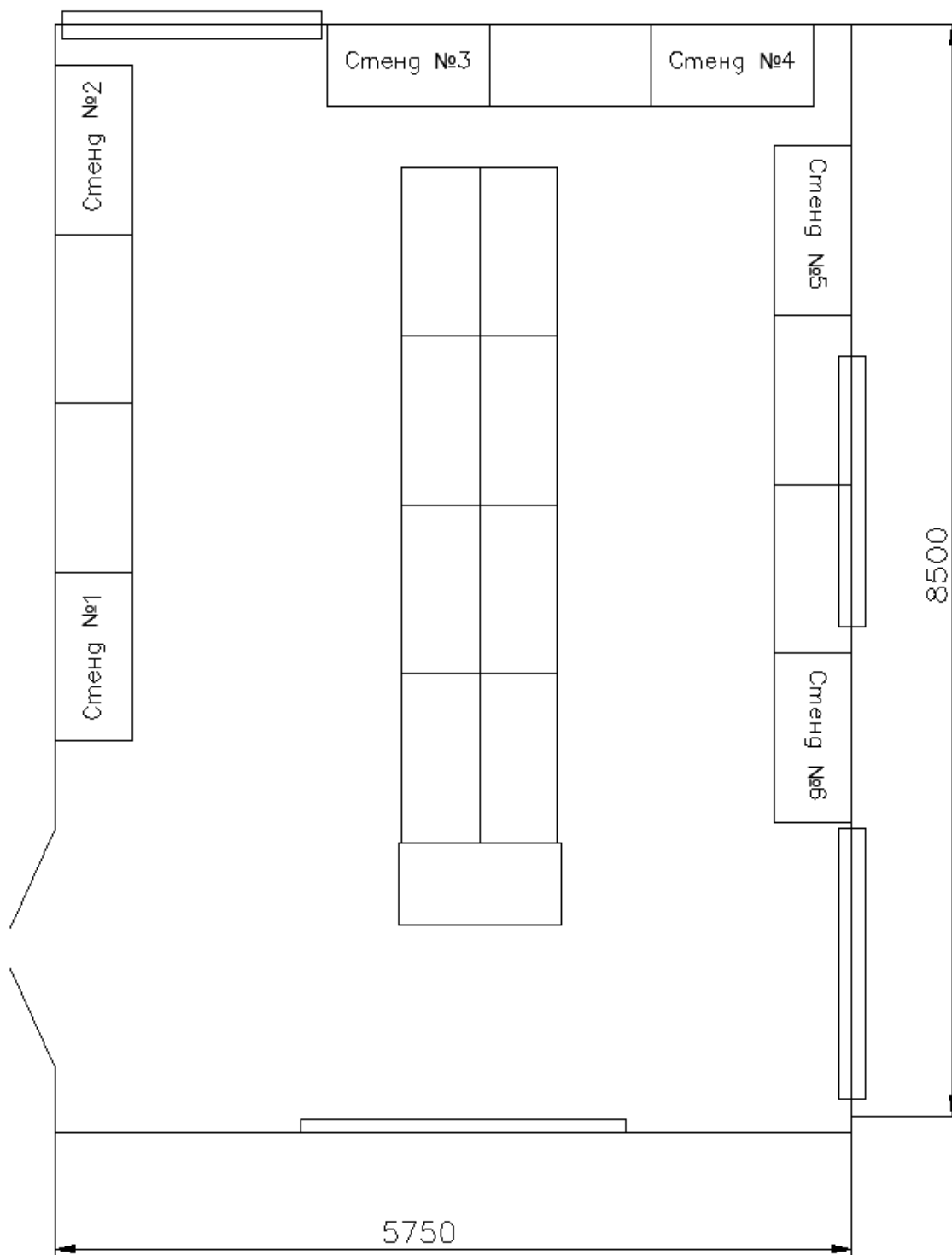


Рисунок 1.10 – План расположения оборудования в лаборатории

1.3 Схема электроснабжения и приборный парк лаборатории

Для питания стендов используется трехфазный переменный ток. Схема электроснабжения приведена на рисунке 1.11.

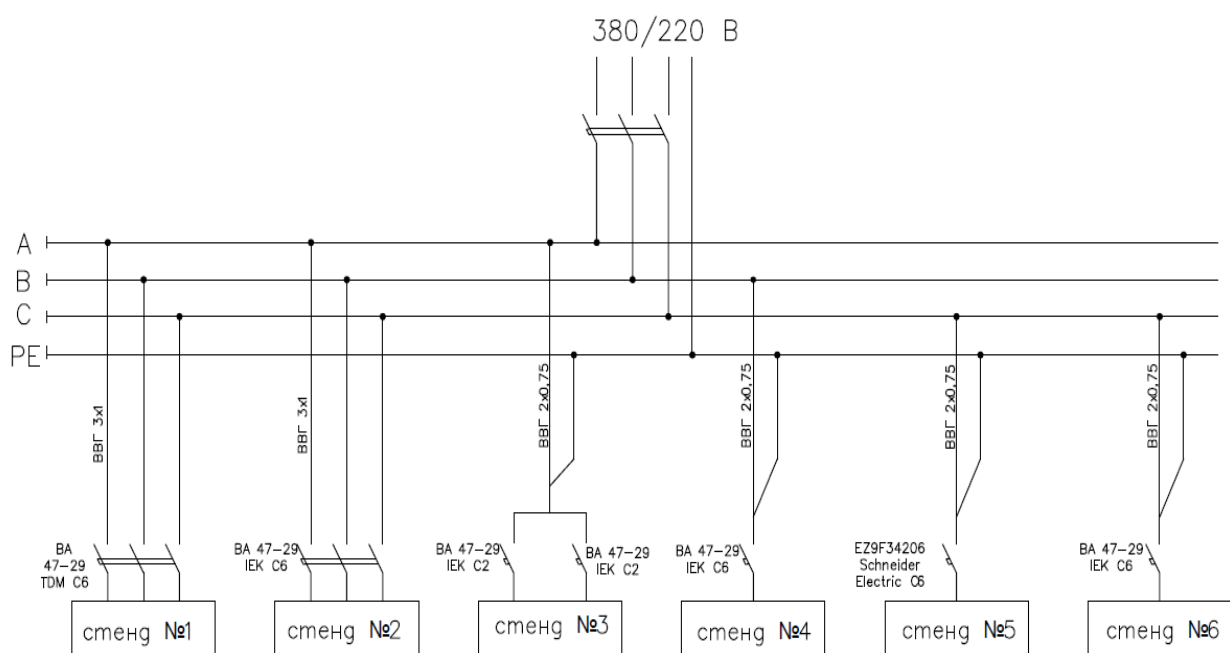


Рисунок 1.11 - Схема электроснабжения лаборатории

В качестве защитных аппаратов используются автоматические выключатели. Перечень применяемых вводных автоматических выключателей по стендам приведен в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Перечень автоматических выключателей

Стенд	Марка и характеристики автоматического выключателя	Количество
«Оценка качества электропитания источника постоянного тока»	BA 47-29 TDM C6 3p	1
Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В»	BA 47-29 IEK C6 3p	1
«Измерение электропроводности грунта», «Измерение сопротивления заземления»	BA 47-29 IEK C2 2p	2
«Определение металlosвязи и напряжения прикосновения»	BA 47-29 IEK C6 2p	1
«Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»	EZ9F34206 Schneider Electric C6 2p	1
«Оценка воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работоспособность МПУ»	BA 47-29 IEK C6 2p	1

Стенд № 1 получает питание от трехфазной сети переменного тока 380В. Питание на стенд поступает через трехполюсной автоматический выключатель

ВА 47-29 ТДМ С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 3х1

Стенд №2 также запитывается от трехфазной сети переменного тока 380В. Питание на стенд поступает через трехполюсной автоматический выключатель ВА 47-29 ИЕК С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 3х1.

Стенд № 3 запитан фазным напряжением 220В трехфазной системы переменного тока. На данном стенде выполняются 2 лабораторные работы и на каждую работу установлен отдельный двухполюсной автоматический выключатель ВА 47-29 ИЕК С2. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 2х0,75.

Стенд № 4 запитан фазным напряжением 220В трехфазной системы переменного тока. Питание на стенд подается через двухполюсной автоматический выключатель ВА 47-29 ИЕК С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 2х0,75.

Стенд № 5 запитан фазным напряжением 220В трехфазной системы переменного тока. Питание на стенд подается через двухполюсной автоматический выключатель EZ9F34206 Schneider Electric С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 2х0,75.

Стенд №6 запитан фазным напряжением 220В трехфазной системы переменного тока. Питание на стенд подается через двухполюсной автоматический выключатель ВА 47-29 ИЕК С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 2х0,75.

На стендах по изучению «Электромагнитной обстановки и электромагнитной совместимости» используются различные приборы. Приборный парк лаборатории представлен в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Приборный парк лаборатории

Наименование прибора	Марка (модель), характеристики	Количество
Амперметр переменного тока	CZ-96, 0...3А	1
Аналоговый амперметр переменного тока	CG -72, 0...500мА	1
Осциллограф	Fluke 196С	1
Мультиметр	Bort BMM-1000N	5
Мультиметр	Best DT-9205M	2
Мультиметр	Mastech MS8268	1
Двухканальный генератор сигналов прямого цифрового синтеза	MHS-5200P 25	1
Анализатор реистратор качества электрической энергии с функцией измерения фликера	REN-700	1

1.4 Вывод по разделу 1

На основании вышеизложенного материала можно сделать следующие основные выводы:

1. Разработанные стенды позволяют оценить основные параметры электромагнитных обстановки и совместимости на подстанциях, соответствующие требованиям нормативных документов Федеральной сетевой компании единой энергетической службы (ФСК ЕЭС) России.

2. Использование современных измерительных приборов позволяет научить студентов их применению в реальных условиях эксплуатации оборудования на ПС.

2. Особенности конструкции контрольных кабелей и способы их прокладки по ОРУ подстанции

2.1 Маркировка и конструкция контрольных кабелей

В настоящее время на производстве широко распространена и используется различная микропроцессорная техника. Для подключения к внешним устройствам – любые устройства, которыми управляет или которым передает (получает) информацию микропроцессор, используются контрольные кабели. В настоящее время применяются различные марки контрольных кабелей. Использование конкретной марки того или иного кабеля зависит от области его применения, чтобы перейти к рассмотрению данного вопроса, рассмотрим вначале конструкцию и маркировку контрольных кабелей. Маркировка контрольных кабелей представлена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Маркировка контрольных кабелей

Условное обозначение	Расшифровка условного обозначения
Материал жилы	
А	Алюминий
Нет обозначения	Медь
К	Контрольный кабель
Материал изоляции	
В	Изоляция из поливинилхлоридного пластика
Р	Резина
П	Полиэтилен
Пс	Полиэтилен самозатухающий
Наружная оболочка	
В	Оболочка из поливинилхлоридного пластика
Р	Резина
Н	Резина не распространяющая горение
Ст	Стальная лента
Г	Без защитных покровов
з	Промежутки между жилами заполнены материалом оболочки
Другие обозначения	
Э	Экран из алюминиевой фольги, алюмополимерной пленки или медной фольги, ленты или фольгированного композиционного гибкого алюмофлекса
Б	Броня из стальных оцинкованных лент
Шв	Шланг из поливинилхлоридного пластика
Ц	Отличительная маркировка каждой жилы
Ls	Низкое выделение дыма
нг	Пониженная пожароопасность

В своей конструкции контрольный кабель содержит следующие элементы:

- токопроводящие жилы;
- слой изоляции на жиле;
- наполнитель;
- оболочку.

Контрольный кабель в зависимости от требований условий эксплуатации может быть дополнен:

- броней;
- экранирующей лентой.

Внешний вид контрольного кабеля марки КВВГЭ 21х3 приведен на рисунке 2.1. Кабель имеет следующую расшифровку:

К – контрольный кабель.

В - изоляция из ПВХ пластиката.

В-оболочка из ПВХ пластиката

Г – не имеет брони

Э – экранированный

21 – количество медных токопроводящих жил

3 – сечение в мм²

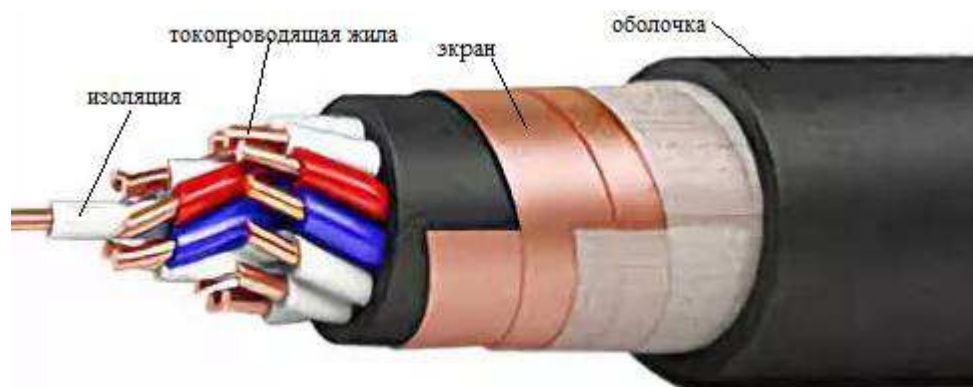


Рисунок 2.1 – Конструкция кабеля КВВГЭ 21х3

Броневые и защитные покровы создаются для контрольных кабелей, работающих в четырех классах повышенных механических нагрузок:

- первый тип кабелей работает внутри помещений, кабельных каналах и траншеях без воздействия на него больших усилий на растяжение. Их броня создается намоткой двух лент из стали и покрывается антикоррозионным составом;
- второй тип предназначен для эксплуатации в каналах, туннелях и помещениях без растягивающего усилия;
- третий вид эксплуатируют в грунте, траншеях без значительного усилия на растяжение. У них броня из двойных стальных лент защищена наружным покровом — шлангом из поливинилхлоридного пластиката;

- четвертый вид предназначен для прокладки в грунте и каналах. На них не должно оказываться большое усилие растяжения. Броня состоит из двух стальных проволок, покрытых слоем цинка, и сверху защищена шлангом или покровом из ПВХ-пластиката.

Токопроводящая жила является обязательным элементом кабеля и изготавливается из металла:

- алюминия;
- состава алюмомеди;
- меди.

Токопроводящая жила может быть выполнена из одной сплошной проволоки или создана из большого их количества свивкой для придания гибкости общей конструкции. Жилы из одной проволоки используются для кабелей, работающих в стационарных условиях, не подвергаемым динамическим нагрузкам на изгиб и кручение.

Для условий работы кабеля в передвижных, мобильных устройствах токопроводящие жилы выполняются из свитых проволок. Медные многопроволочные жилы в них покрываются слоем олова — лудятся или остаются чистыми, без защитного покрытия.

Диэлектрический слой на металле жилы может быть нанесён из:

- резины;
- поливинилхлоридного пластиката;
- самозатухающего полиэтилена;
- полиэтилена низкой плотности;
- вулканизированного полиэтилена.

Материалом оболочки может служить:

- резина обыкновенная или негорючая;
- поливинилхлоридный пластикат.

Провода изготавливают в основном круглого профиля, но в отдельных случаях им придается плоская форма.

Внутри оболочки контрольного кабеля может использоваться разное количество жил начиная от четырех и вплоть до 64 - для медных, и до 37 для алюминиевых. Для алюминия поперечное сечение проволок должно начинаться от 2 до 10мм². Но, такие изделия разрешено применять исключительно на подстанциях с напряжением 110 кВ или ниже.

Вторичное оборудование более высоковольтных подстанций 220 кВ и выше разрешено подключать только медными проводами и кабелями. Низкие эксплуатационные характеристики алюминия не обеспечивают высокую надежность работы на ответственном оборудовании. Алюминий в их вторичных цепях запрещен.

Поперечное сечение медных жил контрольных кабелей стандартизировано от 0,75 до 6 мм². Тонкие диаметры используют в слаботочных схемах связи, телемеханики, телеуправления, не создающих высокие мощности сигнала.

Для высокоточных систем измерения, чувствительных к потерям и падению напряжения в схеме, применяют повышенные диаметры тоководов.

Выбор марки контрольного кабеля обусловлен областью его применения и способа прокладки. В таблице 2.2 приведены различные марки контрольных кабелей для различных областей применения.

Таблица 2.2 – Области применения контрольных кабелей

Марки кабелей	Преимущественные области применения
КРСБГ (А), КРВБГ (А), КРНБГ (А), КВВБГ (А), КПВБГ (А), КПсВБГ	В помещениях, каналах, туннелях, если кабель не подвергается значительным растягивающим усилиям
(А) КРВБГц, (А) КРНБГц, (А) КВВБГц, (А) КПсВБГц, (А) КРВББГ, (А) КРНББГ, (А) КВВББГ, (А) КПВББГ, (А) КПсВББГ	В пожароопасных помещениях, каналах, туннелях, если кабель не подвергается значительным растягивающим усилиям
(А) КРНГ	В пожароопасных помещениях, каналах, туннелях при отсутствии механических воздействий на кабель
(А) КРВГ (А), КВВГ (А), КПВГ (А), КПсВГ	То же, в условиях агрессивной среды
(А) КВБбШв, (А) КПБбШв, (А) КПсБбШв, (А) КВСтШв, (А) КПСтШв	В пожароопасных помещениях, каналах, туннелях, земле (траншеях), в том числе в условиях агрессивной среды и в местах, подверженных воздействию блуждающих токов, если кабель не подвергается значительным усилиям
КВПбШв КППбШв КПсПбШв	То же, если кабель подвергается значительным растягивающим усилиям
(А) КРВГЭ (Л), КВВГЭ (А), КПсВГЭ	В пожароопасных помещениях, каналах, туннелях при отсутствии механических воздействий на кабель в условиях агрессивной среды и необходимости защиты электрических цепей от влияния внешних электрических полей
КРСБ	В земле (в траншеях), если кабель не подвергается значительным растягивающим усилиям
(А) КРВБ (А), КРНБ (А), КВВБ (А), КПВБ (А), КПсВБ	В земле (траншеях), в условиях агрессивной среды и в местах, подверженных воздействию блуждающих токов, если кабель не подвергается значительным растягивающим усилиям

2.2 Способы прокладки контрольных кабелей

Контрольные кабели в основном прокладываются в траншеях, туннелях и каналах, лотках и коробах.

2.2.1 Прокладка контрольных кабелей в траншеях (в земле)

Контрольные кабели в земле прокладываются в траншеях, вырытых с помощью специальных средств для производства земляных работ (экскаваторов, бульдозеров с ковшами и т. д.) или вручную на глубину 0,7 м, причем глубина траншеи должна быть 0,8 м от планировочной отметки, а ширина определяется количеством кабелей в траншее. На дно готовой траншеи делают подсыпку 0,1 м из мягкого грунта без камней и мусора. После прокладки кабеля в траншее подсыпка мягким грунтом поверх кабеля составляет также 0,1 м. Затем вся траншея засыпается землей. При прокладке в траншее нескольких контрольных кабелей расстояние между ними не нормируется, а если в одной траншее прокладываются совместно силовые и контрольные кабели, то расстояние между ними (в свету) должно быть не менее 100 мм.

Контрольные кабели при проходе из траншеи в здание должны прокладываться в металлических трубах с внутренним диаметром не менее, чем 1,5 наружного диаметра кабеля и иметь уклон в сторону траншеи. Концы труб должны выступать из стены здания в траншею не менее чем на 0,6 м; на наружной стене в месте установки труб должна быть наложена обмазочная гидроизоляция для предохранения от попадания воды из траншеи в здание. Обычно прокладка контрольных кабелей в траншее производится по роликам, установленным в траншее через 5—8 м, с помощью специальных лебедок, а при небольшой длине контрольного кабеля вручную. На кабеле, который установлен в конце трассы на барабане, закрепляют проволочный чулок, к которому присоединен трос лебедки, предварительно разложенный по роликам. Затем включают лебедку и, вытягивая трос по роликам, раскатывают по ним кабель. После раскатки отсоединяют трос, а контрольный кабель перекладывают с роликов на дно траншеи.

2.2.2 Прокладка контрольных кабелей по кабельным конструкциям в туннелях и каналах

По кабельным конструкциям и по дну канала прокладывают контрольные бронированные кабели. В каналах контрольные кабели укладывают на полках, на подвесах и по дну канала, если глубина его не более 0,9 м, а в кабельных туннелях — только на кабельные конструкции, расположенные с одной или с обеих сторон туннеля.

Для прокладки в туннелях и каналах разрешается применять кабели с негорючими оболочками и защитными покровами. Если, например, прокладка кабеля одной строительной длины произведена в туннеле, а другой — в земле, то необходимо применять кабель с наружным покровом, а на участке прокладки его в туннеле этот наружный сгораемый покров необходимо снять. При прокладке контрольных кабелей по кабельным конструкциям необходимо помнить, что при одностороннем расположении конструкций контрольные

кабели размещены под полками с силовыми кабелями до 1000В и отделяются от них по всей длине горизонтальной огнестойкой перегородкой в случае отсутствия в туннелях и каналах автоматического пожаротушения, а при двустороннем расположении конструкций контрольные кабели размещают по возможности на противоположной стороне от силовых кабелей. Разрешается контрольные кабели, кроме потребителей первой категории, прокладывать рядом с кабелями до 1000В, но в этом случае между ними устанавливается разделительный уголок.

Прокладку кабелей по конструкциям рекомендуется выполнять с помощью лебедки по роликам. Для прокладки применяются ролики распорного или винтового крепления к кабельным конструкциям, а сам процесс прокладки аналогичен прокладке кабеля по дну траншеи. После прокладки кабель с роликов переносят на кабельные конструкции. При прокладке большого количества контрольных кабелей на конструкциях рекомендуется применять специальное приспособление «непрерывная нить». На расстоянии 200 м по замкнутому пространству от станции с электролебедкой вращается трос, к которому прикрепляется конец кабеля специальным зажимом. Трос протягивает кабель дальше по роликам на необходимое по трассе расстояние 200 м, затем кабель перекалывается на полки, а новый конец кабеля снова цепляется за трос. Так можно уложить большую группу контрольных кабелей, которые укладываются на конструкциях один к другому, при этом горизонтальное расстояние в свету между ними не нормируется. Контрольные кабели, проложенные горизонтально по конструкциям, должны быть жестко закреплены в конечных точках у концевых заделок на расстоянии 0,5 м от заделки на поворотах трассы с обеих сторон изгибов, у соединительных муфт. Контрольные кабели, выходящие из каналов на стены, закрепляются на каждой опорной конструкции через 0,5 м.

2.2.3 Прокладка контрольных кабелей на лотках и в коробах

Данный способ прокладки контрольных кабелей является основным для подстанции 110кВ и выше.

По лоткам и в коробах прокладываются контрольные небронированные кабели. Контрольные кабели на лотках следует, как правило, укладывать в один ряд (расстояние между ними не нормируется). Разрешается прокладка контрольных кабелей пучками с числом кабелей в пучке не более 12, при этом пучки кабелей должны быть скреплены на горизонтальных прямолинейных участках трассы бандажами через 4,5 м, а на вертикальных — не более чем через 1 м.

В коробах контрольные кабели прокладываются многослойно с произвольным взаимным расположением, но высота слоев в одном коробе не должна превышать 150 мм. При многоярусной прокладке кабелей на лотках контрольные кабели необходимо укладывать на лотках нижнего яруса, а силовые верхнего яруса без сплошных горизонтальных несгораемых

перегородок. При прокладке контрольного кабеля необходимо помнить, что крепление кабелей, прокладываемых на лотках (при их горизонтальной установке), не требуется. В горизонтально расположенных коробках (с крышкой, направленной вверх) контрольные кабели прокладываются без крепления, а в вертикально расположенных коробках крепление кабелей производится через каждый метр. Прокладку кабелей на лотках и в коробках следует выполнять аналогично прокладке кабелей по кабельным конструкциям.

2.3 Экранированные контрольные кабели

Наиболее эффективным средством защиты контрольных кабелей от электромагнитных воздействий является его экранирование. Современные контрольные кабели на ОРУ 110кВ и выше экранируются с целью уменьшения электромагнитных воздействий на сигнал, передающийся по контрольным кабелям, однако при этом существенную роль играет заземление экрана.

В методических указаниях по «Обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства» СТО56947007-29.240.044-2010 приводятся приближенные наименьшие значения коэффициентов экранирования: при заземлении с одной стороны коэффициент экранирования равен 1, при заземлении с двух сторон - 10. Отсюда вытекает требование Федеральной сетевой компании единой энергетической службы, что экраны контрольных кабелей должны заземляться с обеих сторон.

В режиме короткого замыкания (КЗ) на заземляющем устройстве возникает разность потенциалов и к экрану контрольного кабеля прикладывается напряжение, следствием этого является протекание тока по экрану кабеля. Если ток протекающий по экрану превышает некоторую допустимую величину, то происходит его повреждение и термическое разрушение всего кабеля, а следовательно устройства сбора и передачи информации, контроля, учета, защиты на базе микропроцессорных устройств окажутся не работоспособны.

Для защиты экрана контрольного кабеля широко используется шина уравнивания потенциалов (ШУП). Физику процесса можно объяснить, записав закон Ома для замкнутой цепи переменного тока.

$$I = \frac{U}{Z}, \quad (2.1)$$

где U – напряжение участка цепи;
 Z – импеданс участка цепи.

Отсюда вытекает заключение, о том, что при одном и том же, приложенном к участку цепи напряжении, больший ток будет протекать по участку с меньшим сопротивлением. Следовательно, для защиты экрана

контрольного кабеля от разрушения при больших значениях тока параллельно кабелю прокладывается стальная шина, импеданс которой значительно меньше импеданса земли и экрана.

2.4 Выводы по 2 разделу

На основании вышеизложенного материала можно сделать следующие выводы:

1. При разработке стенда по изучению «Термической устойчивости экранов контрольных кабелей к токам КЗ» необходимо учитывать следующие факторы:

- на ОРУ ПС 110кВ используются экранированные контрольные кабели с негорючей оболочкой;
- экраны контрольных кабелей заземляются с обеих сторон.

2. Для защиты экрана контрольного кабеля от токов КЗ используют шины уравнивания потенциала с внутренним сопротивлением намного меньшим сопротивления экрана кабеля.

3. Теоретическое изучение методов и средств оценки термической устойчивости экранов контрольных кабелей

С целью обеспечения работоспособности микропроцессорной техники, подключаемые к ним контрольные кабели, по которым передается информационный сигнал, должны удовлетворять условиям термической устойчивости. Для оценки термической устойчивости контрольных кабелей в режиме КЗ могут быть использованы следующие методы:

- 1) Непосредственное измерение тока в экране посредством электроизмерительных приборов.
- 2) Методика рекомендованная СО 34.35.311-2004 «Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях»
- 3) Оценка токов в экранах контрольного кабеля с помощью специальных компьютерных программ.

Непосредственное измерение тока подразумевает измерение тока посредством электроизмерительных приборов. В режиме реального КЗ в сетях 110кВ и выше режим КЗ представляет серьезную опасность для обслуживающего персонала подстанции, и поэтому, с позиции электробезопасности, данный метод не может быть использован как основной.

СО 34.35.311-2004 «Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях» предлагает для определения термической устойчивости экранов кабелей методику, описанную ниже.

Для определения термической устойчивости экранов контрольных кабелей на реальных подстанциях имитируется режим КЗ. Согласно СО 34.35.311-2004 исходными данными для проведения измерений и расчетов напряжений и токов, воздействующих на контрольные кабели при КЗ на землю, являются:

- схема расположения оборудования с трассами прокладки кабелей цепей вторичной коммутации;
- расчетные значения токов однофазного и двухфазного КЗ на каждом из РУ 110 кВ и выше и токов двойного замыкания на РУ 6-35 кВ;
- удельное сопротивление грунта (геоэлектрический разрез).

Методика по имитации КЗ на землю заключается в следующем:

- 1) Составляют исполнительную схему заземляющего устройства в соответствии с "Методическими указаниями по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок. РД 153-34.0-20.525-00" с помощью

технических средств, указанных в РД 153-34.0-20.525.00 или приборов с аналогичными техническими характеристиками.

При составлении исполнительной схемы ЗУ особое внимание уделяют заземлению трансформаторов и автотрансформаторов, связям заземляющего устройства зданий релейного щита (РЩ) и главного щита управления (ГЩУ) с основным заземлителем и связям между заземлителями распределительного устройства (РУ) разного напряжения. Определяют все возможные связи: по проводникам заземлителя, броне, оболочкам и экранам силовых и контрольных кабелей, трубам подачи сжатого воздуха и пожаротушения и т.п. Определяют поперечное сечение проводников заземлителя при выборочном вскрытии грунта не менее, чем в трех различных местах.

2) На основании полученной схемы прокладки проводников заземлителя выбирают оборудование, на котором при КЗ на землю ожидается наибольший потенциал. Такими местами является оборудование, присоединенное к сетке заземлителя наиболее длинными связями; оборудование, у которого выявлено отсутствие металlosвязи с основным заземлителем; оборудование, наиболее удаленное от места установки аппаратуры автоматизированных систем технологического управления (АСТУ), (например, от релейного щита).

3) Для наиболее опасных выбранных мест имитируют КЗ на корпус оборудования и измеряют распределение потенциалов по заземляющему устройству: в точке КЗ, в местах установки устройств АСТУ и в местах возможного воздействия опасного напряжения на кабели (например, на заземляющих проводниках в кабельных каналах).

4) Имитацию КЗ проводят при помощи генератора синусоидального тока промышленной частоты (ГПЧ) и комплекта реостатов. Сопротивление реостатов подбирают таким, чтобы распределение токов (в процентном соотношении), протекающих по элементам заземляющего устройства (оборудования, нейтралям трансформаторов, автотрансформаторов), было идентичным с распределением токов при реальных КЗ.

5) Если напряжение, воздействующее на изоляцию кабелей и устройств, превышает допустимое значение, имитацию КЗ проводят на каждом оборудовании, к которому подходят кабели цепей вторичной коммутации.

При имитации КЗ также измеряют токи, проходящие от оборудования в заземлитель по заземляющему проводнику, трубопроводам, металлоконструкциям и кабелям (оболочка, броня, экран).

Измерения проводят с помощью селективных к частоте ГПЧ токовых клещей. Измеряют ток от ГПЧ и в процентах к нему токи, проходящие по естественным и искусственным частям ЗУ.

Измерение распределения напряжения по заземлителю при имитации растекания токов КЗ через нейтралей трансформаторов проводят в соответствии со схемой рисунок 3.1, а (первый этап), а при имитации растекания токов в энергосистему - в соответствии со схемой рисунок 3.1, б (второй этап). Проведение имитации в 2 этапа связано с тем, что при одновременной

имитации ток, уходящий через заземлитель в энергосистему, будет на порядок меньше, чем ток в нейтрали трансформаторов.

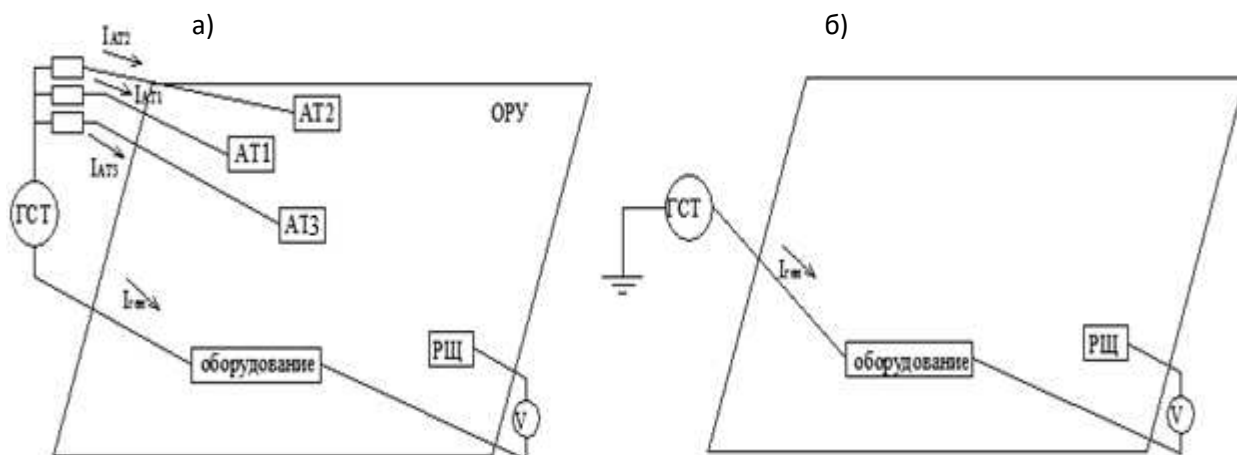


Рисунок 3.1 - Схема для имитации КЗ на высоковольтном оборудовании

Например, при КЗ имеется следующее распределение токов: в месте КЗ - 10 кА; нейтраль АТ1 - 3 кА; нейтраль АТ2 - 3 кА, нейтраль АТ3 - 2 кА; энергосистема - 2 кА. Тогда при токе генератора =4 А (имитирует ток в месте КЗ) при помощи реостатов, и устанавливают ток в нейтрали АТ1 =1,5 А, в нейтрали АТ2 =1,5 А, в нейтрали АТ3 =1 А.

Имитация КЗ может быть проведена без применения реостатов. В этом случае имитируют отдельно каждую составляющую тока КЗ: от каждого трансформатора (автотрансформатора) и от энергосистемы.

Полученные результаты измерений пересчитывают к реальным значениям тока КЗ. Если имитация проводилась с помощью аппаратуры, которая генерирует переменный ток с частотой, отличающейся от 50 Гц более чем на 20%, результаты измерений пересчитывают к частоте 50 Гц. Для пересчета используют зависимости коэффициента пересчета K_f от сечения заземлителей S . Напряжение на частоте 50 Гц составит $U_{50} = U_f / K_f$ где U_f - измеренное напряжение на частоте f .

Затем пересчитывают результаты измерений к реальному току КЗ. Пусть при имитации растекания части тока КЗ по нейтральям трансформаторов было получено (с учетом пересчета к частоте 50 Гц) напряжение 0,3 В между РЩ и оборудованием. При имитации части тока КЗ, уходящего в энергосистему, ток генератора составил 0,15 А, напряжение 0,02 В. При этом составляющая разности потенциалов между оборудованием и РЩ, обусловленная растеканием тока по нейтральям, при КЗ равна 600 В. Составляющая разности потенциалов от тока в энергосистему равна 266 В. Суммарное напряжение между оборудованием и РЩ при КЗ составляет 866 В.

Это напряжение будет воздействовать на изоляцию контрольных кабелей, проложенных от рассматриваемого элемента оборудования до РЩ. Это же напряжение будет определять ток по заземленному с обеих сторон экрану кабеля от данного оборудования до РЩ.

По плану прокладки кабельных каналов или кабельному журналу определяют длину кабеля $L_{\text{каб}}$ и производят расчет сопротивления экрана кабеля R_{Σ} (индуктивным сопротивлением можно пренебречь).

$$R_{\Sigma} = R_{0\text{экp}} \cdot l, \quad (3.1)$$

где $R_{0\text{экp}}$ – погонное сопротивление экрана
 l – длина кабеля

Ток в экране кабеля при КЗ определяют как отношение напряжения между оборудованием и РЩ к сопротивлению экрана кабеля.

$$I_{\Sigma} = \frac{U_{\Sigma}}{R_{\Sigma}}, \quad (3.2)$$

где U_{Σ} – суммарное напряжение между оборудованием и распределительным щитом при коротком замыкании.

Полученный ток в экране сравнивают с допустимым значением тока, рассчитанным по формуле (3.3).

Согласно СО 34.35.311-2004 допустимая величина тока в экране зависит от времени существования короткого замыкания, которое в свою очередь зависит от:

- максимальной выдержки времени срабатывания релейной защиты и автоматики(РЗА);
- среднего времени срабатывания микропроцессорных устройств;
- среднего времени срабатывания выключателя.

Величину допустимого тока в экране при КЗ можно определить по следующей формуле:

$$I_{\text{доп},t} = K \cdot \frac{100}{\sqrt{0,09 + t}}, \quad (3.3)$$

где t – время существования режима КЗ

K – коэффициент; $K=1$ если $t \leq 1\text{с}$ и $K=0,8$, если $t > 1\text{с}$.

$$t = t_{\text{выд.РЗА.маx}} + t_{\text{ср.мпy}} + t_{\text{ср.вык}}, \quad (3.4)$$

где $t_{\text{выд.РЗА.маx}}$ – максимальное время выдержки релейной защиты;

$t_{\text{ср.мпy}}$ - время срабатывания микропроцессорных устройств;

$t_{\text{ср.вык}}$ – время отключения выключателя.

Если ток в экране кабеля превышает допустимое значение, то проводят необходимые мероприятия. Для снижения токов в экранах, оболочках и броне кабелей прокладывают параллельно кабельной трассе дополнительные горизонтальные заземлители (ШУП) на расстоянии (0,5-1,0) м от кабельного канала или лотка.

Приведем пример расчета термической устойчивости экрана кабеля по методике описанной в СО 34.35.311-2004. Например: Ток короткого замыкания на подстанции с 2 трансформаторами составляет $I_{кз}=8\text{кА}$, распределение токов между трансформаторами и системой следующее: трансформаторы 80%, система 20%. На подстанции установлена релейная защита от тока КЗ с выдержкой времени 1,8 секунд, элегазовый выключатель с временем срабатывания 0,03секунды, время срабатывания микропроцессорной защиты 0,06секунды. Контрольный кабель проложен между общеподстанционным пунктом управления (ОПУ) и высоковольтным выключателем, длина кабеля 200м, диаметр экрана 8мм. При имитации растекания тока КЗ по нейтралю трансформаторов и уходящего в энергосистему, между ОПУ и выключателем были получены следующие напряжения: 0,04В – для первого трансформатора; 0,035В – для второго трансформатора; 0,02В – в энергосистему. Напряжение холостого хода 0,01В. Ток генератора синусоидального тока 2А.

1) Определяем токи КЗ, зная их процентное распределение:

Ток уходящий в энергосистему:

$$I_{эс}=0,2 \cdot I_{кз}=0,2 \cdot 8000=1600\text{А}$$

Ток в нейтрале трансформаторов:

$$I_{тр1}= I_{тр2}=0,8/2 \cdot 8000=3200\text{А}$$

2) Определяем разность потенциалов при имитации растекания тока КЗ:

$$\Delta U_{гпч} = U_{гпч} - U_{хх} , \quad (3.5)$$

где $U_{гпч}$ – напряжение между ОПУ и высоковольтным выключателем при токе, выдаваемом генератором синусоидального тока промышленной частоты.

$$\Delta U_{эс}=0,02-0,01=0,01\text{В}$$

$$\Delta U_{тр1}=0,04-0,01=0,03\text{В}$$

$$\Delta U_{тр2}=0,035-0,01=0,025\text{В}$$

3) Определяем разницу потенциалов при растекании реального тока КЗ

$$\Delta U_{\text{кз}i} = \Delta U_{\text{ГПЧ}} \cdot \frac{I_{\text{кз}i}}{I_{\text{ГСТ}}}, \quad (3.6)$$

$$\Delta U_{\text{кз.эс}} = 0,01 \cdot \frac{1600}{2} = 8\text{В}$$

$$\Delta U_{\text{кз.тр1}} = 0,03 \cdot \frac{3200}{2} = 48\text{В}$$

$$\Delta U_{\text{кз.тр2}} = 0,025 \cdot \frac{3200}{2} = 40\text{В}$$

4) Найдем суммарное напряжение между ОПУ и высоковольтным выключателем при коротком замыкании:

$$U_{\Sigma} = \Delta U_{\text{кз.эс}} + \Delta U_{\text{кз.тр1}} + \Delta U_{\text{кз.тр2}} = 8 + 48 + 40 = 96\text{В}$$

Таблица 3.1 – Расчет напряжений между ОПУ и выключателем при КЗ

Цепь	$I_{\text{ГПЧ}}$, А	$U_{\text{ГПЧ}}$, В	$I_{\text{кз}i}$, кА	$\Delta U_{\text{ГПЧ}}$, В	$\Delta U_{\text{кз}i}$, В
Энергосистема-выключатель	2	0,02	1,6	0,01	8
Трансформатор 1 – выключатель	2	0,04	3,2	0,03	48
Трансформатор 2 – выключатель	2	0,035	3,2	0,025	40
Сумма	-	-	8	-	96

5) Находим сопротивление экрана кабеля:

$$R_{\Sigma} = L \cdot R_{0\text{экp}} = 200 \cdot 0,0045 = 0,9 \text{ Ом}$$

где $R_{0\text{экp}}$ - погонное сопротивление экрана кабеля, зависит от материала и внешнего диаметра [2], Ом.

6) Находим ток протекающий по экрану кабеля, обусловленный током КЗ, используя формулу (3.2):

$$I_{\Sigma} = \frac{96}{0,9} = 106,6\text{А}$$

7) Используя формулы (3.3-3.4) находим допустимый ток в экране

Время существования режима кз составляет:

$$t = t_{\text{выд.РЗА.max}} + t_{\text{ср.мпу}} + t_{\text{ср.вык}} = 1,8 + 0,06 + 0,03 = 1,89\text{с}$$

Допустимый ток составит:

$$I_{\text{доп}} = 0,8 \cdot \frac{100}{\sqrt{0,09 + 1,89}} = 56,8\text{А}$$

8) Сравним значения допустимого и протекающего по экрану тока

$$I_3 = 106,6\text{А} > I_{\text{доп}} = 56,8\text{А}$$

Ток в экране контрольного кабеля при КЗ в 8кА превысил допустимый ток, следовательно, кабель не удовлетворяет условиям термической устойчивости при данном токе короткого замыкания, что требует принятия мер по уменьшению тока в экране. С этой целью используем шину уравнивания потенциалов, выполненную из стальной полосы сечением 250мм².

Сопротивление ШУП длиной 200метров составит:

$$R_{\text{ШУП}} = \frac{\rho l}{s} = \frac{0,14 \cdot 200}{250} = 0,112 \text{ Ом} \quad (3.7)$$

где ρ – удельное сопротивление проводника;

l – длина проводника, м;

s – площадь его сечения, мм².

Режим КЗ можно рассматривать как источник тока, следовательно при параллельном подключении ШУП к экрану контрольного кабеля в точке соединения ток составит 106,6А. Ток в экране кабеля составит:

$$I'_3 = I_3 \cdot \frac{R_{\text{ШУП}}}{R_{\text{экр}} + R_{\text{ШУП}}} = 106,6 \cdot \frac{0,112}{0,9 + 0,112} = 11,8\text{А} \quad (3.8)$$

А ток в ШУП составит:

$$I_{\text{ШУП}} = I_3 - I'_3 = 106,6 - 11,8 = 94,8\text{А} \quad (3.9)$$

Согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ) 1.4.16 температура нагрева стальной шины не должна превышать 400°С. Исходя из данной температуры нагрева, согласно СТО 56947007-29.240.044-2010 [2], допустимый ток короткого замыкания для ШУП составит.

$$I_{\text{доп}} = \frac{S}{S_{\text{доп}} q} = \frac{250}{14 \cdot 0,8 \sqrt{1,89}} = 16,2\text{кА} \quad (3.10)$$

где S - поперечное сечение проводника, мм²;

$S_{\text{доп}}$ - допустимое сечение для тока в 1 кА продолжительностью воздействия 1 секунда [1];

q - коэффициент, учитывающий продолжительность воздействия тока, $q = \sqrt{t + 0,09}$ при $t < 1$ с и $q = 0,8\sqrt{t}$ при $t > 1$ с.

Расчетный ток протекающий через ШУП 94,8А удовлетворяет условиям термической устойчивости так как меньше допустимого 16200А.

Существуют также различные компьютерные программы, которые позволяют произвести оценку термической устойчивости экранов кабелей при КЗ. С помощью программ выполняют расчет переходных процессов в разветвленной трехмерной схеме заземляющего устройства электросетевых объектов, включающей систему проводников в воздухе и грунте, при коротких и двойных замыканиях на землю. В результате расчетов получают распределение потенциалов и токов по элементам заземляющего устройства, и определяют:

- сопротивление заземляющего устройства (напряжение на ЗУ);
- напряжение, воздействующее на вторичные кабели и оборудование;
- токи в экранах, броне и оболочках кабелей.

Программы выполняющие данные расчеты распространяются в свободном доступе или на коммерческой основе. Для определения токов в экране контрольного кабеля могут применяться следующие программы ОРУ-М (в свободной продаже), Parsiz (в свободной продаже), KWIK GRID (в свободном доступе), «Расчет заземляющих устройств» фирмы Safe Engineering Services & technologies ltd (в свободном доступе).

В компьютерных программах для расчетов токов КЗ в экранах контрольных кабелей имеются определенные допущения:

- сопротивления экранов принимаются линейными и сосредоточенными в одном месте;
- не учитываются переходные сопротивления в контактах;
- не в полной мере учитываются, взаимное влияние магнитных полей и заземляющего устройства; в экранах контрольных кабелей.

Кроме этого компьютерные программы не позволяют приобрести практических навыков при использовании измерительных приборов для измерения величин необходимых для оценки термической устойчивости экранов контрольных кабелей. В связи с этим за основу при разработке стенда была принята методика, представленная в СО 34.35.311-2004.

3.1 Выводы по 3 разделу

На основании материала изложенного в 3 разделе данной работы необходимо учесть следующие факторы при разработке стенда:

1) за теоретическую основу разработки стенда принимаем методику описанную в СО 34.35.311-2004;

2) распределение токов в режиме КЗ на ОРУ подстанции следующее – 20% на энергосистему, оставшийся ток КЗ равномерно распределяется между трансформаторами, если они одинаковой мощности. В случае если трансформаторы различны по мощности ток между ними распределяется пропорционально их мощностям;

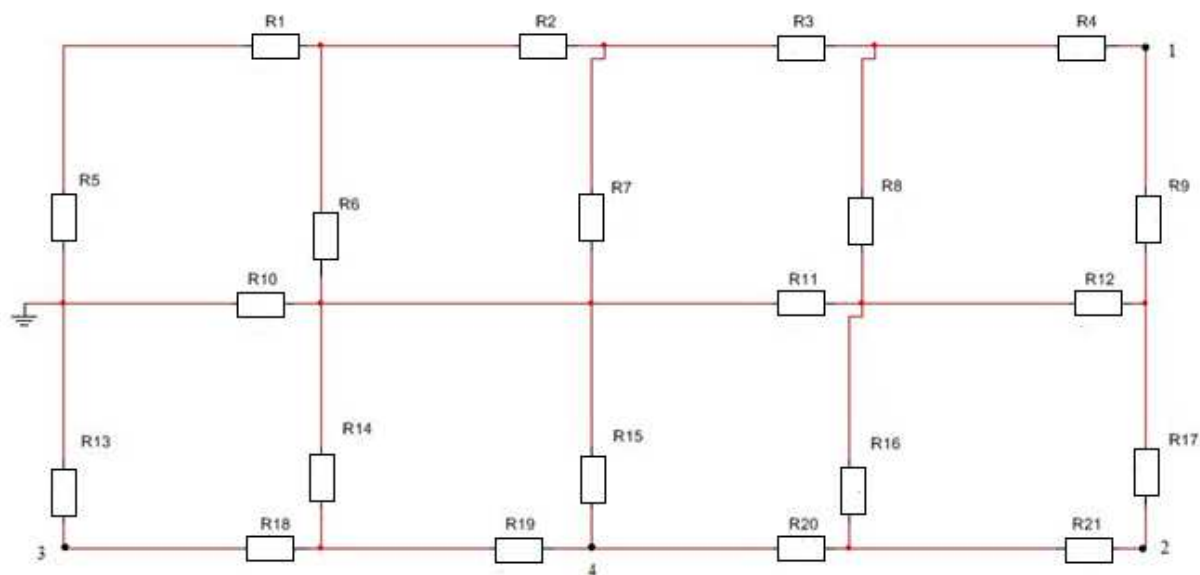
3) в стенде необходимо предусмотреть имитацию эффекта использования шины уравнивания потенциалов.

4. Теоретическая разработка схемы стенда по изучению термической устойчивости экранов контрольных кабелей

4.1 Основные условия для разработки стенда

Разработка схемы стенда является важным этапом дипломной работы. При разработке схемы в первую очередь должны учитываться такие факторы, как экономическая составляющая и безопасность студентов.

Лабораторный стенд будет имитировать двухтрансформаторную подстанцию напряжением 110кВ, 220кВ с высоковольтным элегазовым выключателем, который связан контрольным кабелем с ОПУ. Основным структурным элементом схемы является модель контура заземления, к которому присоединяются корпуса оборудования подстанции. В режиме однофазного КЗ распределение токов по контуру заземления осуществляется в основном за счет горизонтальных заземлителей, поэтому при разработке контура заземления были учтены горизонтальные заземлители, а вертикальные электроды не учитывались. Модель контура заземления подстанции представлена на рисунке 4.1.



1 – точка заземления контрольного кабеля и выключателя, 2 и 3 – точки заземления трансформаторов, 4 – точка заземления контрольного кабеля.

Рисунок 4.1 – Модель контура заземления

Для теоретической разработки схемы стенда примем следующие условия:

- расположение горизонтальных заземлителей в конструкции заземляющего устройства равномерное, вследствие этого сопротивления между узлами заземляющего устройства будут одинаковыми;
- лабораторный стенд должен позволять имитировать КЗ с учетом подпитки от электроприемников;

- стенд должен наглядно демонстрировать эффективность использования шины уравнивания потенциалов.

Для контура заземления принимаем сопротивление горизонтальных заземлителей $0,06 \text{ Ом}$, что соответствует длине горизонтального заземлителя 64 метра и сечению 150 мм^2 .

На практике представляет серьезную трудность подбор сопротивления $0,06 \text{ Ом}$, учитывая что на стенде должны отражаться основные закономерности при имитации режима КЗ, моделирование будем производить при следующих вариантах:

- на базе резисторов 2 Ом ;
- на базе резисторов $5,1 \text{ Ом}$.

Для определения растекания токов в данной схеме и распределения потенциалов по ЗУ, данная модель была апробирована с использованием компьютерного моделирования в программе Multisim.

4.2 Компьютерное моделирование схемы и результаты моделирования

Для моделирования схемы стенда по оценке термической устойчивости экрана контрольного кабеля собираем в программе Multisim схему, представленную на рисунке 4.2.

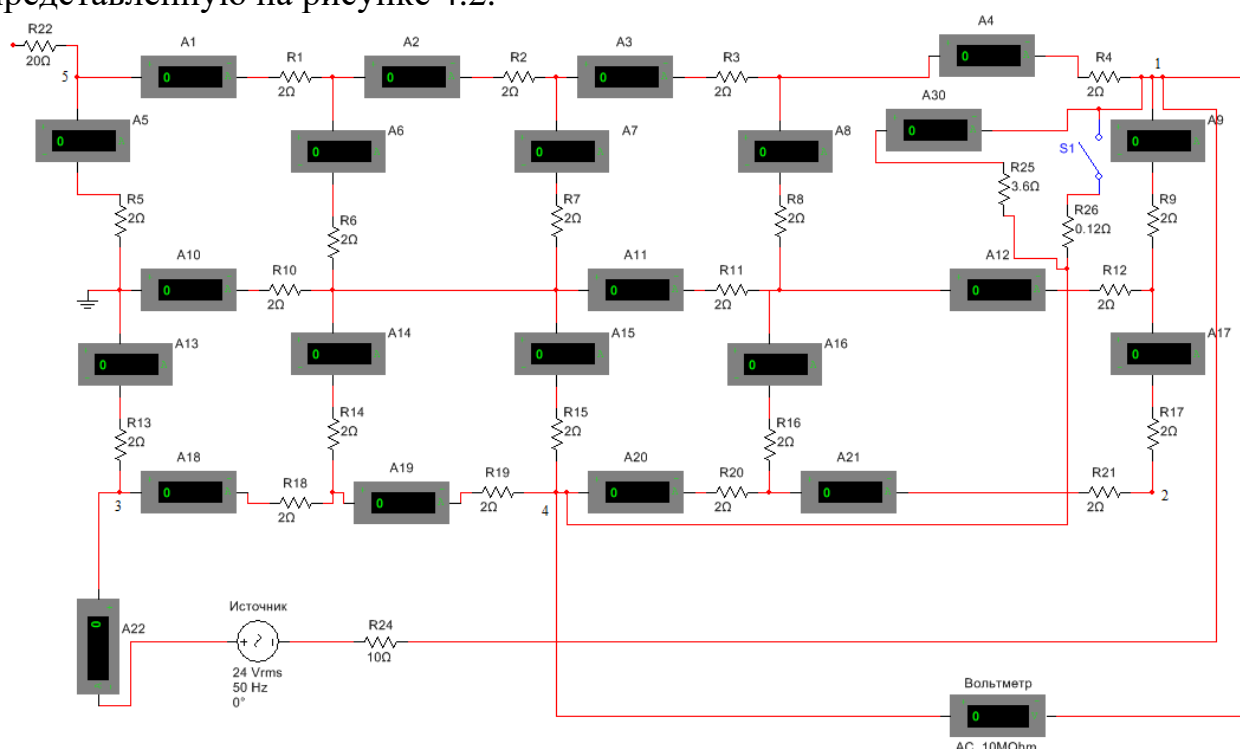


Рисунок 4.2 – Имитационная модель схемы лабораторного стенда

В имитационной модели используются следующие элементы:

- $R1-R21=2 \text{ Ом}$ (5 Ом) сопротивления между узлами контура ЗУ;
- $R22=20 \text{ Ом}$ – сопротивление для уменьшения тока от системы;

- $R_{24}=100\text{Ом}$ – сопротивление включенное последовательно с источником, с целью уменьшения тока;

$R_{25}=3,6\text{Ом}$ – сопротивление имитирующее контрольный кабель длиной 200 метров с экраном из алюминиевой фольги с наружным диаметром 5мм;

$R_{26}=0,12\text{Ом}$ – сопротивление, имитирующее ШУП;

Вольтметр – служит для измерения напряжения между ОПУ и высоковольтным выключателем;

A 1 – A22 – амперметры;

A 30 – амперметр;

Источник – источник напряжения 24(6)В.

Подключение нейтралей первого и второго трансформаторов производится соответственно в точках 2 и 3. Однофазное КЗ на ОРУ 110кВ возникает в точке 5. Заземление корпуса элегазового выключателя, к которому подходит контрольный кабель от ОПУ, выполняется в точке 1. Заземление ОПУ осуществляется в точке 4.

4.2.1 Моделирование схемы с сопротивлениями контура ЗУ 20Ома

Подключаем источник поочередно к точкам 1 и 2, 1 и 3, 1 и 5 (рисунок 4.2), тем самым имитируя соответственно токи КЗ от трансформатора 1, от трансформатора 2, от системы. Снимаем показания с амперметров и напряжение прикладываемое к контрольному кабелю (напряжение между точками 1 и 4) (рисунок 4.2). Полученные данные отобразим в виде таблицы 4.1 и рисунков 4.3-4.5.

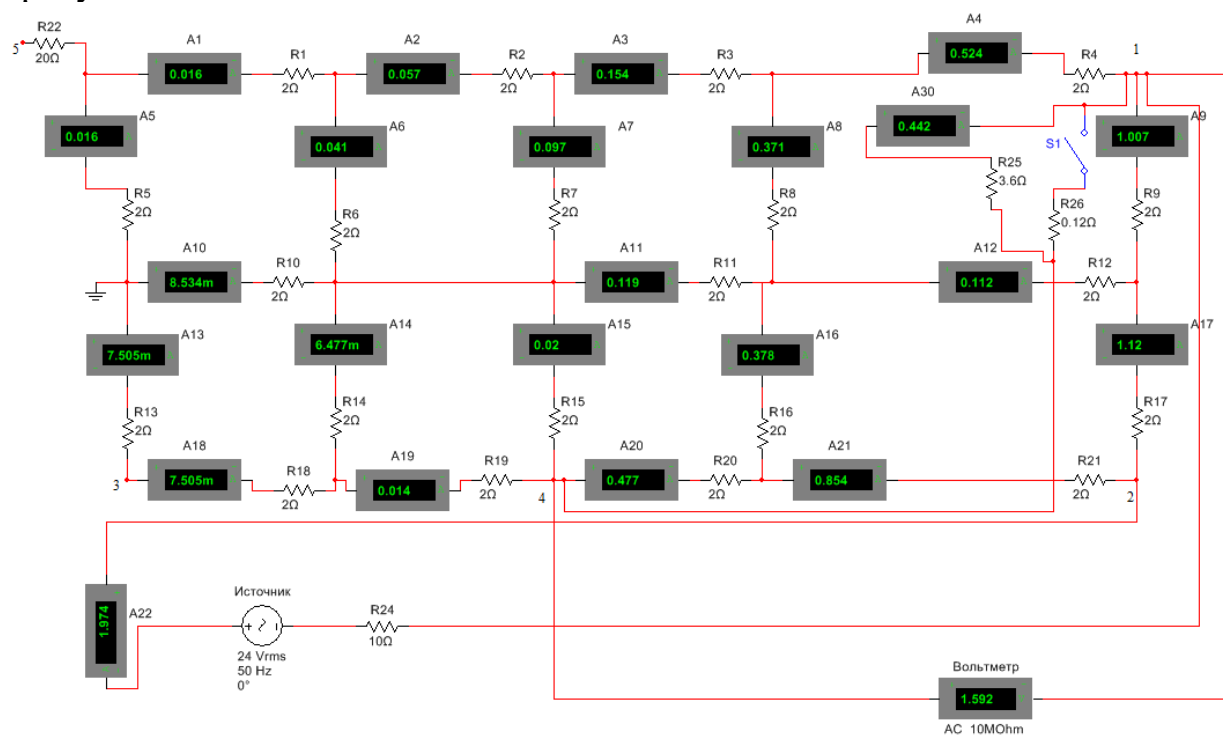


Рисунок 4.3 – Распределение токов по ЗУ при подключении источника к трансформатору 1 и выключателю

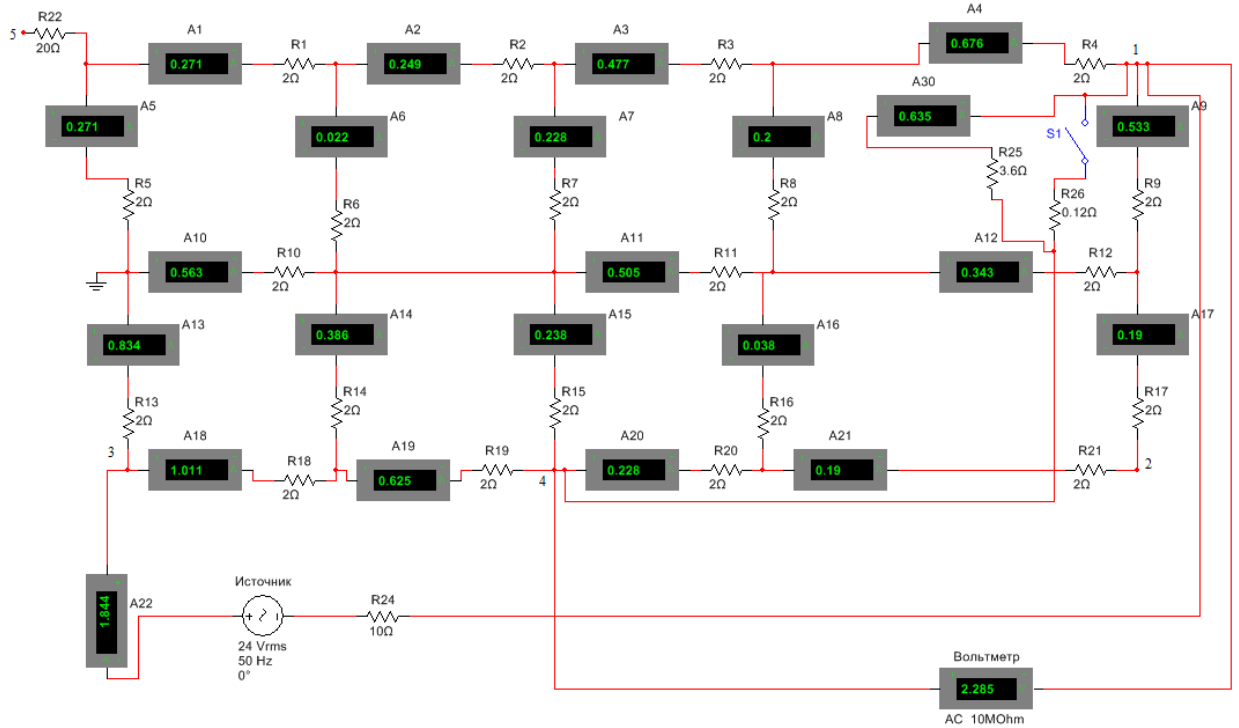


Рисунок 4.4 – Распределение токов по ЗУ при подключении источника к трансформатору 2 и выключателю

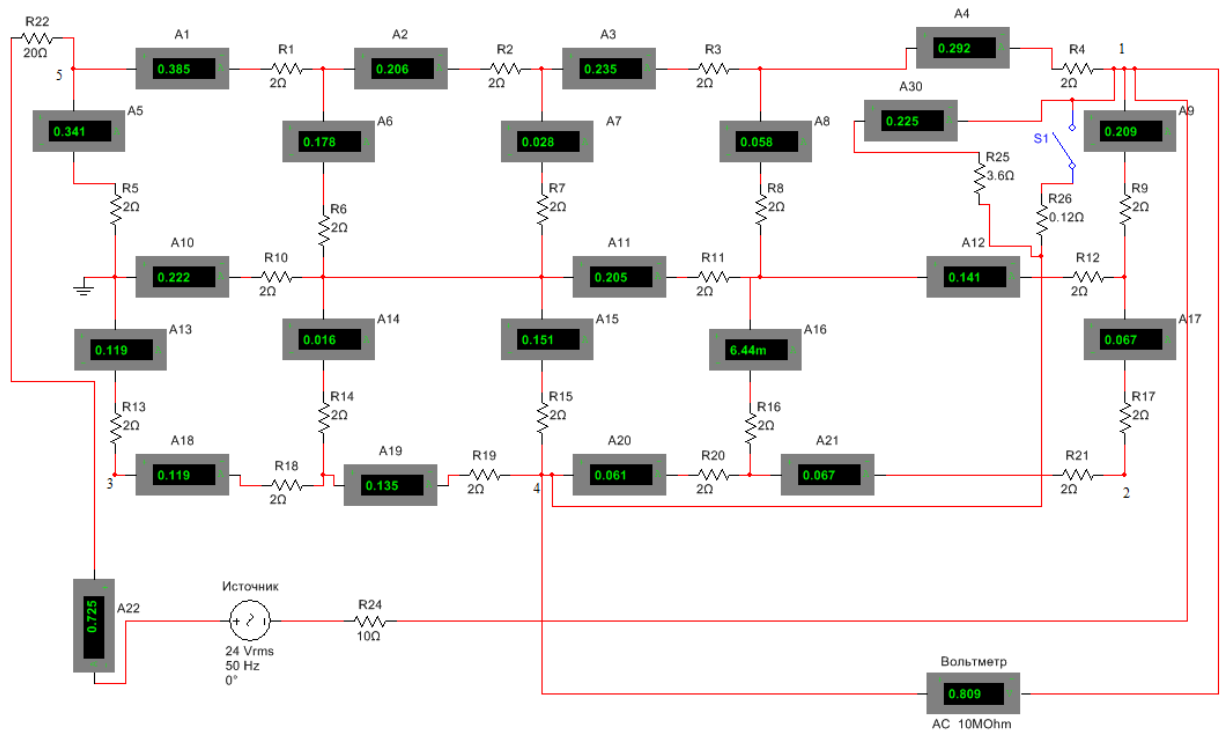


Рисунок 4.5 – Распределение токов по ЗУ при подключении источника к системе и выключателю

Таблица 4.1 – Распределение токов по контуру ЗУ с сопротивлением между узлами 2Ом.

Т1-В			Т2-В			С-В		
№ прибора	I,А	P,Вт	№ прибора	I,А	P,Вт	№ прибора	I,А	P,Вт
амперметр 1	0,016	0,0005	амперметр 1	0,271	0,147	амперметр 1	0,385	0,296
амперметр 2	0,057	0,0065	амперметр 2	0,249	0,124	амперметр 2	0,206	0,085
амперметр 3	0,154	0,0474	амперметр 3	0,477	0,455	амперметр 3	0,235	0,110
амперметр 4	0,525	0,5513	амперметр 4	0,676	0,914	амперметр 4	0,292	0,171
амперметр 5	0,016	0,0005	амперметр 5	0,271	0,147	амперметр 5	0,341	0,233
амперметр 6	0,041	0,0034	амперметр 6	0,022	0,001	амперметр 6	0,178	0,063
амперметр 7	0,097	0,0188	амперметр 7	0,228	0,104	амперметр 7	0,028	0,002
амперметр 8	0,371	0,2753	амперметр 8	0,2	0,080	амперметр 8	0,058	0,007
амперметр 9	1,008	2,0321	амперметр 9	0,533	0,568	амперметр 9	0,209	0,087
амперметр 10	0,0085	0,0001	амперметр 10	0,563	0,634	амперметр 10	0,222	0,099
амперметр 11	0,119	0,0283	амперметр 11	0,505	0,510	амперметр 11	0,205	0,084
амперметр 12	0,112	0,0251	амперметр 12	0,343	0,235	амперметр 12	0,141	0,040
амперметр 13	0,0075	0,0001	амперметр 13	0,834	1,391	амперметр 13	0,119	0,028
амперметр 14	0,0064	0,0001	амперметр 14	0,386	0,298	амперметр 14	0,016	0,001
амперметр 15	0,02	0,0008	амперметр 15	0,238	0,113	амперметр 15	0,151	0,046
амперметр 16	0,378	0,2858	амперметр 16	0,038	0,003	амперметр 16	0,0644	0,008
амперметр 17	1,12	2,5088	амперметр 17	0,19	0,072	амперметр 17	0,067	0,009
амперметр 18	0,0075	0,0001	амперметр 18	1,01	2,040	амперметр 18	0,119	0,028
амперметр 19	0,014	0,0004	амперметр 19	0,624	0,779	амперметр 19	0,135	0,036
амперметр 20	0,477	0,4551	амперметр 20	0,228	0,104	амперметр 20	0,061	0,007
амперметр 21	0,855	1,4621	амперметр 21	0,19	0,072	амперметр 21	0,067	0,009
амперметр 22	1,974	38,9668	амперметр 22	1,844	34,003	амперметр 22	0,725	10,513
амперметр 30	0,442	0,7	амперметр 30	0,635	1,5	амперметр 30	0,225	0,18
Напряжение 1,592 В			Напряжение 2,284 В			Напряжение 0,809 В		

$$I_{\text{экр}} = I_{\text{тр.1}} + I_{\text{тр.2}} + I_{\text{эс}} = 0,442 + 0,635 + 0,225 = 1,302\text{А} \quad (4.1)$$

$$I_{\text{экр}} = \frac{U_{\Sigma}}{R_{\text{экр}}} = \frac{1,592 + 2,284 + 0,809}{3,6} = 1,302\text{А} \quad (4.2)$$

Изменяем напряжение источника на 6В, тем самым будет выполнена имитация режима холостого хода (рисунок 4.6). Измеряем напряжение холостого хода. $U_{\text{хх}}=0,571\text{В}$.

Режим холостого хода – это эксплуатация подстанции в нормальном режиме, то есть однофазное КЗ отсутствует.

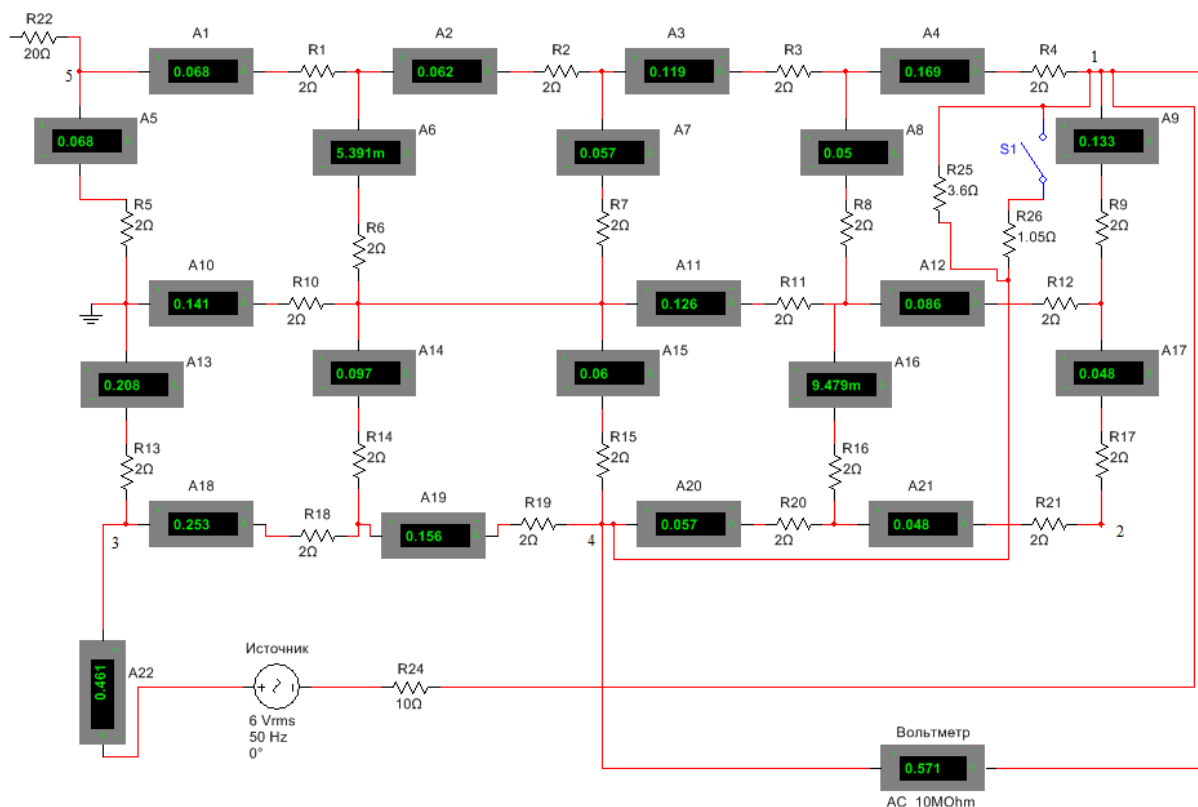


Рисунок 4.6 – Имитационная модель к измерению напряжения холостого хода

На основании моделирования вышеуказанной схемы получены следующие результаты:

- распределение токов по элементам контура заземления неравномерное и зависит от места возникновения КЗ или от места подпитки через нейтрали трансформаторов;
- наибольшие токи протекают по элементам связанным с точками имитации подпитки от нейтралей трансформаторов и в точке возникновения КЗ;
- максимальное напряжение холостого хода между заземленным корпусом выключателя и контуром заземления ОПУ наблюдается, если имитационный источник подключается к точке 3. В этом случае ток в экране контрольного кабеля также будет максимальным, следовательно в режиме КЗ, результирующий ток в экране будет иметь наибольшую величину. В результате имитации ХХ напряжение составило 0,571В.

4.2.2 Моделирование схемы с сопротивлениями контура ЗУ 5,10ма

Подключаем источник поочередно к точкам 1 и 2, 1 и 3, 1 и 5 (рисунок 4.2), тем самым имитируя соответственно токи КЗ от трансформатора 1, от трансформатора 2, от системы. Снимаем показания с амперметров и напряжение прикладываемое к контрольному кабелю (напряжение между точками 1 и 4) (рисунок 4.2). Полученные данные отобразим в виде таблицы 4.2 и рисунков 4.7-4.9.

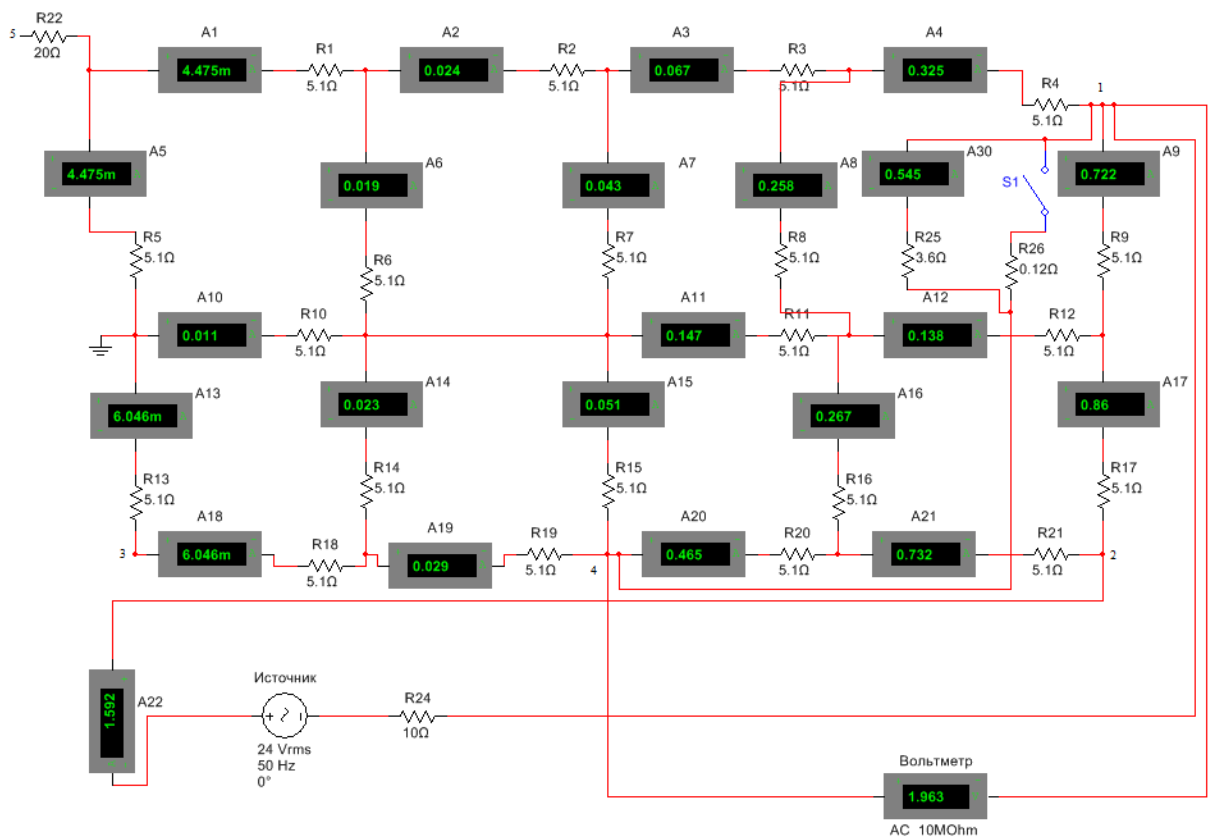


Рисунок 4.7 – Распределение токов по ЗУ при подключении источника к трансформатору 1 и выключателю

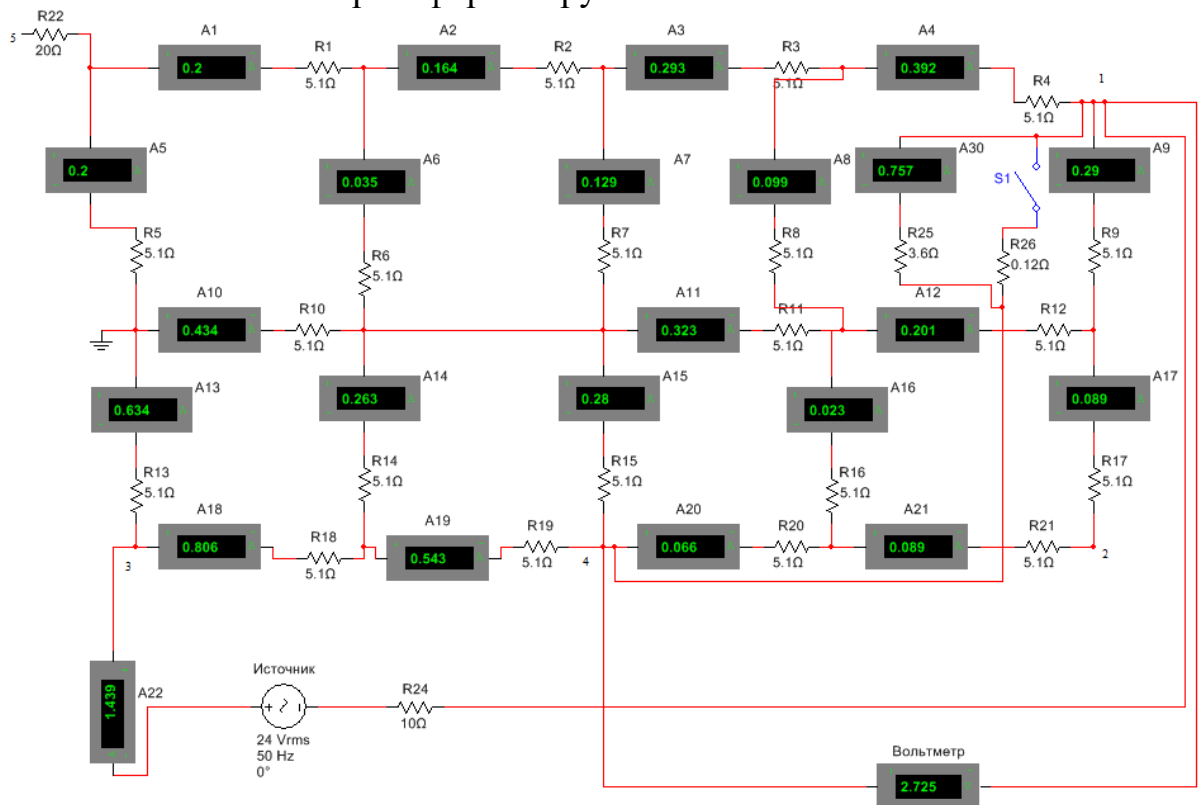


Рисунок 4.8 – Распределение токов по ЗУ при подключении источника к трансформатору 2 и выключателю

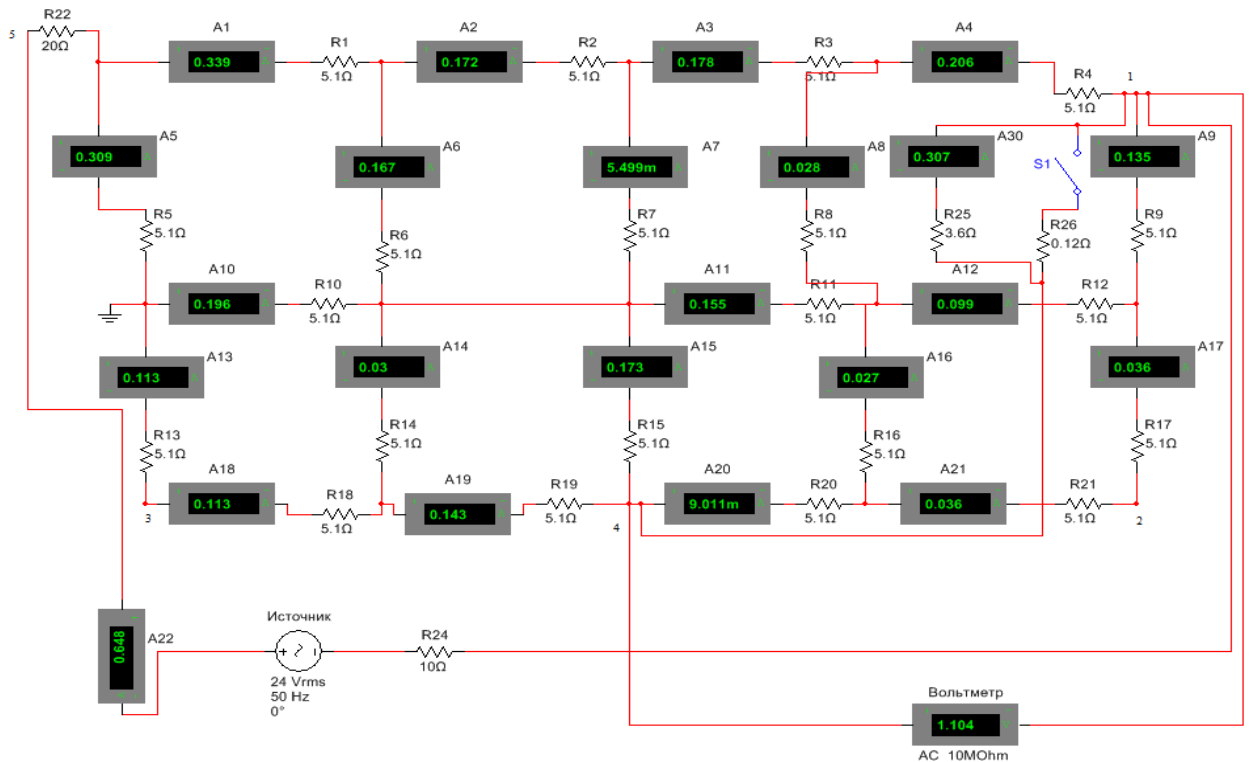


Рисунок 4.9 – Распределение токов по ЗУ при подключении источника к системе и выключателю

Таблица 4.2 – Распределение токов по контуру ЗУ с сопротивлением между узлами 5,1 Ом

Т1-В			Т2-В			С-В		
№ прибора	I, А	P, Вт	№ прибора	I, А	P, Вт	№ прибора	I, А	P, Вт
амперметр 1	0,0044	0,0001	амперметр 1	0,2	0,204	амперметр 1	0,339	0,586
амперметр 2	0,024	0,0029	амперметр 2	0,164	0,137	амперметр 2	0,172	0,151
амперметр 3	0,067	0,0229	амперметр 3	0,293	0,438	амперметр 3	0,178	0,162
амперметр 4	0,325	0,5387	амперметр 4	0,392	0,784	амперметр 4	0,206	0,216
амперметр 5	0,0044	0,0001	амперметр 5	0,2	0,204	амперметр 5	0,309	0,487
амперметр 6	0,019	0,0018	амперметр 6	0,035	0,006	амперметр 6	0,167	0,142
амперметр 7	0,043	0,0094	амперметр 7	0,129	0,085	амперметр 7	0,0055	0,000
амперметр 8	0,258	0,3395	амперметр 8	0,099	0,050	амперметр 8	0,028	0,004
амперметр 9	0,722	2,6585	амперметр 9	0,29	0,429	амперметр 9	0,135	0,093
амперметр 10	0,011	0,0006	амперметр 10	0,43	0,943	амперметр 10	0,196	0,196
амперметр 11	0,147	0,1102	амперметр 11	0,323	0,532	амперметр 11	0,155	0,123
амперметр 12	0,139	0,0985	амперметр 12	0,201	0,206	амперметр 12	0,099	0,050
амперметр 13	0,006	0,0002	амперметр 13	0,634	2,050	амперметр 13	0,113	0,065
амперметр 14	0,023	0,0027	амперметр 14	0,263	0,353	амперметр 14	0,03	0,005
амперметр 15	0,051	0,0133	амперметр 15	0,28	0,400	амперметр 15	0,173	0,153
амперметр 16	0,267	0,3636	амперметр 16	0,023	0,003	амперметр 16	0,027	0,004
амперметр 17	0,861	3,7807	амперметр 17	0,089	0,040	амперметр 17	0,036	0,007
амперметр 18	0,006	0,0002	амперметр 18	0,806	3,313	амперметр 18	0,113	0,065
амперметр 19	0,029	0,0043	амперметр 19	0,543	1,504	амперметр 19	0,143	0,104
амперметр 20	0,465	1,1027	амперметр 20	0,066	0,022	амперметр 20	0,009	0,000

- максимальное напряжение холостого хода между заземленным корпусом выключателя и контуром заземления ОПУ наблюдается, если имитационный источник подключается к точке 3. В этом случае ток в экране контрольного кабеля также будет максимальным, следовательно в режиме КЗ, результирующий ток в экране будет иметь наибольшую величину. В результате имитации ХХ напряжение составило 0,681В

Проанализировав результаты моделирования, принимаем к окончательной разработке схему с ЗУ построенной на резисторах величиной 2Ома. Выбор данной схемы основан на следующих факторах:

- схема с резисторами величиной 2Ома позволяет расширить шкалу используемых приборов, так как в этой схеме протекают большие токи;
- схема с резисторами величиной 2Ома будет более экономична, так как на основе моделирования, наибольшая мощность резистора в схеме составляет 2,5Вт, а в схеме с резисторами 5,1 Ом - 3,7Вт.

4.3 Имитация работы шины уравнивания потенциалов

Имитацию работы шины уравнивания потенциалов покажем на примере принятой к разработке схемы, то есть схемы с ЗУ построенным на резисторах величиной 2Ома.

Подключаем источник поочередно к точкам 1 и 2, 1 и 3, 1 и 5 (рисунок 4.2), тем самым имитируя соответственно токи КЗ от трансформатора 1, от трансформатора 2, от системы, одновременно замыкаем ключ S1, который имитирует работу ШУП. Снимаем показания напряжения с вольтметра подключенного между точками 1 и 4 (рисунки 4.11-4.13).

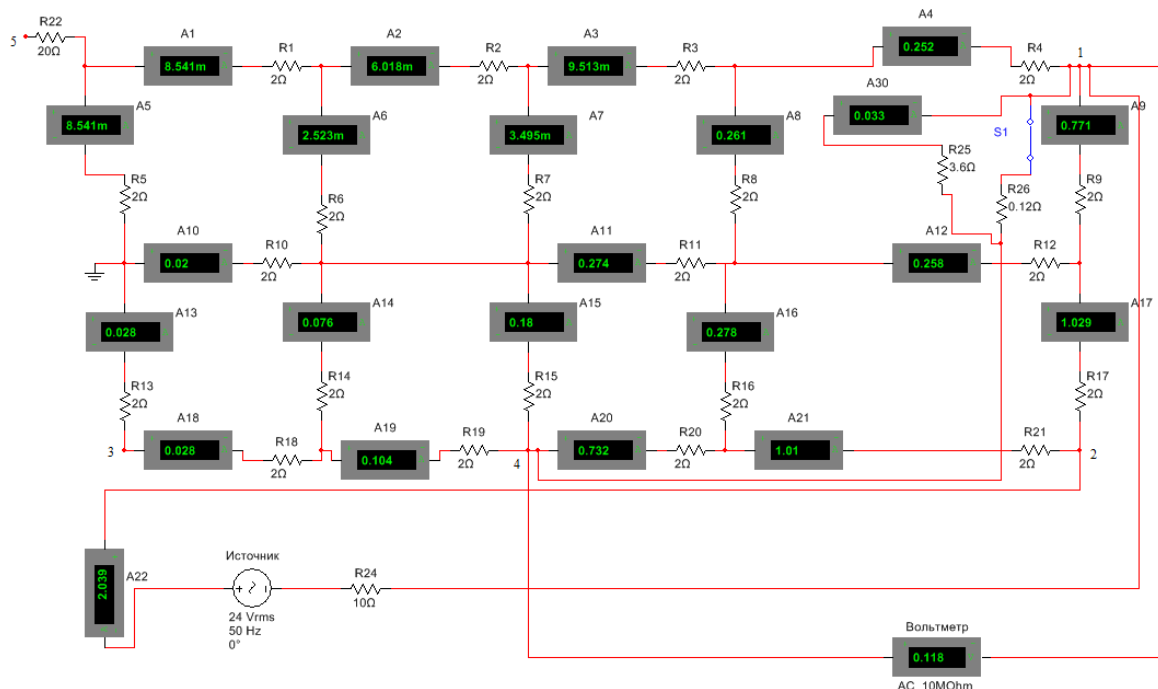


Рисунок 4.11 – Имитационная модель для демонстрации работы ШУП при при подключении источника к трансформатору 1 и выключателю

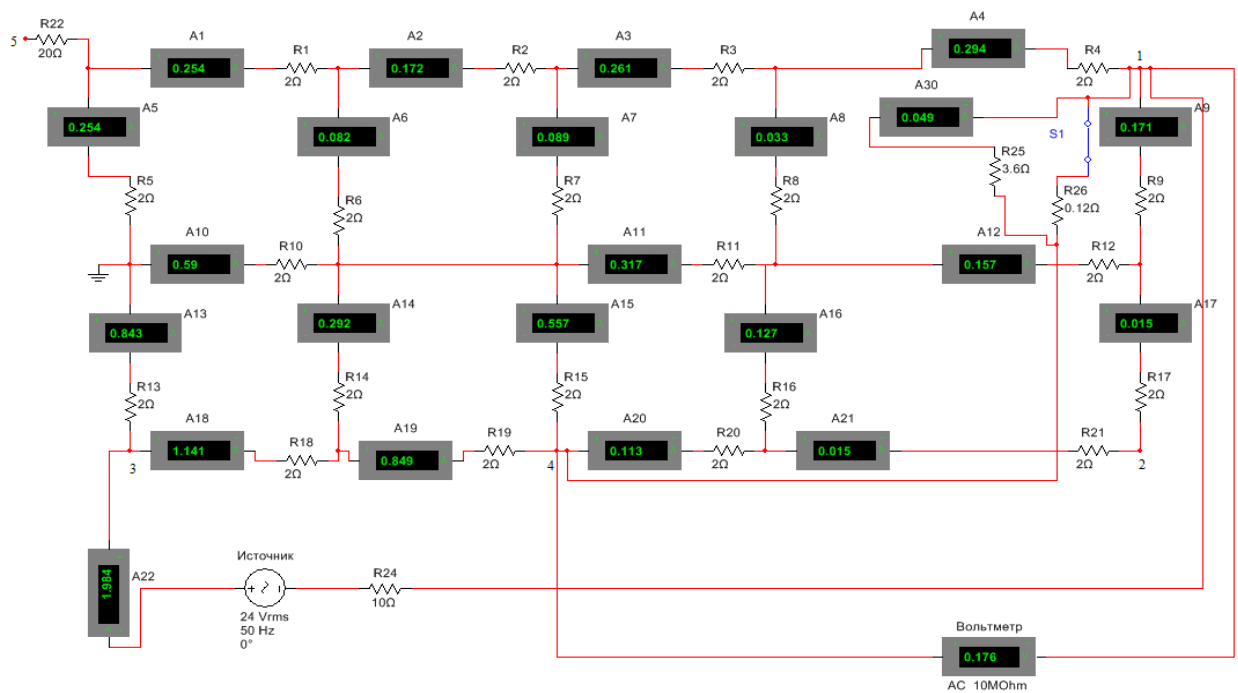


Рисунок 4.12 – Имитационная модель для демонстрации работы ШУП при при подключении источника к трансформатору 2 и выключателю

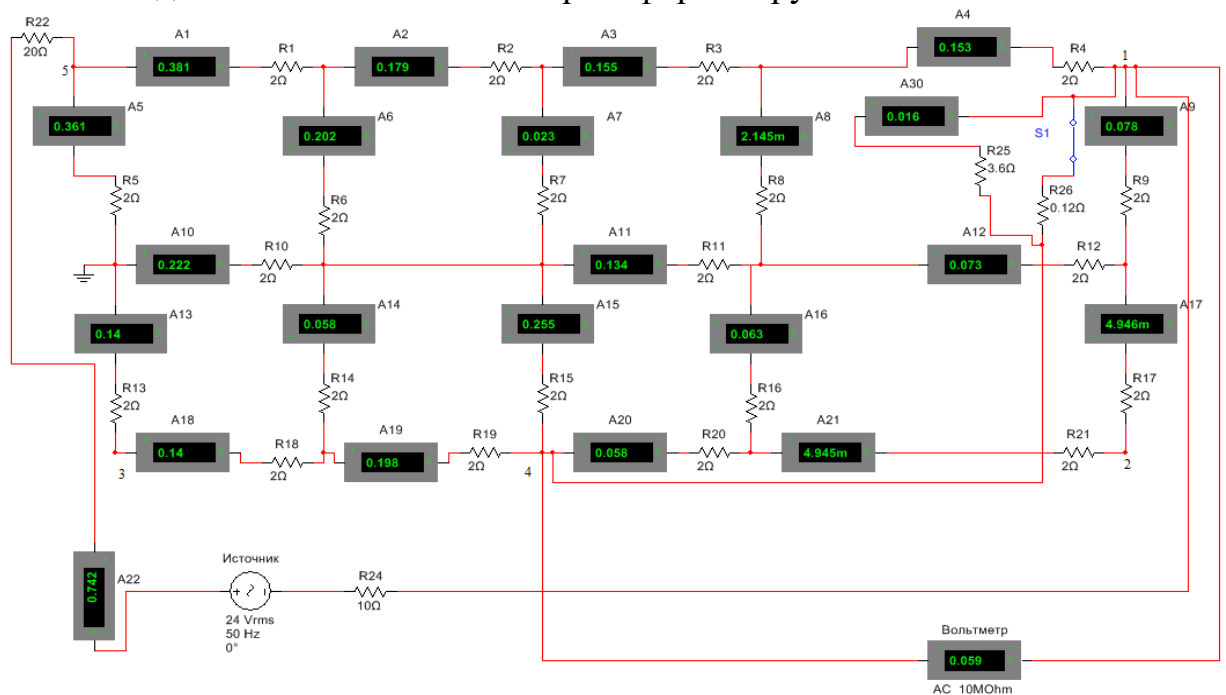


Рисунок 4.13 – Имитационная модель для демонстрации работы ШУП при при подключении источника к системе и выключателю

$$I_{\text{Экр}} = I_{\text{тр.1}} + I_{\text{тр.2}} + I_{\text{эс}} = 0,033 + 0,049 + 0,016 = 0,098\text{A}$$

$$I_{\text{Экр}} = \frac{U_{\Sigma}}{R_{\text{Экр}}} = \frac{0,118 + 0,176 + 0,059}{3,6} = 0,098\text{A}$$

Таблица 4.3 – Измерение напряжений прикладываемых к контрольному кабелю до и после применения ШУП

Величина напряжения между точками 1 и 4, В	T1-В	T2-В	С-В
Без применения ШУП	1,592	2,284	0,809
С применением ШУП	0,118	0,176	0,059

Как видно из таблицы 4.3 при применение шины уравнивания потенциалов, напряжение прикладываемое к условному экрану контрольного кабеля снижается в 13-13,8 раз, в зависимости от точки подключения ГПЧ, что подтверждает эффективность работы ШУП.

4.4 Выводы по 4 разделу

На основании вышеизложенного материала можно сделать следующие выводы:

- наиболее экономичная и наглядная схема моделирования аварийного режима на ОРУ 110кВ, 220кВ подстанции наблюдается, если ЗУ выполнено на резисторах величиной 2Ома;

- имитация работы ШУП на схеме ЗУ собранного на базе резисторов величиной 2Ома показала наглядность и эффективность данного метода по снижению токов в экране контрольного кабеля, связывающего выключатель и ОПУ. Напряжение прикладываемое к контрольному кабелю снижается в 13-13,8раз, а соответственно снижается и ток в экране;

- практическую реализацию стенда необходимо выполнить на базе резисторов величиной 2Ома. При этом величина напряжения источника питания в режиме КЗ 24В, в режиме ХХ 6В, величина токоограничивающих резисторов от ЭС R22=20Ом от источника R24=10Ом, мощность источника не менее 55,2ВА.

- для измерения токов и напряжений необходимо иметь приборы с пределами измерений – от 0 до 2,5А для амперметра, и от 0 до 24В для вольтметра.

5. Разработка конструкции стенда, принципиальной и монтажной схемы, апробирование работы стенда

5.1 Описание конструкции и дизайн стенда

Кафедрой электрификации горно-металлургического производства (ЭГМП) было принято решение по созданию лаборатории по электромагнитной обстановке (ЭМО), электромагнитной совместимости (ЭМС) на подстанциях. Для данной цели кафедрой ЭГМП, которая находится в учебном корпусе института горного дела, геологии и геотехнологии, СФУ была выделена аудитория 307(рисунок 5.1).

Данная работа посвящена разработке лабораторного стенда по теме «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ», а также разработке методического обеспечения.

Конструкция лабораторного стенда должна обеспечивать выполнение двух лабораторных работ:

1) Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на ОРУ подстанции 110кВ.

2) Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на ОРУ подстанции 220кВ.

Конструктивно стенд представляет собой короб размерами 1200x360x760, выполненный из листов ЛДСП, установленный на учебной парте. Внешний вид лицевой панели стенда «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ» представлен на рисунке 5.2, а общий вид стенда представлен на рисунке 5.3.

На лицевой панели стенда расположено следующее оборудование:

- двухполюсной автоматический выключатель QF, номинальным током 6А, характеристика С. Предназначен для защиты от перегрузок и защиты от короткого замыкания;
- сигнальная лампа LG свидетельствует о подачи питания к стенду;
- тумблер SA1 служит для включения/отключения режима холостого хода;
- амперметр, предназначен для измерения тока на модели ЗУ;
- мультиметр, позволяет измерить напряжение прикладываемое к имитированному экрану контрольного кабеля;
- тумблер SA2 имитирует работу ШУП;
- сигнальная лампа LR служит сигнализацией о включении ШУП;
- тумблер SA3, осуществляет выбор ОРУ 110кВ или 220кВ.

Внешний вид обратной стороны стенда представлен на рисунке 5.4.



Рисунок 5.1 – Аудитория 307 оборудованная под лабораторию для изучения электромагнитной обстановки и электромагнитной совместимости

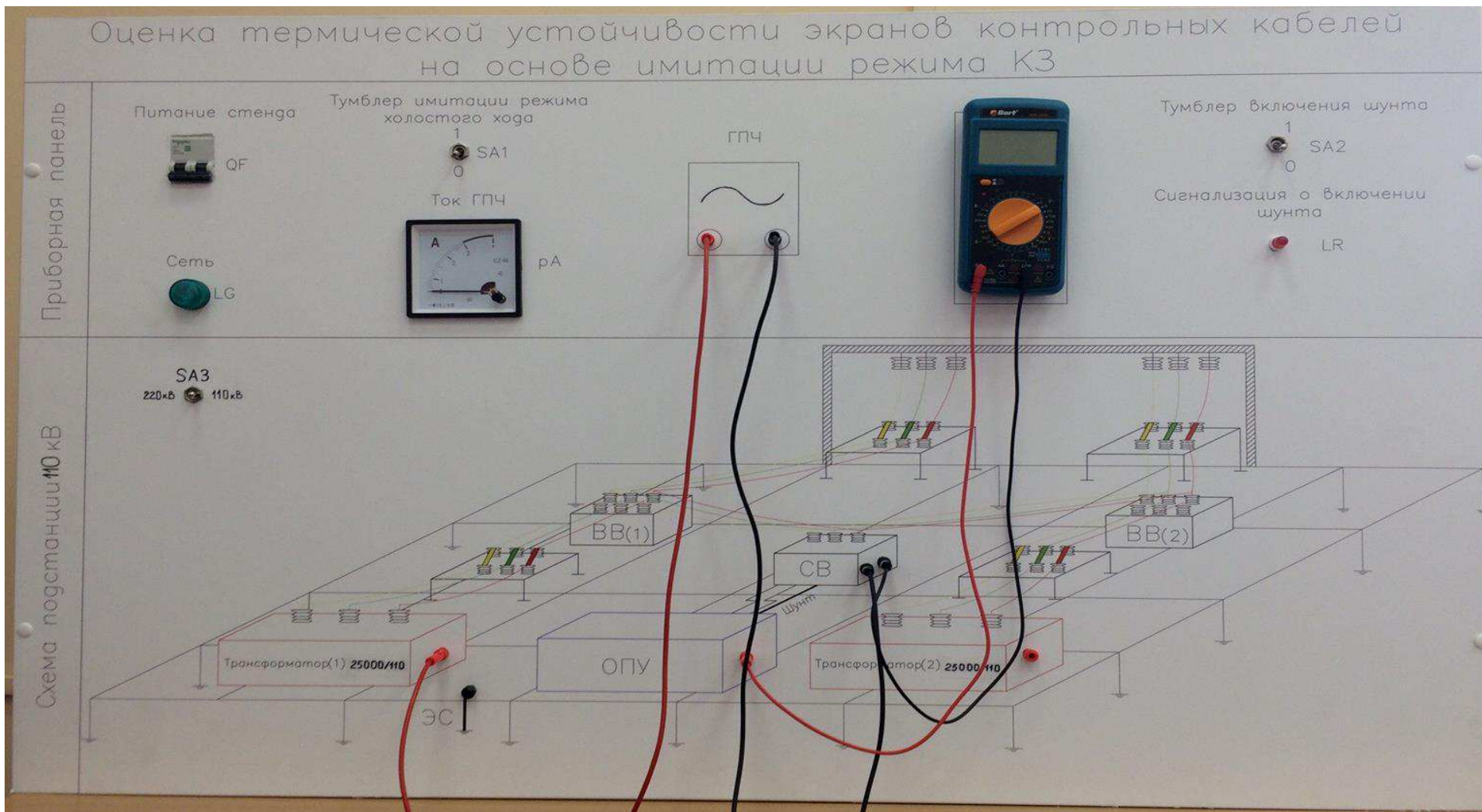


Рисунок 5.2 – Внешний вид лицевой панели стенда «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»

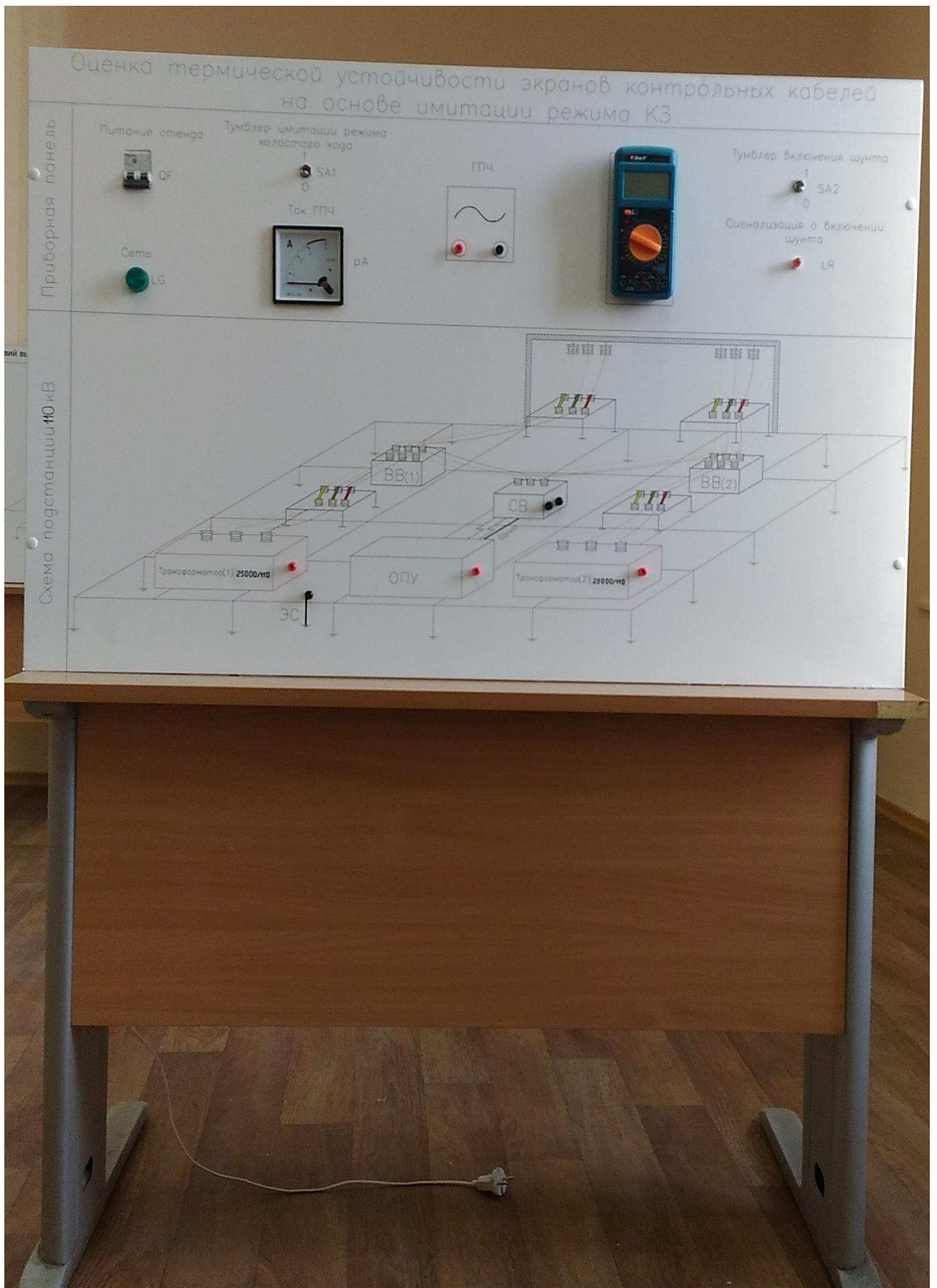
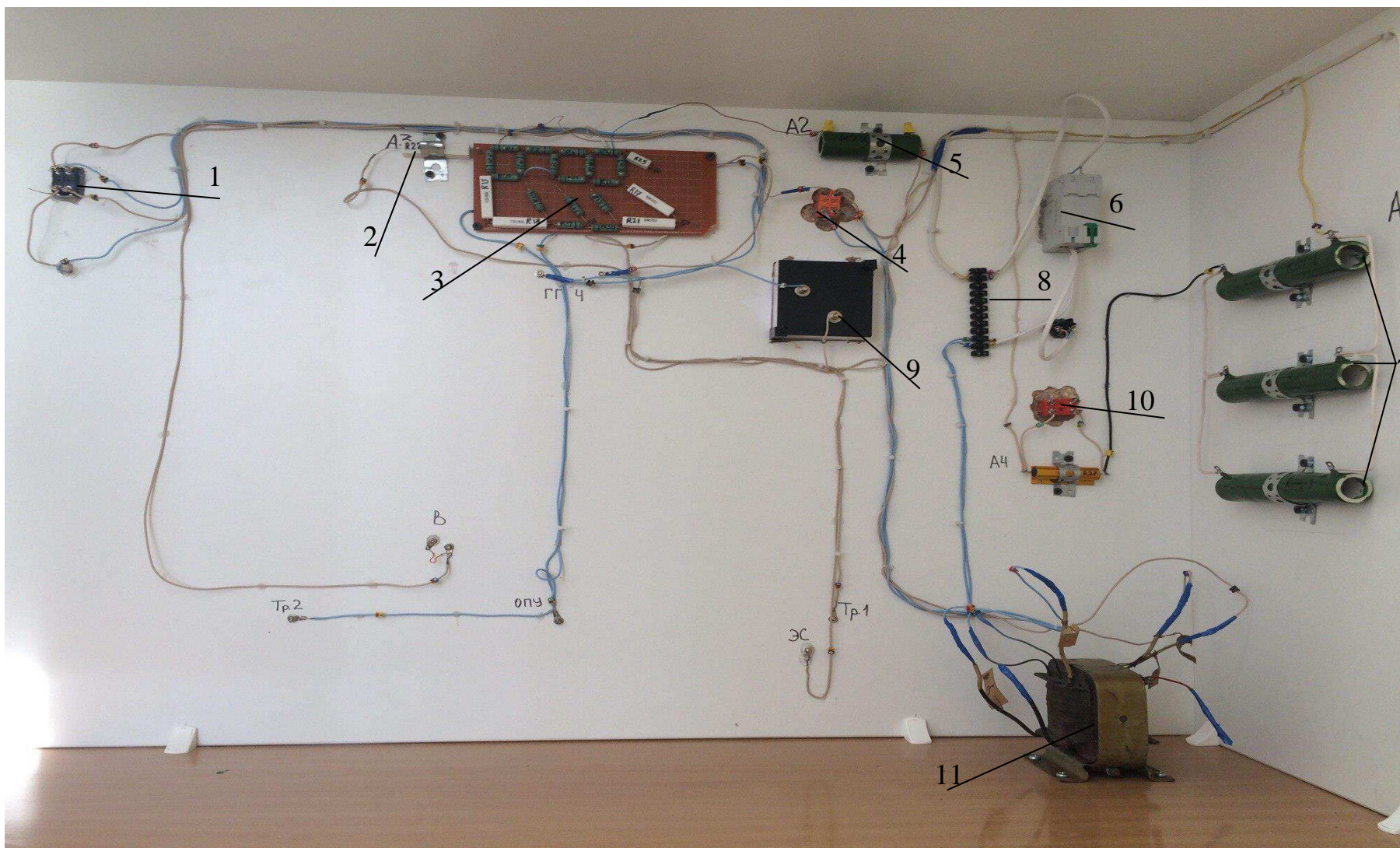


Рисунок 5.3 – Общий вид стенда «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»



1 – тумблер включения ШУП, 2 – резистор ограничивающий ток от системы, 3 – модель контура заземления, 4 – тумблер имитации холостого хода, 5 – токоограничивающий резистор режима холостого хода, 6 – автоматический выключатель, 7 – токоограничивающие резисторы режима КЗ, 8 – клеммник, 9 – амперметр, 10 - тумблер выбора ПС110кВ или ПС220кВ, 11 – силовой трансформатор 220/24/6В.

Рисунок 5.4 – Внешний вид обратной стороны стенда «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»

5.2 Разработка и описание принципиальной схемы стенда

Разработка принципиальной схемы (рисунок 5.5) стенда была основана на компьютерном моделировании, которое отражено в 4 разделе данной работы, с учетом того что, с ростом напряжения подстанции при прочих равных условиях будет наблюдаться снижение тока КЗ. Следовательно, подключение ГПЧ к схеме имитирующей ОРУ 220кВ должно осуществляться через резистор с большим значением сопротивления, чем ОРУ 110кВ.

Описание схемы.

Для выполнения лабораторной работы связанной с оценкой термической устойчивости на ПС 110кВ тумблер SA3 переводим в крайнее правое положение 110кВ. Для выполнения лабораторной работы связанной с оценкой термической устойчивости на ПС 220кВ тумблер SA3 переводим в крайнее левое положение 220кВ. В первом случае происходит шунтирование резистора $R_{27}=5\text{Ом}$, во втором случае сопротивление возрастает на 5 Ом, что имитирует снижение тока КЗ.

Имитация 3У подстанции выполнена на базе резисторов 2 Ома типа KNP-500 и SQP мощностью 5Вт.

Источником переменного тока является трансформатор 220/24/6В. Согласно методике представленной в СО 34.35.311-2004 для имитации тока КЗ необходимо использовать ГПЧ. В режиме ПС 110кВ ГПЧ на стенде имитируется с помощью 2 разъемов, подключенных через резисторы R24-1 - R24-3, соединенные параллельно, к обмотке 24В. В режиме ПС 220кВ к параллельно соединенным резисторам R24-1 - R24-3 последовательно включается резистор R27. Режим XX имитируется путем подключения к обмотке 6В силового трансформатора, через резистор R23. Напряжение 220В к трансформатору подается от внешнего источника через выключатель QF. О наличии напряжения на первичной обмотке трансформатора свидетельствует лампа LG. Таким образом, схема стенда питается от вторичных обмоток трансформатора 24В и 6В. От обмотки трансформатора 24В, через тумблер SA2, запитана сигнальная лампа LR, которая свидетельствует о включении ШУП между выключателем и ОПУ.

В точках подключения нейтралей первого и второго трансформаторов установлены разъемы с надписью Трансформатор 1 и Трансформатор 2. Разъем связанный с заземлением общеподстанционного пункта управления на стенде обозначен ОПУ. Разъем связанный с точкой заземления выключателя обозначен В. Разъем связанный с местом возникновения КЗ подстанции обозначен ЭС. Указанные разъемы расположены на лицевой панели стенда. Использование данных разъемов и переносных проводников позволяет подключаться к обмотке трансформатора 24В и тем самым имитировать режим КЗ.

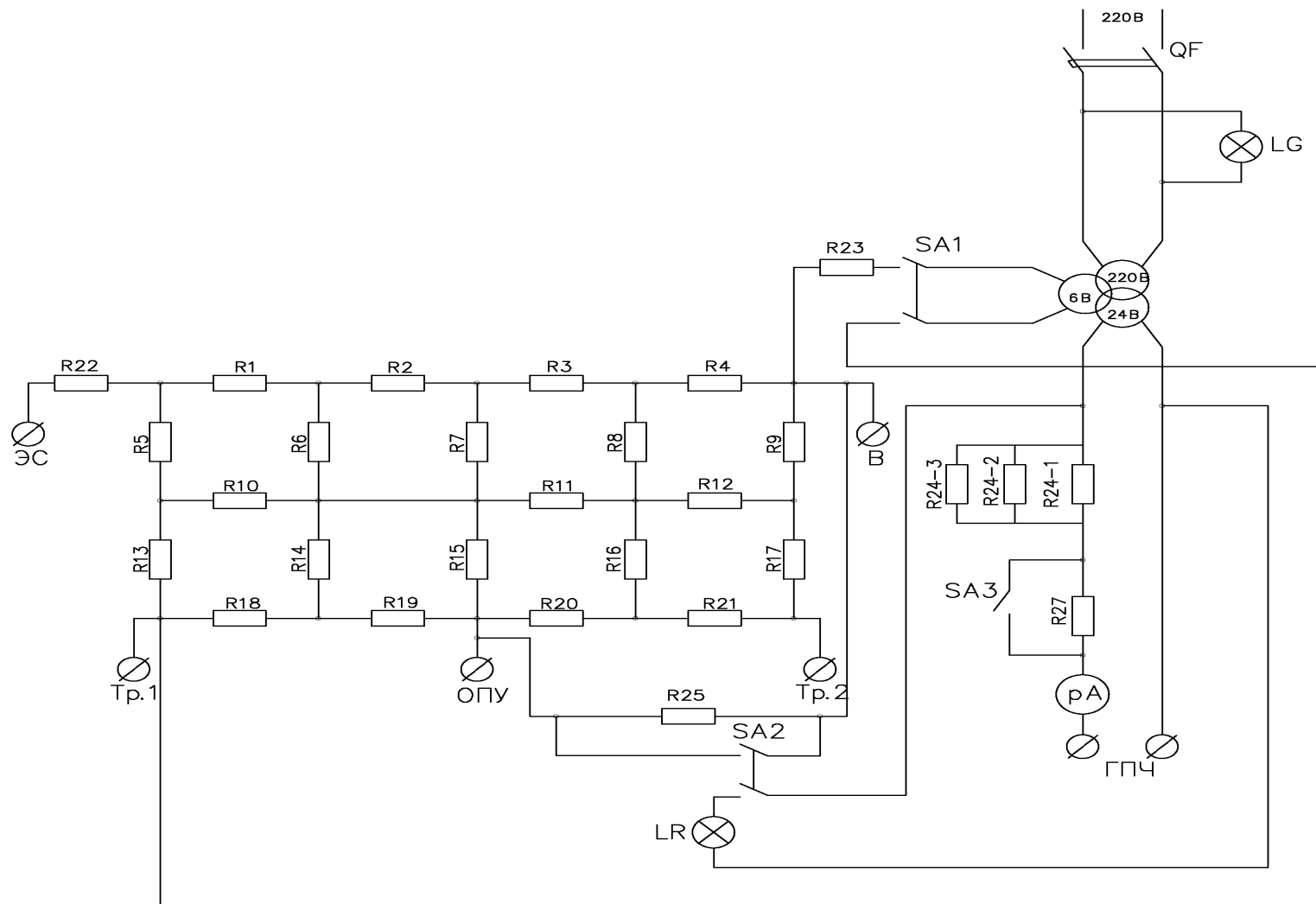


Рисунок 5.5 – Принципиальная схема стенда «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»

В процессе выполнения компьютерного моделирования для того чтобы показать эффективность применения ШУП резистор $R_{25}=3,6\text{Ом}$ шунтировался резистором $R_{26}=0,12$, однако переходное сопротивление схемы и сопротивление тумблера SA2 превышают данную величину и составляет $0,25\text{Ом}$. В соответствии с этим эффект применения ШУП на стенде будет моделироваться путем шунтирования сопротивления $R_{25}=3,6\text{Ом}$ через ключ SA2 с сопротивлением $0,25\text{Ом}$.

Имитация работы ШУП выполнена на базе тумблера SA2 при включении тумблера происходит шунтирование резистора R_{25} , в результате этого общее сопротивление между точкой 1 и 4 снижается в 14раз, что приводит к уменьшению потенциала приложенного экрану контрольного кабеля в 5,3-8,4раза, в зависимости от точки подключения ГПЧ, а соответственно к уменьшению тока в экране. Полученный результат наглядно демонстрирует эффективность работы ШУП.

Таким образом, разработанная принципиальная схема стенда позволяет имитировать распределение токов КЗ через нейтрали силовых трансформаторов и имитировать эффективность работы ШУП. Следовательно, разработанная принципиальная схема полностью отображает процесс имитации режима КЗ обозначенного в СО 34.35.311-2004

Далее приведена спецификация стенда таблицы 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1 – Спецификация материалов стенда «Оценка термической устойчивости контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»

№ позиции	Наименование материала	Количество
1	Провод электрический 2х0,75	20метров.
2	Бумага самоклеющаяся 1200х760	1шт.
3	перфолента	1 метр
4	Саморезы 4х10	14 шт.
5	Болт М5 30мм	4шт.
6	Гайка М5	4шт.
7	Хомут	50шт.
8	Изолента	1шт.
9	термоклей	6 стержней

Таблица 5.2 – Спецификация электрооборудования стенда «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»

№ позиции	Наименование	Тип, маркировка	Количество, шт,м.	Условное обозначение
1	Автоматический выключатель	Schneider Electric EZ9F34206, C6	1	QF
2	Лампа сигнальная		1	LG
3	Лампа сигнальная		1	LR

Окончание таблицы 5.2

4	Амперметр переменного тока	CZ-96	1	рА
5	Тумблер	E-TEN 1221 15A 250В	2	SA1,SA3
6	Тумблер	KN3 – 201А 10А 250В	1	SA2
7	Мультиметр	Vort BMM-1000N	1	
8	Электрические разъемы		7	ГПЧ,СВ, ОПУ, трансформатор1, трансформатор 2
9	Резистор 2Ом, 5Вт	KNP-500	17	R1-R12,R14-R16,R19-R20
10	Резистор 2Ом, 5Вт	SQP-5W	4	R13,R17,R18,R21
11	Резистор 5Ом, 100Вт		1	R27
12	Резистор 20Ом, 20Вт	SQP-20W	1	R22
13	Резистор 3,6Ом, 5Вт	KNP-500	1	R25
14	Резистор 33Ом, 100Вт	ПЭВ -100	3	R24-1 – R24-3
15	Резистор 10Ом, 50Вт	ПЭВ - 50	1	R23

5.3 Монтажная схема

Основой для разработки монтажной схемы является ее принципиальная схема. На монтажной схеме показываются элементы схемы и их взаимное подключение. Каждому соединению в монтажной схеме присваивается индивидуальный номер, соответствующие номера наносятся на соединительные провода реальной схемы. Грамотно составленная монтажная схема значительно упрощает работу при ремонте и обслуживании электроустановок. Монтажная схема стенда «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ» представлена на рисунке 5.6.

5.4 Апробация лабораторного стенда

5.4.1 Имитация режима КЗ

Лабораторный стенд «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ» выполнен на основании методики описанной в СО 34.35.311-2004 «Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях».

Работа на стенде выполняется в следующей последовательности:

- Выбираем напряжение на ОРУ подстанции
- имитация режима ХХ и измерение напряжения ХХ;
- имитация режима КЗ;
- измерение токов и напряжений на модели ЗУ;
- проверка эффективности ШУП
- пересчет результатов измерений к реальным значениям тока КЗ в соответствии с методикой СО 34.35.311-2004.

Апробируем стенд в соответствии с перечисленными пунктами.

1. Включаем вводной автомат QF, загорается сигнальная лампа сигнализирующая о подачи питания на стенд;

2. Тумблером SA3 выбираем напряжение подстанции 110кВ или 220кВ;

3. Переводим тумблер имитации холостого хода SA1 в положении «1», тем самым имитируя режим ХХ. Измеряем величину напряжения, подключив мультиметр к разъемам ОПУ и В. Напряжение составляет 0,59В. После измерения тумблер переводим в положении «0»

4. Поочередно подключаем ГПЧ к разъемам Трансформатор 1-СВ, Трансформатор 2-СВ и ЭС-СВ, и измеряем токи и напряжения, результаты заносим в таблицу 5.3.

5. Затем повторяем измерения при включенном тумблере SA2, который имитирует применение ШУП, и заносим значения в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 – Результаты апробирования

Цепь	$I_{гпч}, А$	$U_{гпч}, В$	$U_{хх}, В$	$U_{гпч}$ с ШУП
Тр.1-СВ	1,35	1,15	0,6	0,22
Тр.2-СВ	1,25	1,65	0,6	0,25
ЭС-СВ	0,6	0,74	0,6	0,11

Анализ таблицы 5.3 показывает, что использование ШУП снижает напряжение в экране контрольного кабеля в пределах от 5,2 до 6,6 раз в зависимости от точки подключения ГПЧ, что еще раз подтверждает эффективность работы ШУП. Ток имитации однофазного КЗ составляет 3,2А при этом распределение токов между нейтральными трансформаторов 42% 39% и системой 19% что с достаточной для практики точностью соответствует требованиям приведенным в разделе 3.

5.4.2 Перерасчет полученных данных к реальным значениям

Перерасчет экспериментальных данных к реальным значениям приводим в соответствии с методикой СО 34.35.311-2004. Воспользуемся ранее приведенными в 3 разделе формулами и рассчитаем ток в экране контрольного кабеля при реальном КЗ в 4кА.

1) Определяем токи КЗ, зная их процентное распределение:

Ток уходящий в энергосистему:

$$I_{\text{эс}} = 0,19 \cdot I_{\text{кз}} = 0,19 \cdot 4000 = 760 \text{ А}$$

Ток в нейтрале трансформаторов:

$$I_{\text{тр1}} = 0,42 \cdot 4000 = 1680 \text{ А}$$

$$I_{\text{тр2}} = 0,39 \cdot 4000 = 1560 \text{ А}$$

2) Определяем разность потенциалов при имитации растекания тока КЗ:

$$\Delta U_{\text{ГПЧ}} = U_{\text{ГПЧ}} - U_{\text{ХХ}}$$

$$\Delta U_{\text{эс}} = 0,74 - 0,6 = 0,14 \text{ В}$$

$$\Delta U_{\text{тр1}} = 1,15 - 0,6 = 0,55 \text{ В}$$

$$\Delta U_{\text{тр2}} = 1,65 - 0,6 = 1,05 \text{ В}$$

3) Определяем разницу потенциалов при растекании реального тока КЗ

$$\Delta U_{\text{кз.и}} = \Delta U_{\text{ГПЧ}} \cdot \frac{I_{\text{кз.и}}}{I_{\text{ГПЧ}}}$$

$$\Delta U_{\text{кз.эс}} = 0,14 \cdot \frac{760}{0,6} = 177,3 \text{ В}$$

$$\Delta U_{\text{кз.тр1}} = 0,55 \cdot \frac{1680}{1,35} = 684,4 \text{ В}$$

$$\Delta U_{\text{кз.тр2}} = 1,61 \cdot \frac{1560}{1,25} = 1310,4 \text{ В}$$

4) Найдем суммарное напряжение между ОПУ и высоковольтным выключателем при коротком замыкании:

$$U_{\Sigma} = \Delta U_{\text{кз.эс}} + \Delta U_{\text{кз.тр1}} + \Delta U_{\text{кз.тр2}} = 177,3 + 684,4 + 1310,4 = 2172 \text{ В}$$

Таблица 5.4 – Расчет напряжений между ОПУ и выключателем при КЗ

Цепь	$I_{\text{ГПЧ}}$, А	$U_{\text{ГПЧ}}$, В	$I_{\text{кз.и}}$, кА	$\Delta U_{\text{ГПЧ}}$, В	$\Delta U_{\text{кз.и}}$, В
Энергосистема-выключатель	0,6	0,74	0,76	0,14	177,3
Трансформатор 1 – выключатель	1,35	1,15	1,68	0,55	684,4
Трансформатор 2 – выключатель	1,25	1,65	1,56	1,05	1310,4
Сумма	-	-	4	-	2172

6) Находим ток протекающий по экрану кабеля, обусловленный током КЗ, используя формулу (3.2):

$$I_3 = \frac{2172}{3,6} = 603,3 \text{ А}$$

7) Используя формулы (3.3-3.4) находим допустимый ток в экране

Время существования режима КЗ составляет:

$$t = t_{\text{выд.РЗА.max}} + t_{\text{ср.мпу}} + t_{\text{ср.вык}} = 1,8 + 0,06 + 0,03 = 1,89 \text{ с}$$

Допустимый ток составит:

$$I_{\text{доп}} = 0,8 \cdot \frac{100}{\sqrt{0,09 + 1,89}} = 56,8 \text{ А}$$

8) Сравним значения допустимого и протекающего по экрану тока

$$I_3 = 603,3 \text{ А} > I_{\text{доп}} = 56,8 \text{ А}$$

Ток в экране контрольного кабеля при КЗ в 8кА превысил допустимый ток, следовательно, кабель не удовлетворяет условиям термической устойчивости при данном токе короткого замыкания, что требует принятия мер по уменьшению тока в экране. С этой целью используем шину уравнивания потенциалов, выполненную из стальной полосы сечением 250мм².

Сопротивление ШУП длиной 200метров составит:

$$R_{\text{ШУП}} = \frac{\rho l}{s} = \frac{0,14 \cdot 200}{250} = 0,112 \text{ Ом}$$

Режим КЗ можно рассматривать как источник тока, следовательно при параллельном подключении ШУП к экрану контрольного кабеля в точке соединения ток составит 1770А. Ток в экране кабеля составит:

$$I'_3 = I_3 \cdot \frac{R_{\text{ШУП}}}{R_3 + R_{\text{ШУП}}} = 603,3 \cdot \frac{0,112}{3,6 + 0,112} = 18,2 \text{ А}$$

$I'_3 = 18,2 < I_{\text{доп}} = 56,8 \text{ А}$ – условие термической устойчивости выполнено.

А ток в ШУП составит:

$$I_{\text{ШУП}} = I_3 - I'_3 = 603,3 - 18,2 = 585,1\text{А}$$

Согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ) 1.4.16 температура нагрева стальной шины не должна превышать 400°С. Исходя из данной температуры нагрева, согласно СТО 56947007-29.240.044-2010, допустимый ток короткого замыкания для ШУП составит.

$$I_{\text{доп}} = \frac{S}{S_{\text{доп}} q} = \frac{250}{14 \cdot 0,8 \sqrt{1,89}} = 16,2\text{кА}$$

Расчетный ток протекающий через ШУП 585 А удовлетворяет условиям термической устойчивости, так как меньше допустимого 16200А.

5.5 Выводы по 5 разделу

На основании вышеизложенного материала можно сделать следующие основные выводы:

1. В данном разделе представлена принципиальная электрическая схема, монтажная схема, и спецификация оборудования и расходных материалов, которые использовались при монтаже и наладке стенда. Это позволяет эксплуатировать стенд и устранять неисправности, если они возникнут.

2. Результаты апробации стенда подтверждают теоретическую проработку и результаты компьютерного моделирования лабораторных работ на данном стенде, что позволяет наглядно показать физические процессы по распределению токов КЗ на ОРУ подстанций 110-220кВ и убедиться в эффективности использования ШУП.

3. Стенд обеспечивает полную электробезопасность при выполнении лабораторных работ, так как в качестве рабочего напряжения используется величина 24В.

6. Разработка методического обеспечения

Методическое обеспечение включает в себя два основных раздела:

- 1) методические указания к лабораторным работам;
- 2) возможные варианты выполнения лабораторной работы с исходными данными и полученными результатами.

Методические указания предназначены для студентов и отражают последовательность выполнения различных вариантов лабораторных работ на стенде «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ на подстанциях 110,220кВ»

Исходные данные с полученными результатами для каждого варианта предназначены для преподавателя с целью проверки достоверности полученных результатов студентами.

6.1 Методические указания к лабораторным работам : «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на подстанциях напряжением 110,220кВ»



Сибирский Федеральный Университет
Институт горного дела, геологии и геотехнологий

**Оценка термической устойчивости экранов
контрольных кабелей на подстанциях
напряжением 110,220 кВ**

**Методические указания к лабораторным работам для
студентов электротехнических специальностей**

Красноярск 2018

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА, ГЕОЛОГИИ И ГЕОТЕХНОЛОГИИ

**Оценка термической устойчивости экранов контрольных
кабелей на подстанциях напряжением 110,220 кВ**

**Методические указания к лабораторным работам для студентов
электротехнических специальностей**

Красноярск 2018

6.1.1 Введение

Задачи, стоящие перед высшей школой на современном этапе, требуют повышения качества подготовки специалистов, усиления их практического обучения. Большая роль в совершенствовании учебного практического обучения в вузах принадлежит увеличению доли лабораторно-практических занятий в общем объеме изучаемых дисциплин. Эта форма обучения больше, чем любая другая, позволит обеспечить единство теории и практики.

Целью методических указаний является помощь студентам в поиске необходимой информации при изучении курса «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях» и выполнении соответствующих лабораторных работ, что особенно важно в условиях имеющегося дефицита научно-технической литературы в данном направлении.

Содержание учебного пособия соответствует государственным образовательным стандартам и рабочим программам для студентов электротехнических специальностей вузов.

6.1.2 Техника безопасности при работах в лаборатории

Безопасность проведения и выполнения лабораторных работ является важнейшим условием учебного процесса. Несоблюдение правил техники безопасности и неосторожное обращение с электрическими аппаратами, схемами стендов лабораторных работ могут привести к тяжелым несчастным случаям.

Для предупреждения несчастных случаев все студенты, проводящие лабораторные работы, практические занятия или ведущие научно-исследовательские эксперименты в лаборатории и мастерской, должны знать и строго выполнять все требования по технике безопасности для каждого вида и рода работ, после инструктажа по технике безопасности они должны расписываться в специальном журнале.

Включение схемы под напряжением производится только с разрешения преподавателя или лаборанта и только после предупреждения об этом всех студентов, работающих на данном рабочем месте.

В случае короткого замыкания произойдет автоматическое срабатывание автоматического выключателя и стенд обесточится. **При повреждении прибора в собранной схеме студент должен немедленно отключить вводной выключатель на стенде и, не делая попыток к исправлению, сообщить о повреждении преподавателю или лаборанту.**

В случае прекращения опыта или перерыва в работе схему (стенд) надо обязательно отключить от сети.

Все изменения в соединениях (согласно программе проведения каждой лабораторной работы) должны производиться только при отключенном выключателе, расположенном на стенде. После каждого изменения соединений

– до подачи напряжения – схема должна быть вновь проверена преподавателем или лаборантом.

Во время выполнения работы запрещается:

- производить переключения в рабочей схеме стенда, находящейся под напряжением;

- прикасаться к оголенным токоведущим частям установок;

- оставлять без наблюдения схему, находящуюся под напряжением;

- включать не имеющие отношения к данной работе аппараты, приборы и тумблеры.

Студенты должны бережно и аккуратно обращаться с аппаратурой, приборами и инструментами.

Во всех случаях обнаружения неисправного состояния оборудования, измерительных приборов и проводов необходимо немедленно поставить в известность преподавателя.

6.1.3 Общие указания по оформлению отчетов

Отчеты по выполненным работам оформляют с использованием персонального компьютера на листах формата А4 с соблюдением требований СТО 4.2-07-2014.

Схемы, таблицы и графики допускается вычерчивать в карандаше, но обязательно с применением чертежных принадлежностей. Элементы схемы должны быть изображены по ГОСТу. Значения аргумента следует откладывать по горизонтальной оси, а значения функции – по вертикальной. Вдоль осей наносят масштабные шкалы, деления которых должны быть равномерными. Числовые значения следует указывать против соответствующих делений.

После нанесения экспериментально полученных точек на график, следует провести плавную линию, проходящую по возможности ближе к этим точкам.

При большом количестве кривых на одном графике рекомендуется изображать их штриховыми, штрихпунктирными или цветными линиями.

Следует избегать графиков, в которых деления в начале координат начинаются не с нулевого значения. Такие графики не дают представления о характере рассматриваемых зависимостей.

На титульном листе выполненной и оформленной работы должна стоять подпись студента.

Защита лабораторных работ осуществляется согласно графику, утвержденному преподавателем.

Конкретные указания по содержанию отчетов приводятся в конце описания каждой лабораторной работы.

6.1.4 Общие положения

Вторичное оборудование, системы связи, кабели вторичной коммутации на протяжении всего срока службы подвергаются электромагнитным

воздействиям разного вида. Невыполнения условий ЭМС приводит к повреждению вторичного оборудования, неправильным действиям (отказам, излишним или ложным срабатываниям) устройств РЗА, перекрытию изоляции кабелей вторичной коммутации и клемм шкафов вторичной коммутации, сбоем в работе автоматизированных рабочих мест персонала и т.д., существенно снижает надежность работы энергообъекта.

Критерием выполнения условий ЭМС является обеспечение электромагнитной обстановки, при которой наибольшие возможные уровни электромагнитных воздействий всех видов на объекте электросетевого хозяйства не превышают допустимых значений для каждого конкретного вторичного оборудования.

ЭМС вторичного оборудования и систем связи достигается при выполнении основных требований:

- применение вторичного оборудования с высоким уровнем помехозащищенности;
- применение первичного и вторичного оборудования с ограниченным уровнем эмиссии электромагнитных воздействий;
- выполнение комплекса организационных и технических мероприятий, обеспечивающих ограничение электромагнитных воздействий.

Каждое устройство испытывают на устойчивость к электромагнитным воздействиям. В технической документации на устройство производитель должен указывать уровень помехоустойчивости устройства, степень жесткости испытаний, а также уровень эмиссии электромагнитных воздействий. При аттестации оборудования, устанавливаемого на подстанциях, следует предъявлять требования по испытанию на помехоустойчивость и помехоэмиссию. Рекомендуемые степени жесткости испытаний и параметры испытательных воздействий для устройств вторичного оборудования и систем связи приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Виды испытаний на помехоустойчивость и помехоэмиссию вторичного оборудования и рекомендуемые степени жесткости

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
1	Напряжения и токи промышленной частоты при КЗ на землю. Испытания электрической прочности изоляции (напряжение в установившемся режиме) и импульсным напряжением.	ГОСТ 30328-95 МЭК 60255-5		2000В переменного тока	Для всех портов питания и для портов проводных цепей, выходящих на РУ
Порт корпуса					

Продолжение таблицы 6.1

2	Магнитные поля промышленной частоты от силового оборудования в нормальных и аварийных режимах. На устойчивость к воздействию магнитного поля промышленной частоты	ГОСТ Р 50648-94 (МЭК 61000-4-8).	5 степень	100А/м(длительно) 1000А/м (кратковременно)	Для устройств чувствительных к магнитным полям
			2 степень	3А/м (длительно)	Для мониторов с электроннолучевой трубкой
3	Электромагнитные поля радиочастотного диапазона от внешних и внутренних устройств связи. На устойчивость к излучаемым радиочастотным электромагнитным полям	ГОСТ Р 51317.4.3-99 (МЭК 6100-4-3)	Не ниже 3 степени	10В/м	Для всех устройств
4	Импульсные магнитные поля от молнии и первичных цепей. На устойчивость к импульсному магнитному полю.	ГОСТ Р 50649-94 (МЭК 61000-4-10-93)	Не ниже 4 степени	300А/м	Для устройств чувствительных к магнитным полям
5	Разряды статического электричества с персонала. На устойчивость к разрядам статического электричества	ГОСТ Р 51317.4.2-99 (МЭК 61000-4-2-95, МЭК 60255-22-2-96)	Не ниже 3 степени жесткости	6кВ контактный 8кВ воздушный	Для всех устройств.
Сигнальные порты					
6	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам.	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12-96)	Локальное Полевое 3степень (для однократных) 2 степень (для повторяющихся) <u>С</u> <u>оборудованием</u> 4 степень (для однократных) 3 степень (для повторяющихся)	- 2кВ(провод-земля), 1кВ (провод-провод) 1кВ(провод-земля), 0,5кВ (провод-провод) 4кВ(провод-земля), 2 кВ (провод-провод) Противофазное 2,5кВ(провод-земля), 1 кВ (провод-провод)	Для всех устройств

Продолжение таблицы 6.1

7	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК61000-4-5-95)	Локальное Провод-земля 2 степень Провод-провод 1 степень Полевое Провод – земля 3 степень Провод-провод 2 степень С оборудованием Провод земля 4 степень Провод – провод 3 степень	1кВ 0,5кВ 2кВ 1кВ 4кВ 2кВ	Для всех устройств.
8	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам.	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 60255-22-4).	Локальное 3 степень Полевое 4 степень С оборудованием Специальная степень жесткости	1кВ 2кВ 4кВ	Для всех устройств
9	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150кГц до 80МГц.	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96)	3 степень	10В	Для всех сигнальных портов.
Питание постоянным током					
10	Провалы напряжения Прерывания напряжения	МЭК 61000-4-29	30%(1с) 60%(0,1с) 100%(0,5с)		Только для входных портов
11	На устойчивость к пульсациям напряжения постоянного тока.	ГОСТ Р 51317.4.17-2000 (МЭК 61000-4-17-99).	Не ниже 3 степени	Пульсации не выше 10%	Для всех портов питания постоянного тока
12	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам в полосе от 0 до 150 кГц	ГОСТ Р 51317.4.16-2000 (МЭК 61000-4-16-96)	Не ниже 3 степени	10В (длительно) 100В (1 с)	Для всех портов питания постоянного тока
13	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95).	Провод земля 3 степень Провод-провод 2степень	2кВ 1кВ	Для всех портов питания постоянного тока
14	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам.	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 степень	4кВ	Для всех портов питания постоянного тока

Продолжение таблицы 6.1

15	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе от 150кГц до 80МГц.	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96)	3 степень	10В	Для всех портов питания постоянного тока
16	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам.	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12)	4степень (для однократных) 3 степень (для повторяющихся)	4кВ (провод-земля) 2кВ (провод-провод) 2,5кВ (провод-земля), 1 кВ (провод-провод)	Для всех портов питания постоянного тока
Питание переменным током					
17	Провалы напряжения Прерывания напряжения	МЭК 61000-4-29	30%(50периодов) 60%(1 период) 100%(5периодов)		Только для входных портов
18	На устойчивость к гармоникам и интергармоникам, к сигналам систем телеуправления и сигнализации в напряжении сети переменного тока.	ГОСТ 29280-92 (МЭК 61000-4, МЭК 61000-4-13).	В соответствии с рекомендациями СТО 56947007-29.240.044-2010		Для всех портов питания переменного тока.
	На устойчивость к колебаниям напряжения	ГОСТ Р 51317.4.14-2000 (МЭК 61000-4-14-2000).			
	На устойчивость к динамическим изменениям напряжения электропитания	ГОСТ Р 51317.4.11-99 (МЭК 61000-4-11-94).			
19	На устойчивость к изменениям частоты питания в сети переменного тока	ГОСТ Р 51317.4..28 - 2000 (МЭК 61000-4-28-2000).			
20	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц..	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	Не ниже 3 степени	10В	Для всех портов питания переменного тока
21	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам.	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12)	4степень (для однократных) 3 степень (для повторяющихся)	4кВ(провод – земля) 2кВ (провод-провод) 2,5кВ (провод-земля), 1кВ (провод-провод)	Для всех портов питания переменного тока
22	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4степень	4кВ	Для всех портов питания переменного тока

Окончание таблицы 6.1

23	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТР 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-96).	Провод -земля 4 степень Провод-провод 3 степень	4кВ 2кВ	Для всех портов питания переменного тока.
Порт функционального заземления					
24	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам (ввод помехи применением емкостных клещей связи)	ГОСТ Р51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 степень	4кВ	Требования применяют к соединениям с функциональным заземлением, отделенным от защитного заземления
25	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц..	ГОСТР 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	Не ниже 3 степени	10В	10В=140дБ
Помехоэмиссия					
26	Радиопомехи от оборудования. Помехоэмиссия	ГОСТР 51318.22-99 (СИСПР 22-97) ГОСТР 51318.11-99 (СИСПР 11-97)			

Устойчивая и надежная работа вторичного оборудования и систем связи возможна только при условии создания на объекте ЭМО, при которой уровни электромагнитных воздействий всех видов не превышают допустимые для каждого конкретного устройства значения.

6.1.5 Термины и определения

Внешние устройства молниезащиты – комплекс, состоящий из молниеприемников, токоотводов и заземлителей.

Внешний контур заземления (здания) – замкнутый горизонтальный заземлитель, проложенный вокруг здания.

Внутреннее устройство заземления (здания) – совокупность заземляющих проводников, расположенных внутри здания.

Выносной заземлитель – заземлитель, выполненный за пределами территории энергообъекта.

Вторичное оборудование – аппаратура (устройства) релейной защиты и электроавтоматики, противоаварийной автоматики; автоматизированной системы управления технологическим процессом; автоматизированной системы диспетчерского управления; системы сбора и передачи информации;

автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета электроэнергии; противопожарной системы; охранной сигнализации; видеонаблюдения; система оперативного постоянного тока; система собственных нужд напряжением 0,4кВ переменного тока; системы управления и сигнализации вспомогательного оборудования; система диагностики силового оборудования, контрольные кабели и т.п.

Заземляющее устройство – совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Заземлитель – проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

Заземляющий проводник (РЕ – проводники) – проводник, предназначенный для целей электробезопасности.

Зона нулевого потенциала (относительная земля) – часть земли, находящаяся вне зоны влияния какого-либо заземлителя, электрический потенциал которой принимается равным нулю.

Излучаемая электромагнитная помеха – электромагнитная помеха, распространяющаяся в пространстве.

Класс (степень) жесткости – соответствующий уровень испытательного электромагнитного воздействия.

Кондуктивная электромагнитная помеха – электромагнитная помеха, распространяющаяся в пространстве.

Молниеприемник – часть молниеотвода, предназначенная для перехвата молнии.

Магистраль заземления – заземляющий проводник с двумя или более ответвлениями.

Напряжение прикосновения – напряжение между двумя точками цепи тока замыкания на землю (на корпус) при одновременном прикосновении к ним человека.

Разряд статического электричества – импульсный перенос электрического заряда между телами с разными электростатическими потенциалами при непосредственном контакте или при сближении их на некоторое, достаточно малое расстояние.

Пульсации напряжения постоянного тока – процесс периодического или случайного изменения постоянного напряжения относительно его среднего уровня в установившемся режиме работы источника, преобразователя электрической энергии или системы электроснабжения.

Показатель качества электрической энергии – величина, характеризующая качество электрической энергии по одному или нескольким ее параметрам.

Разность потенциалов на заземляющем устройстве – разность потенциалов, возникающая между различными точками заземляющего устройства при кратком замыкании на подстанции, вызванная продольными токами и сопротивлением проводников заземляющей системы.

Сопротивление заземляющего устройства – отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю.

Ток замыкания на землю – ток, стекающий в землю в месте замыкания.

Токоотвод – часть молниеотвода, предназначенная для отвода тока молнии от молниеприемника к заземлителю.

Устойчивость к электромагнитной помехе, помехоустойчивость – способность ТС сохранять заданное качество функционирования значениями воздействия на него внешних помех с регламентируемыми значениями параметров в отсутствие дополнительных средств защиты от помех, не относящихся к принципу действия или построения ТС.

Уровень устойчивости к электромагнитной помехе, уровень помехоустойчивости – максимальный уровень электромагнитной помехи конкретного вида, воздействующей на определенное ТС, при котором ТС сохраняет заданное качество функционирования.

Шина уравнивания потенциалов (ШУП) – стальная полоса различного сечения, предназначенная для защитного уравнивания потенциалов между проводящими частями оборудования.

Электромагнитная совместимость технических средств (ЭМС ТС) – способность ТС функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим ТС.

Электромагнитная обстановка – совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, в частотном и временном диапазоне.

Электромагнитная помеха – электромагнитное явление, процесс, которые ухудшают или могут ухудшить качество функционирования ТС.

Электромагнитное возмущение (воздействие) – любое электромагнитное явление, которое может ухудшить работы прибора, оборудования или системы или неблагоприятно влиять на срок службы.

Электромагнитное излучение от источника помех – явление, процесс, при котором электромагнитная энергия излучается источником помехи в пространство в виде электромагнитных волн.

6.1.6 Указания по выполнению лабораторной работы

Лабораторная работа №1.

«ОЦЕНКА ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭКРАНОВ КОНТРОЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ НА ПОДСТАНЦИИ 220кВ».

Цель работы: Изучение метода имитации режима короткого замыкания для оценки термической устойчивости экранов контрольных кабелей проложенных на ОРУ 220кВ подстанции.

Перечень приборов: Амперметр, мультиметр Vort, переносные проводники.

Порядок выполнения работы:

1. Включить вводной автомат QF, должна загореться сигнальная лампа LG, сигнализирующая о подачи питания на стенд.

2. Выбрать класс напряжение подстанции 110кВ или 220кВ для этого перевести тумблер SA3 в крайнее правое положение - 110кВ, либо в крайнее левое положение - 220кВ.

3. Для имитации холостого хода тумблер SA1 перевести в положение 1 и измерить величину напряжения холостого хода (U_{xx}), подключив мультиметр к разъемам ОПУ и СВ. Для измерения напряжения с помощью мультиметра выбираем на мультиметре режим измерения переменного напряжения. При неизвестном порядке измеряемой величины всегда следует выставлять на мультиметре больший предел измерений. Значение напряжения холостого хода записать в таблицу 12. Значение напряжения холостого хода является общей величиной для каждой цепи.

4. После выполненного измерения напряжения холостого хода переводим тумблер SA1 в крайнее нижнее положение 0.

5. Поочередно подключить переносные проводники от разъемов ГПЧ к разъемам Трансформатор 1– СВ, Трансформатор 2 – СВ и ЭС – СВ, измерить токи и напряжения, результаты показаний записать в таблицу 6.2.

Внимание!!! Недопустимо подключать переносные проводники от разъемов ГПЧ к разъемам Трансформатор 1– СВ, Трансформатор 2 – СВ и ЭС – СВ при включенном тумблере имитации холостого хода SA1.

6. Повторить измерения п.5 при включенном тумблере SA2, который имитирует применение ШУП. Для этого переводим тумблер SA2 в крайнее верхнее положение 1, и выполняем измерения проделанные в пункте 5. Результаты измерений записать в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 – Результаты измерений

Цепь	U_{xx} , В	$I_{ГПЧ}$, А	$U_{ГПЧ}$, В	$U_{ГПЧ}$ с ШУП
Тр.1-СВ				
Тр.2-СВ				
ЭС-СВ				

7. Произвести перерасчет полученных данных к реальным токам КЗ, по методике описанной ниже. Варианты задания для перерасчета полученных результатов к реальным токам КЗ выдаются преподавателем согласно таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Исходные данные для расчета термической устойчивости экранов контрольных кабелей.

Вариант	Ток реального КЗ	Время существования КЗ	Материал и диаметр экрана,мм	Длина кабеля
1	2000	0,8	алюминий; 5	200
2	3000	0,9	алюминий; 7,5	200
3	4000	1,1	алюминий; 10	500
4	5000	1,2	алюминий; 5	200
5	6000	1,7	алюминий; 7,5	500
6	2000	0,9	алюминий; 5	200
7	3000	1,1	алюминий; 7,5	200
8	4000	0,8	алюминий; 10	300
9	5000	1,7	алюминий; 5	200
10	6000	1,2	алюминий; 7,5	400
11	2000	1,1	алюминий; 5	200
12	3000	1,2	алюминий; 7,5	200
13	4000	1,7	алюминий; 10	600
14	5000	0,8	алюминий; 5	200
15	6000	0,9	алюминий;7,5	300

Обработка полученных результатов:

Перерасчет полученных данных к реальным значениям производится в соответствии с методикой описанной в СО 34.35.311-2004 [3].

1) Определить процентное соотношении токов полученных в ходе работы.

$$I\% = \frac{I_i}{I_\Sigma}, \quad (6.1)$$

где I_Σ – суммарный ток полученный при имитации режима КЗ;

I_i – ток через нейтрали трансформаторов, либо ток от системы.

2) Пересчитать распределение реального тока КЗ в соответствии с процентным соотношением полученным в пункте 1.

$$I_{кз.i} = I\% \cdot I_{кз}, \quad (6.2)$$

где $I\%$ - процентное распределение тока полученное по результатам имитации, %;

$I_{кз.}$ – реальное значение тока КЗ в соответствии с заданным вариантом,кА;

3) Определить разность потенциалов при имитации растекания тока КЗ:

$$\Delta U_{\text{гпч}} = U_{\text{гпч}} - U_{\text{хх}} \quad (6.3)$$

где $U_{\text{гпч}}$ – значение падения напряжения в экране контрольного кабеля при имитации режима КЗ,В;

$U_{\text{хх}}$ – напряжение холостого хода полученное при имитации режима ХХ,В;

4) Определить разность потенциалов при растекании реального тока КЗ:

$$\Delta U_{\text{кзi}} = \Delta U_{\text{гпч}} \cdot \frac{I_{\text{кзи}}}{I_{\text{гпч}}} \quad (6.4)$$

где $I_{\text{кзи}}$ – реальный ток КЗ, А;

$I_{\text{гпч}}$ – ток КЗ полученный при имитации, А;

$\Delta U_{\text{гпч}}$ – напряжение приложенное к экрану контрольного кабеля при имитации, В.

5) Найти суммарное напряжение между ОПУ и высоковольтным выключателем при КЗ:

$$U_{\Sigma} = \Delta U_{\text{кз.эс}} + \Delta U_{\text{кз.тр1}} + \Delta U_{\text{кз.тр2}} \quad (6.5)$$

Рассчитанные значения оформить в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Расчет напряжений между ОПУ и выключателем при КЗ

Цепь	$I_{\text{гпч}}$, А	$U_{\text{гпч}}$, В	$I_{\text{кз.i}}$, кА	$\Delta U_{\text{гпч}}$, В	$\Delta U_{\text{кз.i}}$, В
Энергосистема-выключатель					
Трансформатор 1 – выключатель					
3Трансформатор 2 – выключатель					
Сумма	-	-		-	

6) Найти сопротивление экрана кабеля, Ом.

$$R_{\text{э}} = R_{\text{экр.0}} \cdot 10^{-3} \cdot l, \quad (6.6)$$

где $R_{\text{экр.0}}$ – погонное сопротивление экрана кабеля, зависящее от диаметра и материала экрана, определяется по графику (рисунки 6.1-6.2), мОм/м;

l – длина кабеля, м.

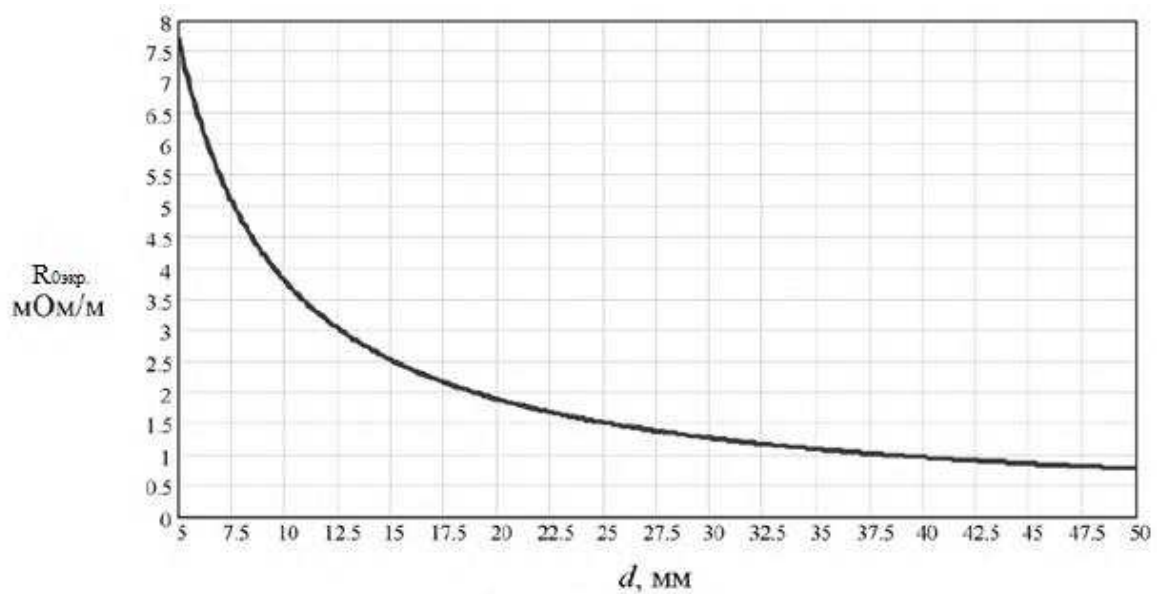


Рисунок 6.1 – Зависимость погонного сопротивления медного экрана от его наружного диаметра

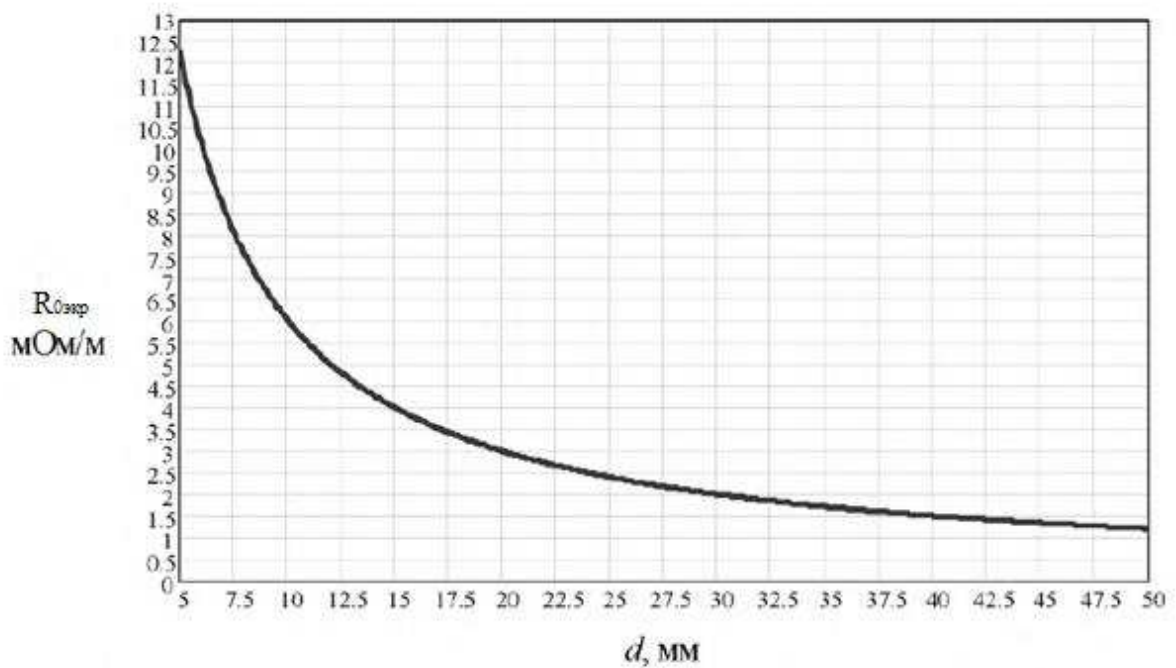


Рисунок 6.2 – Зависимость погонного сопротивления алюминиевого экрана от его наружного диаметра

7) Найти ток, протекающий по кабелю в режиме реального КЗ, А.

$$I_{\text{экв}} = \frac{U_{\Sigma}}{R_{\text{экв}}} \quad (6.7)$$

8) Найти допустимый ток в экране, А.

$$I_{\text{доп,t}} = K \cdot \frac{100}{\sqrt{0,09 + t}} \quad (6.8)$$

где t – время существования режима КЗ

K – коэффициент; $K=1$ если $t \leq 1$ с и $K=0,8$, если $t > 1$ с.

$$t = t_{\text{выд.РЗА.мах}} + t_{\text{ср.мпу}} + t_{\text{ср.вык}}, \text{ с}$$

где $t_{\text{выд.РЗА.мах}}$ – максимальное время выдержки релейной защиты;

$t_{\text{ср.мпу}}$ - время срабатывания микропроцессорных устройств;

$t_{\text{ср.вык}}$ – время срабатывания выключателя.

9) Сравнить значения допустимого и протекающего по экрану тока, протекающий ток должен быть меньше допустимого значения $I_{\text{экр}} < I_{\text{доп.}}$. В случае, если ток в экране больше допустимой величины, с целью обеспечения термической устойчивости экрана кабеля, необходимо применить шину уравнивания потенциалов.

В качестве ШУП используется шина, выполненная из стальной полосы, различным сечением, **в расчетах принимать сечение ШУП 250мм²**. Длина ШУП не должна превышать длину контрольного кабеля. Для расчетов принять длину ШУП равной длине контрольного кабеля.

10) Найти сопротивление ШУП, Ом.

$$R_{\text{ШУП}} = \frac{\rho l}{s} \quad (6.9)$$

где ρ – удельное сопротивление стали, $\rho = 0,14 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$

s – сечение ШУП, мм².

l – длина ШУП, м.

11) Найти ток в экране кабеля с учетом ШУП и проверить выполняется ли условие термической устойчивости.

$$I'_{\text{экр}} = I_{\text{экр}} \cdot \frac{R_{\text{ШУП}}}{R_{\text{экр}} + R_{\text{ШУП}}} \quad (6.10)$$

12) Найти ток в ШУП и проверить выполняется ли условие термической устойчивости для ШУП

$$I_{\text{ШУП}} = I_{\text{экр}} - I'_{\text{экр}} \quad (6.11)$$

Согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ) 1.4.16 температура нагрева стальной шины не должна превышать 400°С. Исходя из

данной температуры нагрева, согласно СТО 56947007-29.240.044-2010, находим допустимый ток КЗ для ШУП:

$$I_{\text{доп.ШУП}} = \frac{S}{S_{\text{доп}} \cdot q}, \text{ кА} \quad (6.12)$$

где $S_{\text{доп}}$ - допустимое сечение для тока в 1 кА продолжительностью воздействия 1 секунда [1]; для стальной полосы $S_{\text{доп}}=14\text{мм}^2/\text{кА}$

q - коэффициент, учитывающий продолжительность воздействия тока, $q=\sqrt{t + 0,09}$ при $t < 1\text{с}$ и $q=0,8\sqrt{t}$ при $t > 1\text{с}$.

Сравниваем значения $I_{\text{ШУП}}$ и $I_{\text{доп.ШУП}}$, $I_{\text{ШУП}}$ должен быть меньше $I_{\text{доп.ШУП}}$.

6.1.7 Вопросы для самопроверки

Основные вопросы

1. Отличие контрольного кабеля от силового кабеля?
2. Для чего служит экран в контрольных кабелях?
3. Как имитируется режим короткого замыкания на подстанциях?
4. От чего зависит ток, протекающий в экране контрольного кабеля, при коротком замыкании?
5. От чего зависит допустимый ток в экранах контрольных кабелей?
6. Как найти сопротивление экрана контрольного кабеля?
7. Какие мероприятия выполняют, если ток в экране контрольного кабеля превышает допустимый?
8. Что такое ШУП?
9. Как найти сопротивление ШУП?
10. Какая максимально-допустимая температура нагрева стальной ШУП?

Дополнительные вопросы

1. Конструкция контрольного кабеля?
2. Из каких материалов выполняется токопроводящая жила контрольного кабеля?
3. Расшифруйте следующие марки контрольных кабелей КВВГЭ 5х3, КРНГ10х1,5?
4. Перечислите способы прокладки контрольных кабелей на подстанциях?
5. Из каких соображений экран контрольного кабеля должен заземляться с двух сторон?

6.2 Указания для проверки полученных результатов при выполнении лабораторной работы.

В ходе выполнения лабораторной работы студент должен получить первоначальные данные для выполнения дальнейшего расчета термической устойчивости экранов КК.

К первоначальным данным относятся :

-напряжение ХХ, имитационные токи КЗ по отдельным элементам схемы (трансформатор 1, трансформатор 2, энергосистема), значения разности потенциалов прикладываемых к экрану контрольного кабеля при имитации.

К расчетным параметрам отвечающим за термическую устойчивость КК относят следующие величины: допустимое значение тока в экране КК, расчетные значения тока через контрольный кабель с учетом реального тока КЗ.

Результаты расчетов термической устойчивости экрана контрольного кабеля согласно номеру варианта (таблица 6.3) и результатам, полученным при моделировании (таблица 6.5), приведены в таблице 6.6.

Таблица 6.5 – Данные полученные при моделировании

цепь	Икз.гпч	Угпч	ΔU_{xx}
Тр.1-СВ	1,35(42%)	1,15	0,6
Тр.2-СВ	1,25(39%)	1,65	0,6
ЭС-СВ	0,6(19%)	0,74	0,6

Таблица 6.6 – Результаты расчетов термической устойчивости экрана контрольного кабеля

вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ток КЗ(I),А	2000	3000	4000	5000	6000	2000	3000	4000	5000	6000	2000	3000	4000	5000	6000
Время существования тока КЗ(t),с	0,8	0,9	1,1	1,7	0,9	1,1	0,8	1,7	1,2	1,2	1,1	1,2	1,7	0,8	0,9
диаметр экрана(d),мм	5	7,5	10	5	7,5	10	5	7,5	10	5	7,5	10	5	7,5	10
Погонное сопротивление экрана(R _о), Ом/м	0,0125	0,008	0,006	0,0125	0,008	0,0125	0,008	0,006	0,0125	0,008	0,0125	0,008	0,006	0,0125	0,008
Длина кабеля(l),м	200	200	500	200	500	200	200	300	200	400	200	200	600	200	300
I _{гпч.эс} , А	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
I _{гпч.тр1} , А	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
I _{гпч.тр2} , А	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
U _{гпч.эс} , В	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
U _{гпч.тр1} , В	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
U _{гпч.тр2} , В	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
U _{хх} , В	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
ΔU _{гпч.эс} , В	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
ΔU _{гпч.тр1} , В	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
ΔU _{гпч.тр2} , В	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
I _{эс} , А	320	480	640	800	960	320	480	640	800	960	320	480	640	800	960
I _{тр1} , А	860	1290	1720	2150	2580	860	1290	1720	2150	2580	860	1290	1720	2150	2580
I _{тр2} , А	820	1230	1640	2050	2460	820	1230	1640	2050	2460	820	1230	1640	2050	2460
U _{кз1.эс} , В	74,67	112	149,3	186,67	224	74,67	112	149,3	186,67	224	74,67	112	149,3	186,67	224
U _{кз1.тр1} , В	350,4	525,6	700,7	875,9	1051,1	350,4	525,6	700,7	875,9	1051,1	350,4	525,6	700,7	875,9	1051,1
U _{кз1.тр2} , В	688,8	1033,2	1377,6	1722	2066,4	688,8	1033,2	1377,6	1722	2066,4	688,8	1033,2	1377,6	1722	2066,4

Окончание таблицы 6.6

вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
сумма Укзі, В	1113,8	1670,8	2227,7	2784,6	3341,5	1113,8	1670,8	2227,7	2784,6	3341,5	1113,8	1670,8	2227,7	2784,6	3341,5
Рэкр, Ом	2,5	1,6	3	2,5	4	2,5	1,6	1,8	2,5	3,2	2,5	1,6	3,6	2,5	2,4
Гэкр, А	445,5	1044,2	742,6	1113,8	835,4	445,5	1044,2	1237,6	1113,8	1044,2	445,5	1044,2	618,8	1113,8	1392,3
Ідоп, А	106	100,5	73,3	70,4	59,8	100,5	73,3	106	59,8	70,4	73,3	70,4	59,8	106,0	100,5
Гэкр<Ідоп	не вып.	не вып.	не вып.	не вып.	не вып.	не вып.	не вып.	не вып.	не вып.	не вып.	не вып.	не вып.	не вып.	не вып.	не вып.
Ршуп, Ом	0,112	0,112	0,28	0,112	0,28	0,112	0,112	0,168	0,112	0,224	0,112	0,112	0,336	0,112	0,168
Гэкр, А	19,1	68,3	63,39	47,76	54,65	19,1	68,31	105,65	47,76	68,31	19,1	68,31	52,82	47,76	91,1
Гэкр<Ідоп	вып	вып	вып	вып	вып	вып	вып	вып	вып	вып	вып	вып	вып	вып	вып
Ішуп, А	426,43	975,91	679,17	1066,1	780,73	426,43	975,91	1131,95	1066,08	975,91	426,43	975,91	565,97	1066,08	1301,21
Ідоп.шуп, А	18928,5 3	17947,1	16369,6	15722,3	17119,8	17947,1	16369,6	18928,53	13347,1	20376,6	16369,62	15722,34	13347,0 6	18928,53	23528,8 5
Ішуп<Ідоп.шуп	вып	вып	вып	вып	вып	вып	вып	вып	вып	вып	вып	вып	вып	вып	вып

7. Безопасность жизнедеятельности

Безопасность жизнедеятельности – это состояние деятельности, при которой с определенной вероятностью исключаются потенциальные опасности, влияющие на здоровье человека.

Безопасность – это комплексная система мер по защите человека и среды его обитания от опасностей формируемых конкретной деятельностью. Чем сложнее вид деятельности, тем более расширена система защиты.

Для обеспечения безопасности конкретной деятельностью должны быть решены три задачи:

1. Разработать эффективные меры защиты человека и среды обитания от выявленных опасностей. Под "эффективными" подразумеваются такие меры по защите, которые при минимуме материальных затрат обеспечивают максимальный эффект;

2. Произвести полный детальный анализ опасностей формируемых в изучаемой деятельности;

3. Разработать эффективные меры защиты от остаточного риска данной деятельности. Они необходимы, так как обеспечить абсолютную безопасность деятельности не возможно.

7.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов

Рабочее место - СФУ, Институт горного дела, геологии и геотехнологии, учебный корпус, кафедра ЭГМП, аудитория №307.

Оборудование - стенд для проведения лабораторных работ («Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на подстанциях напряжением 110,220 кВ»).

Таблица 7.1 – Вредные и опасные факторы

№ п/п	Рабочее место или операция технологического процесса	Оборудование	Опасный (вредный) фактор, единица измерения	Величина фактора	Норматив (безопасная величина) со ссылкой на ГОСТ, СНиП и т.п.
1	Аудитория №307	Лабораторный стенд	Напряжение	220В	50В РД153-34.0—3.150-00 п.10.4

7.2 Технические и организационные мероприятия по охране труда

Перед выполнением задания по выполнению лабораторной работы, студент должен пройти инструктаж по безопасному выполнению работы и получить дополнительные указания от преподавателя.

Стенд представляет собой стол размером 1200x760мм. Всё оборудование размещено внутри стенда и на задней стенке. Доступ к токоведущим частям полностью ограничен конструктивным исполнением стенда из изоляционного материала. Все токоведущие части стенда выполнены в двойной изоляции. Дополнительно присутствуют предупреждающие знаки и надпись на крышке задней панели «Не открывать, не отключив от сети» и знак электрической опасности. Дополнительно на стенде обозначена величина напряжения.

Помещение, в котором установлен стенд, имеет температуру окружающего воздуха +25⁰С, при относительной влажности 45%. Вентиляция помещения – естественная. С помощью окон обеспечивается кратность воздухообмена при скорости движения воздуха до 0,5 м/с согласно ГОСТ 30494.

Электробезопасность.

Стенд подключен к сети переменного тока напряжением 24В. На входе питания в стенд установлен автоматический выключатель, который выполняет функции выключателя и защиты при коротких замыканиях и перегрузках. Питание стенда выполнено путем подключения гибкого кабеля с двойной изоляцией.

Эксплуатационному персоналу запрещается производить разборку стенда, снятие задней и передней стенки без отключения вводного автоматического выключателя на стенде и отключения питающего кабеля путем отключения разъемного соединения от сети 220В в аудитории 307.

Правила безопасности перед выполнением работы.

Проверить отсутствие напряжения на лабораторном стенде (автоматический выключатель должен быть выключен, индикаторная лампа не должна гореть).

Работая в лаборатории, студенты не должны отвлекаться и отвлекать других. Запрещается самовольное расширение рабочего места.

Студент должен предварительно проверить соответствие выполняемой работы порученному заданию. В случае неясности пригласить для проверки преподавателя или лаборанта.

Правила безопасности при выполнении работы.

Включение стенда производится только с разрешения преподавателя или лаборанта и только после предупреждения об этом всех студентов, работающих на данном рабочем месте.

В случае короткого замыкания эксплуатирующий персонал должен проверить срабатывание автоматического выключателя. При повреждении оборудования, студент должен немедленно отключить автоматический выключатель на стенде. Обо всех неисправностях, эксплуатирующий персонал, не делая попыток к исправлению, должен немедленно сообщить преподавателю.

При отсутствии напряжения в цепи автоматический выключатель должен быть в отключенном состоянии.

В случае прекращения опыта или перерыва в работе стенд надо обязательно отключить от сети.

Во время выполнения работы на стенде запрещается:

- выполнять действия, противоречащие полученным заданиям и предписаниям методических указаний;
- оставлять без наблюдения стенд, находящийся под напряжением;
- включать не имеющие отношения к данной работе аппараты, приборы и тумблеры.

Студенты должны бережно и аккуратно обращаться с аппаратурой, приборами и инструментами.

Во всех случаях обнаружения неисправного состояния оборудования, измерительных приборов и проводов необходимо немедленно поставить в известность преподавателя.

Правила безопасности по окончанию работы.

По окончании лабораторной работы, студент должен поставить в известность преподавателя или лаборанта. После проверки и разрешения преподавателя следует:

- выключить автомат питания;
- навести порядок на рабочем месте;
- сообщить преподавателю или лаборанту об окончании работы на стенде.

Действия в случае аварийной ситуации.

- немедленно отключить главный рубильник или автоматический выключатель;
- сообщить руководителю занятий

7.3 Мероприятия по производственной санитарии

Помещение, в котором установлен стенд, имеет стены – побеленные в белый цвет. Пол – деревянный, способ уборки – влажной тряпкой.

Система отопления – централизованное, вид теплоносителя – горячая вода до 85⁰С. В качестве нагревательного прибора используются чугунные батареи в количестве 3 штук по 9 рёбер.

На каждом этаже имеется мужской и женский санузел. Все санузлы оборудованы умывальниками. На первом этаже размещён гардероб.

Аудитория имеет площадь 48,9 м². Количество оконных проёмов – 3, размеры – 1,5х2,5 м. Оконные рамы выполнены из материала ПВХ с тройным стеклопакетом.

Искусственное освещение аудитории выполнено светильниками с люминесцентными лампами типа ЛД-18. Количество светильников – 12 шт., количество ламп в светильнике – 4шт. Нормируемое освещение согласно СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение" составляет 100 лк.

Данное помещение имеет естественный воздухообмен.
Стенд расположен задней стенкой вплотную к стене здания.

7.4 Мероприятия по пожарной и взрывной безопасности

Возможные источники взрывоопасности – отсутствуют.

Источники пожароопасности: короткое замыкание электрической цепи, небрежное отношение с открытым огнём (проведение ремонтных работ технических коммуникаций). В производстве не используются горючие газообразные, жидкие или твердые вещества.

Аудитория оборудована двумя огнетушителями, в коридоре имеется один огнетушитель и ящик с песком. Огнетушители типа ОП-5. На случай пожара здание учебного корпуса оборудовано противопожарной сигнализацией, звуковым оповещением и включением табличек эвакуационных выходов.

В случае возникновения пожара студент обязан:

- а) немедленно отключить главный рубильник или автоматический выключатель;
- б) принять меры по удалению всех людей из опасной зоны;
- в) вызвать пожарную охрану по телефону 01 или 112;
- г) принять меры к ликвидации пожара первичными и подручными средствами, при невозможности самостоятельной ликвидации очага пожара - покинуть помещение, плотно закрыв за собой двери.

Доврачебная помощь при поражении человека электрическим током:

1. Освободить пострадавшего от воздействия электрического тока;
2. Вызвать скорую помощь по телефону 03 или 112;
3. При необходимости давать нюхать нашатырный спирт, сделать искусственное дыхание и наружный массаж сердца;
4. Обеспечить пострадавшему покой.

8. Экономика

При написании дипломной работы требуется построение сетевой модели, позволяющей оценить вероятность её завершения в запланированные сроки. Учитывая большой объем работы при создании лаборатории и разработке вышеуказанного стенда «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ» на подстанциях 110,220кВ, к выполнению дипломной работы приступили заблаговременно, с учетом того, что общий период не должен превышать 45 дней. Проведем расчет вероятностного сетевого графика.

Составление сетевой модели

Для расчета сетевой модели составляем перечень необходимых работ.

Таблица 8.1 – Перечень необходимых работ

Наименование работы	Код работы	Продолжительность работ
Получение задания на работу	1-2	1
Работа с литературой	2-3	7
Обзор темы	2-4	5
Расчет и оформление дипломной работы	2-8	14
Теоретическое изучение влияния электромагнитных помех на функционирование МПУ	3-7	12
Разработка лаборатории по курсу электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях	4-5	10
Разработка схемы стенда	5-6	13
Разработка конструкции стенда, монтаж, наладка и апробация работы стенда	6-8	10
Разработка методического обеспечения по выполнению лабораторной работы	7-8	9
Рецензирование дипломной работы	8-9	5
Защита дипломной работы	9-10	1

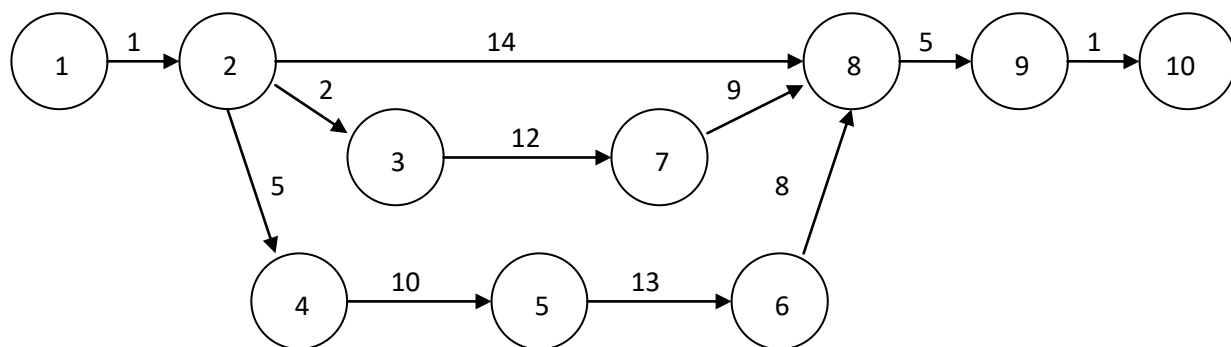


Рисунок 8.1 – Сетевой график выполнения дипломной работы

Рассчитываем параметры сетевого графика и сводим в таблицу 8.2

Таблица 8.2 – Расчет сетевого графика

Номер начального события предшествующей работы	Код работы	Раннее начало работы	Раннее окончание работы	Позднее начало работы	Позднее окончание работы	Полный резерв времени	Свободный резерв времени
0	1-2	0	1	0	1	0	0
1	2-3	1	3	1	3	13	0
1	2-4	1	6	1	6	0	0
1	2-8	1	15	1	15	22	28
2	3-7	3	15	3	15	13	0
2	4-5	6	16	6	16	0	0
4	5-6	16	29	16	29	0	0
5	6-8	29	37	29	37	0	0
3	7-8	15	24	15	24	13	19
2;6;7	8-9	37	42	37	42	0	0
8	9-10	42	43	42	43	0	0

На сетевом графике 3 пути. Путь 3 является критическим. Его продолжительность – 43 дня и он не имеет резерва пути, но по отношению к сроку выполнения работы резерв составляет 2 дня.

$$L_1: 1-2-8-9-10$$

$$t_{L1} = 20$$

$$L_2: 1-2-3-7-8-9-10 \quad t_{L2} = 30$$

$$L_3: 1-2-4-5-6-8-9-10 \quad t_{кр} = t_{L3} = 43$$

Работа 2-3:

Раннее начало работы:

$$t_{рн(23)} = \max t_{ni} = 1 \quad (8.1)$$

Раннее окончание работы:

$$t_{ро(23)} = t_{рн(23)} + t_{(23)} = 1 + 2 = 3 \quad (8.2)$$

Позднее окончание работы:

$$t_{по(23)} = \min t_{ni} = 3 \quad (8.3)$$

Позднее начало работы:

$$t_{пн(23)} = t_{по(23)} - t_{(23)} = 3 - 2 = 1 \quad (8.4)$$

Полный резерв времени:

$$R_{п(23)} = t_{кр(23)} - t_{р(2)} - t_{(23)} = 43 - 28 - 2 = 13 \quad (8.5)$$

Свободный резерв времени:

$$R_{с(23)} = t_{п(3)} - t_{р(2)} - t_{(23)} = 3 - 1 - 2 = 0 \quad (8.6)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты работы изложены в следующих выводах:

1. Разработанная лаборатория, включающая в себя шесть стендов позволяет выполнить двенадцать лабораторных работ по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».

2. Каждый стенд позволяет выполнять лабораторные работы в количестве вариантов от трёх до пятнадцати. Варианты выполнения работ выдает преподаватель.

3. Анализ конструкции и способов прокладки контрольных кабелей показал, что при моделирование процессов термической устойчивости экранов контрольных кабелей необходимо учитывать, что экраны контрольных кабелей заземляются с обеих сторон, а на ПС используются шины уравнивания потенциалов.

4. В основу моделирования процесса термической устойчивости экранов контрольных кабелей был принят метод имитации режима КЗ на ОРУ подстанций 110,220кВ.

5. На основе моделирования была разработана схема, которая отражает реальное распределение токов КЗ между электросистемой и трансформаторами установленными на подстанции в следующих пропорциях: электросистема - $0,2I_{кз}^{(1)}$, трансформаторы - пропорционально их мощностям от оставшегося тока.

6. Компьютерное моделирование показало, что наиболее эффективной и наглядной схемой ЗУ, отражающей влияние токов КЗ на термическую устойчивость экранов контрольных кабелей и показывающей работоспособность ШУП является схема на базе резисторов величиной 2Ом.

7. На основе компьютерного моделирования были выбраны пределы измерений электрических величин приборов: амперметра и мультиметра.

8. Электрическая принципиальная схема и монтажная схема разработаны на основе компьютерного моделирования, а апробация работы стенда подтверждает теоретические результаты.

9. Стенд позволяет получить практические навыки по оценке термической устойчивости экранов контрольных при имитации режима КЗ, и как следствие выполнить 2 работы относящиеся к ОРУ подстанций напряжением 110кВ,220кВ.

10. Разработанное методическое обеспечение позволяет выполнять тридцать вариантов лабораторных работ, из них пятнадцать вариантов относятся к подстанции 110 кВ и пятнадцать вариантов относятся к подстанции 220 кВ.

11. В разработанном методическом обеспечении имеется сводная таблица контрольных данных по выполнению каждого варианта работы, что позволяет преподавателю оперативно оценивать качество выполненных студентами лабораторных работ.

12. Разработанный стенд и методическое обеспечение полностью соответствует цели дипломной работы.

13. В лаборатории предусмотрены все условия для безопасного выполнения лабораторных работ с позиции безопасности жизнедеятельности человека.

14. Разработанный сетевой график выполнения работ позволил рассчитать время и силы для полноценного и качественного выполнения дипломной работы.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ГПЧ – генератор промышленной частоты

ЗУ – заземляющее устройство

КЗ – короткое замыкание

МПУ – микропроцессорные устройства

ОПУ – общеподстанционный пункт управления

ОРУ – открытое распределительное устройство

ПС – подстанция

РЗА – релейная защита и автоматика

РУ - распределительное устройство

ТН – трансформатор напряжения

ТТ – трансформатор тока

ХХ – холостой ход

ШУП – шина уравнивания потенциалов

ЭМО – электромагнитная обстановка

ЭМС – электромагнитная совместимость

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ


1. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: Учеб. пособие/ Г.Я.Вагин, А.Б.Лоскутов, А.А.Севостьянов; Нижегородский гос. техн. ун-т. Нижний Новгород, 2004. 214с.
2. СТО 56947007-29.240.044-2010 «Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства». Утвержден приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 21.04.2010 № 265.
3. СО 34.35.311-2004 «Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях». Утверждено ОАО РАО "ЕЭС России" 13.02.2004 г. Заместитель председателя правления В.П.Воронин.
4. СТО 56947007-29.130.15.105-2011 «Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок». Утверждён и введён в действие: Приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 14.10.2011 № 632.
5. Правила устройства электроустановок / Минэнерго РФ. - 7-е изд., перераб. и доп. – М., 2002.
6. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации: Утверждены приказом_Минэнерго РФ (от 19 июня 2003 г. N 229).
7. Герасимов А.И. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий: Учеб. пособие для вузов /А.И. Герасимов, С.В. Кузмин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2006. – 264с.
8. ГОСТ 2.710-81 Правила выполнения схем. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах. Измененная редакция, Изм. № 1 Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 31 марта 1981 г. № 1675 срок введения установлен с 01.07.87.
9. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. – М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2001. – 216

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА, ГЕОЛОГИИ И ГЕОТЕХНОЛОГИИ
(институт)

ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ГОРНО – МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
ПРОИЗВОДСТВА
(кафедра)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 С.В. Кузьмин
(подпись) (инициалы, фамилия)

«09» Февраля 2018г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

21.05.04. Горное дело

(код и наименование специальности)

21.05.04.10 Электрификация и автоматизация горного производства

(код и наименование специализации)

«Разработка и внедрение лаборатории по курсу «Электромагнитная
обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».

Проектирование, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной
работы «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на
подстанциях напряжением 220 кВ»

(тема)

Пояснительная записка

Руководитель

 09.02.2018
(подпись, дата)

к.т.н., доцент
(полное имя, ученая степень)

С.В. Кузьмин
(инициалы, фамилия)

Выпускник

 09.02.2018
(подпись, дата)

А.В. Козырев
(инициалы, фамилия)

Красноярск 2018г.