

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова»

И.И. Соловьев

ОСНОВЫ ТЕХНИКИ ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Учебное пособие

ЧАСТЬ 1

Архангельск
САФУ
2019

УДК 621.316
ББК 31.24
С60

*Рекомендовано к изданию методической комиссией высшей школы энергетики,
нефти и газа Северного (Арктического) федерального университета
имени М.В. Ломоносова*

Рецензенты:

С.В. Петухов, канд. техн. наук, доцент;
М.В. Захаров, канд. техн. наук, доцент

Соловьев, И.И.

С60 Основы техники высоких напряжений [Электронный ресурс]: учебное пособие / И.И. Соловьев; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Электронные текстовые данные. – Архангельск: САФУ, 2019. – 110 с.
ISBN 978-5-261-01401-0

Представлены основные сведения об изоляции высоковольтных электрических установок и грозовых перенапряжениях. Изложены физические процессы в изоляции при сильных электромагнитных воздействиях, характеристики внешней и внутренней изоляции, методы контроля и испытания изоляционных конструкций. Рассмотрены методы защиты ЛЭП и подстанций от грозовых перенапряжений.

Предназначено для студентов, обучающихся в рамках направления подготовки бакалавров и магистров «Электроэнергетика и электротехника» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.316
ББК 31.24

Издательский дом им. В.Н. Булатова САФУ
163060, г. Архангельск, ул. Урицкого, д. 56

ISBN 978-5-261-01401-0

© Соловьев И.И., 2019
© Северный (Арктический)
федеральный университет
им. М.В. Ломоносова, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗОЛЯЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ	6
1.1. Изоляция.....	6
1.2. Перенапряжения	8
1.3. Общая характеристика внешней изоляции	9
1.4. Твёрдые диэлектрики	11
Контрольные вопросы.....	12
2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАЗРЯДЫ В ГАЗАХ.....	12
2.1. Возникновение электрического разряда	12
2.2. Лавина электронов	14
2.3. Пробивное напряжение газа в однородном поле. Закон Пашена.....	15
2.4. Условие самостоятельности разряда в неоднородном поле	17
2.5. Стримерная теория разряда	17
2.6. Начальное напряжение для неоднородных полей. Закон подобия разрядов	18
2.7. Пробивное напряжение в резконеоднородных полях	20
2.8. Вольт-секундные характеристики разряда	20
Контрольные вопросы.....	22
3. КОРОННЫЙ РАЗРЯД НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ.....	22
3.1. Коронный разряд на поверхности провода.....	22
3.2. Корона при постоянном напряжении	23
3.3. Корона на проводах при переменном напряжении.....	24
3.4. Потери энергии на корону при переменном напряжении	26
Контрольные вопросы.....	27
4. РАЗРЯД В ВОЗДУХЕ ВДОЛЬ ПОВЕРХНОСТИ ТВЁРДОГО ДИЭЛЕКТРИКА	28
4.1. Диэлектрик, помещённый в однородное поле.....	28
4.2. Расположение диэлектрика, характерное для опорных изоляторов	29
4.3. Конструкция, характерная для проходных изоляторов.....	30
4.4. Разряд вдоль смоченной дождём или загрязнённой и увлажнённой поверхности	31
Контрольные вопросы.....	32
5. АППАРАТНЫЕ И ЛИНЕЙНЫЕ ИЗОЛЯТОРЫ.....	33
5.1. Аппаратные изоляторы	33
5.2. Линейные изоляторы.....	35
Контрольные вопросы.....	37
6. ИЗОЛЯЦИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ	37
6.1. Пути перекрытия изоляции в зависимости от типа опоры	38
6.2. Разрядные характеристики линейных и аппаратных изоляторов	39
6.3. Выбор изоляторов для линий и РУ	42
6.4. Особенности изоляции линий на деревянных опорах	43
6.5. Определение минимальных изоляционных расстояний на опорах..	44

6.6. Изоляционные расстояния в РУ	45
6.7. Эксплуатационный контроль линейной изоляции	45
Контрольные вопросы	46
7. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВНУТРЕННЕЙ ИЗОЛЯЦИИ	46
7.1. Электрическая прочность внутренней изоляции	46
7.2. Регулирование электрических полей во внутренней изоляции	48
7.3. Комбинирование диэлектриков. Основные виды внутренней изоляции	52
Контрольные вопросы	53
8. ДЛИТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ВНУТРЕННЕЙ ИЗОЛЯЦИИ	54
8.1. Электрическое старение	54
8.2. Частичные разряды в газовых включениях	55
8.3. Основные закономерности развития ЧР в газовых включениях	56
8.4. Меры интенсивности ЧР	59
8.5. Тепловое старение	60
8.6. Увлажнение внутренней изоляции	61
Контрольные вопросы	61
9. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ИЗОЛЯЦИИ	62
9.1. Бумажно-масляная (пропитанная) изоляция	62
9.2. Маслобарьерная изоляция. Механизм пробоя и старения	64
Контрольные вопросы	68
10. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ ИЗОЛЯЦИИ	68
10.1. Классификация методов испытания изоляции	68
10.2. Испытание изоляции повышенным напряжением	69
10.3. Контроль изоляции по сопротивлению утечки	72
10.4. Измерение характеристик частичных разрядов в изоляции	73
10.5. Контроль изоляции по $\tan \delta$	74
10.6. Контроль изоляции по емкостным характеристикам	76
Контрольные вопросы	77
11. ИЗОЛЯЦИОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ	78
11.1. Вводы	78
11.2. Изоляция силовых трансформаторов	80
11.3. Изоляция силовых кабелей	83
Контрольные вопросы	84
12. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОЛНИИ	84
12.1. Общая характеристика молнии	84
12.2. Защита ЛЭП от прямых ударов молнии	86
12.3. Защита подстанций от прямых ударов молнии	90
12.4. Защита подстанций от набегающих волн	104
Контрольные вопросы	109
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	110

ВВЕДЕНИЕ

По уровню опасности для человека электрические установки подразделяются на устройства низкого напряжения до 1000 В и высоковольтные – свыше 1000 В. Существует и другой критерий, приводящий к существенному отличию установок низкого и высокого напряжений, – это поведение изоляции электроустановки. В низковольтных установках изоляционные расстояния определяются механическими соображениями, то есть возможностью выдерживать механические нагрузки или исключением возможного соприкосновения токоведущих частей между собой. В высоковольтных установках на первое место выходит проблема возможных повреждений изоляции из-за большого напряжения на ней. Если при напряжении 220 В воздушный промежуток в доли миллиметра с точки зрения электрической прочности вполне достаточен (хотя и недостаточен из-за возможности механического соприкосновения), то при напряжении свыше 1 кВ воздушный промежуток размером в несколько сантиметров уже не является изоляцией и может быть пробит. Специфическая проблема изоляции при высоких напряжениях ставит основной задачей обеспечение необходимого уровня электрической изоляции элементов высоковольтных установок.

Высокие напряжения широко используются в электроустановках различного назначения. Использование высоких напряжений в электрических системах требует решения комплекса вопросов, касающихся электрической изоляции. Цель изучения этих вопросов – обеспечить безаварийную работу изоляции всех элементов электрической системы. Рассматриваемая проблема получила название «Техника высоких напряжений». Она предусматривает как изучение физических процессов в изоляции при сильных электромагнитных воздействиях – высоких напряжениях и напряженностях электрического поля, так и изучение форм и величин напряжений, воздействующих на изоляцию во время эксплуатации (рабочего напряжения, грозовых и внутренних перенапряжений).