

**Министерство образования и науки Республики Казахстан
Казахский национальный университет имени аль-Фараби**

Б.Р. Кангожин, С.С. Даутов, М.С. Жармагамбетова, Н. Избасарұлы

ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Учебное пособие

**Издательство «Қазақ университеті»
Алматы 2021**

УДК 621.31.048

Кангожин Б.Р.

Техника высоких напряжений. Курс лекций / Б.Р. Кангожин, С.С. Даутов., М.С. Жармагамбетова, Н. Избасарұлы – Алматы: Изд-во «Қазақ университеті», 2021. – 153 с.

В конспекте лекций рассмотрены процессы в диэлектриках при воздействии на них сильных электрических полей, характеристики внешней и внутренней изоляции, вопросы координации высоковольтной изоляции.

Курс лекций предназначен для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика», а также преподавателей, аспирантов и инженерно-технических работников, для слушателей курсов подготовки, переподготовки и повышения квалификации.

УДК 621.31.048

**Рекомендовано к печати Учебно-методическим объединением РУМС
Казахского национального университета имени аль-Фараби**

Рецензенты:

- Ю.В. Архипов – доктор физико-математических наук,
профессор кафедры физики плазмы, нанотехнологии
и компьютерной физики, физико-технического
факультета КазНУ им. аль-Фараби**
- Т.К. Койшиев – доктор технических наук,
профессор кафедры электроэнергетики, факультета
Автоматизации и телекоммуникаций КазАТК им.
М. Тынышпаева**

Содержание

| | | |
|-----|--|----|
| | ВВЕДЕНИЕ..... | 6 |
| | ГЛАВА 1. ВНЕШНЯЯ ИЗОЛЯЦИЯ..... | 7 |
| 1 | ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ..... | 7 |
| 1.1 | Парные столкновения частиц | 7 |
| 1.2 | Сечение столкновения..... | 8 |
| 1.3 | Энергия движущихся частиц..... | 12 |
| 1.4 | Скорость дрейфа заряженных частиц. Подвижность заряженных частиц..... | 13 |
| 1.5 | Диффузия, амбиполярная диффузия..... | 16 |
| 1.6 | Диссоциация..... | 18 |
| 2 | ПРОЦЕССЫ УДАРНОЙ ИОНИЗАЦИИ..... | 20 |
| 2.1 | Процессы возбуждения..... | 20 |
| 2.2 | Понятие коэффициента ионизации..... | 20 |
| 2.3 | Вывод уравнений для определения коэффициента α | 21 |
| 2.4 | Образование отрицательных ионов..... | 25 |
| 2.5 | Коэффициент прилипания. Эффективный коэффициент ионизации..... | 26 |
| 2.6 | Распад отрицательных ионов. Старение ионов..... | 27 |
| 3 | ПРОЦЕССЫ В ОБЪЕМЕ ГАЗА И НА КАТОДЕ..... | 29 |
| 3.1 | Различные виды ионизации в газах..... | 29 |
| 3.2 | Ионизация в смесях газов. Эффект Пеннинга..... | 31 |
| 3.3 | Процессы ионной и электронной рекомбинаций..... | 31 |
| 3.4 | Процессы ионизации в газе вблизи поверхности твердого диэлектрика..... | 32 |
| 3.5 | Процессы на катоде. Второй коэффициент ионизации Таунсенда..... | 34 |
| 3.6 | Фотоэлектронная эмиссия..... | 34 |
| 3.7 | Воздействие на катод возбужденных частиц и ионов..... | 35 |
| 3.8 | Автоэлектронная эмиссия. Термоэмиссия..... | 36 |
| 4 | ПОВЕДЕНИЕ ИОНИЗОВАННОГО ГАЗА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ..... | 38 |
| 4.1 | Характеристики излучения разряда в воздухе..... | 38 |
| 4.2 | Роль излучения при разрядных процессах в газе вблизи поверхности твердых диэлектриков..... | 39 |
| 4.3 | Характеристика ионизованного газа. Дебаевский радиус экранирования..... | 42 |
| 4.4 | Особенности частично ионизованной низкотемпературной плазмы..... | 45 |
| 5 | РАЗРЯДЫ В ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКАХ ПРИ ПОСТОЯННОМ И ПЕРЕМЕННОМ НАПРЯЖЕНИИ..... | 48 |
| 5.1 | Развитие разряда и пробивные напряжения промежутков с однородным электрическим полем. Закон Пашена..... | 48 |
| 5.2 | Развитие разряда и начальные напряжения промежутков с неоднородным электрическим полем. Закон подобия разряда..... | 50 |
| 6 | РАЗРЯДЫ В ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКАХ ПРИ ГРОВОМ И КОММУТАЦИОННОМ ИМПУЛЬСАХ..... | 56 |
| 6.1 | Время разряда и вольт-секундные характеристики воздушных промежутков..... | 56 |
| 6.2 | Разряд в длинных воздушных промежутках..... | 59 |
| 7 | РАЗРЯДЫ В ВОЗДУХЕ ВДОЛЬ ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО ДИЭЛЕКТРИКА..... | 63 |
| 7.1 | Влияние конструктивных особенностей изоляторов на напряжения перекрытия..... | 63 |
| 7.2 | Развитие разряда и напряжения перекрытия изоляторов при неблагоприятных атмосферных воздействиях..... | 67 |
| | ГЛАВА 2. ВНУТРЕННЯЯ ИЗОЛЯЦИЯ..... | 72 |
| 8 | ПОЛЯРИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ДИЭЛЕКТРИКОВ..... | 72 |

| | | |
|------|--|-----|
| 8.1 | Поляризация диэлектриков..... | 72 |
| 8.2 | Миграционная поляризация..... | 73 |
| 8.3 | Диэлектрические потери..... | 75 |
| 8.4 | Электропроводность диэлектриков..... | 77 |
| 8.5 | Электропроводность жидких диэлектриков..... | 77 |
| 8.6 | Электропроводность твердых диэлектриков..... | 79 |
| 9 | ПРОБОЙ ЖИДКИХ И ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ НАПРЯЖЕНИЯ..... | 81 |
| 9.1 | Пробой жидких диэлектриков..... | 81 |
| 9.2 | Разряд по поверхности твердого диэлектрика в масле..... | 83 |
| 9.3 | Пробой твердых диэлектриков..... | 84 |
| 10 | ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ ИЗОЛЯЦИЯ: ИЗОЛЯТОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ И ПОДСТАНЦИЙ. ВНУТРЕННЯЯ ИЗОЛЯЦИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК..... | 87 |
| 10.1 | Основные характеристики изоляторов..... | 87 |
| 10.2 | Линейные и станционные изоляторы..... | 88 |
| 10.3 | Распределение напряжения вдоль гирлянды изоляторов..... | 90 |
| 10.4 | Изоляция силовых трансформаторов..... | 91 |
| 10.5 | Изоляция вводов высокого напряжения..... | 93 |
| 10.6 | Изоляция силовых конденсаторов..... | 95 |
| 10.7 | Изоляция силовых кабелей..... | 96 |
| 10.8 | Изоляция электрических машин высокого напряжения..... | 97 |
| | ГЛАВА 3.КООРДИНАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИИ..... | 99 |
| 11 | ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ИЗОЛЯЦИИ..... | 99 |
| | Зависимость электрической прочности внутренней изоляции от длительности | |
| 11.1 | воздействия напряжения. Изоляция самовосстанавливающаяся и несамовосстанавливающаяся..... | 99 |
| 11.2 | Длительная электрическая прочность Дефекты изоляции и механизмы их возникновения..... | 102 |
| 11.3 | Общая характеристика перенапряжений в электрических сетях..... | 104 |
| 11.4 | Общая характеристика защитных мероприятий..... | 105 |
| 12 | АТМОСФЕРНЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ..... | 108 |
| 12.1 | Характеристики грозовой деятельности и параметры молний..... | 108 |
| 12.2 | Перенапряжения прямого удара молнии..... | 111 |
| 12.3 | Индуктированные перенапряжения..... | 111 |
| | Волновые процессы: распространение волн перенапряжений вдоль проводов; | |
| 12.4 | перенапряжения на оборудовании, подключенном к линии; импульсные процессы в обмотках трансформаторов..... | 113 |
| 13 | ВНУТРЕННИЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ..... | 120 |
| 13.1 | Координация изоляции..... | 120 |
| 13.2 | Емкостный эффект линий электропередачи..... | 121 |
| 13.3 | Резонансное смещение нейтрали в сетях 3..35 кВ..... | 121 |
| 13.4 | Коммутационные перенапряжения..... | 122 |
| 13.5 | Перенапряжения при гашении дуги..... | 123 |
| 13.6 | Защита от перенапряжений. Устройства для защиты от перенапряжений..... | 125 |
| 13.7 | Основные принципы грозозащиты линий электропередач..... | 129 |
| 13.8 | Основные принципы защиты подстанций..... | 129 |
| 14 | ИСПЫТАНИЯ ИЗОЛЯЦИИ..... | 132 |
| 14.1 | Основные виды профилактических испытаний изоляции..... | 132 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 14.2 | Измерение сопротивления и емкости изоляции: Контроль сопротивления изоляции. Контроль емкости изоляции. Хроматографический анализ масла..... | 133 |
| 14.3 | Контроль диэлектрических потерь и измерение параметров частичных разрядов: контроль диэлектрических потерь в изоляции и контроль частичных разрядов..... | 137 |
| 14.4. | Контроль повышенным напряжением. Испытания изоляции отдельных видов оборудования: испытания изоляции повышенным напряжением, испытания изоляции кабелей, трансформаторов и высоковольтных вводов..... | 139 |
| 15 | ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ИЗМЕРЕНИЯ..... | 141 |
| 15.1 | Испытательные установки высокого переменного напряжения..... | 141 |
| 15.2 | Испытательные установки высокого постоянного напряжения..... | 144 |
| 15.3 | Генераторы коммутационных импульсов..... | 145 |
| 15.4 | Генераторы импульсных напряжений..... | 146 |
| 15.5 | Измерение высоких постоянных напряжений..... | 148 |
| 15.6 | Измерение высоких переменных напряжений..... | 150 |
| 15.7 | Измерение высоких импульсных напряжений..... | 151 |
| | СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... | 153 |