

Министерство образования и науки Российской Федерации  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

Н.В. Щеглов

# СОВРЕМЕННЫЕ ВИДЫ ИЗОЛЯЦИИ

Часть 3

## ВАКУУМНАЯ ИЗОЛЯЦИЯ

Утверждено Редакционно-издательским советом  
университета в качестве учебного пособия

НОВОСИБИРСК  
2011

УДК 621.3.048.83(075.8)  
Щ 334

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент *В.И. Ключенович*;  
канд. техн. наук, доцент *Н.В. Цуркан*

Работа подготовлена на кафедре ТЭВН

**Щеглов Н.В.**

Щ 334 Современные виды изоляции. Ч. 3. Вакуумная изоляция : учеб. пособие / Н.В. Щеглов. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. – 94 с.

ISBN 978-5-7782-1549-8

Рассмотрены электрические параметры характерных типов вакуумных промежутков при высоком напряжении, а также механизмы пробоя этих промежутков при различных видах приложенного напряжения.

Учебное пособие предназначено для студентов V курса и магистрантов, обучающихся по специальности «высоковольтная электроэнергетика и электротехника».

УДК 621.3.048.83(075.8)

ISBN 978-5-7782-1549-8

© Щеглов Н.В., 2011  
© Новосибирский государственный  
технический университет, 2011

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
<b>Глава 1. Электрические характеристики вакуумных промежутков при высоком напряжении .....</b>	<b>4</b>
1.1. Промежутки плоскость–плоскость при постоянном напряжении .....	4
1.1.1. Вольт-амперные характеристики .....	4
1.1.2. Представление вольт-амперной характеристики в форме Фаулера–Нордгейма .....	6
1.1.3. Расстояние между электродами .....	7
1.1.4. Полярность электродов .....	8
1.1.5. Температура электродов .....	9
1.2. Тренировка электродов .....	9
1.2.1. Тренировка без пробоев .....	10
1.2.2. Тренировка тлеющим разрядом .....	11
1.2.3. «Газовое» кондиционирование .....	12
1.2.4. Тренировка пробоями .....	12
1.3. Давление остаточного газа .....	12
1.3.1. Сухой воздух .....	12
1.3.2. Различные газы .....	15
1.3.3. Скачок допробойного тока .....	16
1.4. Конструкционные характеристики установок высокого напряжения .....	17
1.4.1. Общие требования .....	17
1.4.2. Конфигурация электродов .....	17
1.4.3. Длина промежутка .....	19
1.4.4. Материал электродов .....	20

1.4.5. Подготовка поверхности электродов.....	21
1.4.6. Внешняя цепь.....	22
1.5. Форма напряжения.....	23
1.5.1. Синусоидальное напряжение.....	23
1.5.2. Импульсное напряжение.....	24
<b>Глава 2. Инициирование пробоя за счет процессов электронной эмиссии.....</b>	<b>26</b>
2.1. Автоэлектронная эмиссия с чистых электродов.....	26
2.1.1. Эмиссия электронов при низких температурах.....	27
2.1.2. Учет зависимости тока эмиссии от температуры.....	29
2.1.3. Влияние пространственного заряда.....	29
2.2. Автоэлектронная эмиссия с электродов при высоком напряжении.....	30
2.2.1. Локальные эмиттирующие зоны.....	30
2.2.2. Усиление поля на изолированных микровыступах.....	30
2.2.3. Автоэлектронная эмиссия с идеализированных микровыступов.....	33
2.3. Механизм возникновения пробоя, связанный с автоэлектронной эмиссией.....	35
2.3.1. Катодный механизм пробоя.....	36
2.3.2. Термический режим анода.....	39
2.4. Пробой при импульсном напряжении.....	41
2.4.1. Процессы на катоде.....	42
2.4.2. Процессы на аноде.....	45
2.5. Критерии пробоя, инициируемого у катода или анода.....	48
<b>Глава 3. Пробой, вызванный микрочастицами.....</b>	<b>50</b>
3.1. Возникновение микрочастиц.....	50
3.2. Первичные и вторичные микрочастицы.....	50
3.3. Условия механического отрыва микрочастиц, приобретаемый ими заряд.....	51

3.4. Процессы при полете частиц через промежуток.....	54
3.4.1. Изменение заряда частицы за счет электронной эмиссии ...	54
3.4.2. Пробой, возникающий в результате поджигающего разряда .....	55
3.4.3. Механизм пробоя, связанный с испарением микрочастиц .....	56
3.5. Явления при столкновении частицы с электродом после пересечения промежутка.....	58
3.5.1. Малые скорости соударения ( $v \leq v_{кр}$ ) .....	59
3.5.2. Промежуточные скорости соударения ( $v_{кр} \leq v \leq 5v_{кр}$ ) .....	60
3.5.3. Большие скорости соударения ( $v \geq 5v_{кр}$ ) .....	60
3.6. Явления столкновения при многократном пролете частицы через промежуток.....	61
3.6.1. Отскок частиц .....	61
3.6.2. Увеличение кинетической энергии частиц .....	61
3.6.3. Теоретические основы процесса перезарядки .....	63
3.7. Поведение микрочастиц при импульсном напряжении .....	66
3.7.1. Пробой, вызванный столкновением .....	66
3.7.2. Поджигающий разряд при отрыве частицы .....	68
<b>Глава 4. Допробойная электронная эмиссия .....</b>	<b>70</b>
4.1. Автоэлектронная эмиссия при наличии неметаллических включений на электродах .....	70
4.2. Зонная теория.....	71
4.3. Каналовая модель .....	74
4.4. Модель «переключения» диэлектрика .....	78
4.5. Перекрытие по поверхности твердых диэлектриков в вакууме .....	82
Библиографический список.....	90