Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра техники и электрофизики высоких напряжений

Паспорт экзамена

по дисциплине «Инновационные технологии в высоковольтной электроэнергетике», 4 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в устной (письменной) форме, по билетам. Билет состоит из двух вопросов и задачи и формируется по следующему правилу:

- первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1-7;
- второй вопрос из диапазона вопросов 8-15;
- третий вопрос – задача.

Таким образом, проверяются результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций.

На экзамене преподаватель вправе задавать студенту уточняющие и дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет ФЭН

Билет № _____
к экзамену по дисциплине «Инновационные технологии в высоковольтной электроэнергетике»

---

1. Вопрос 1. Неэлектрические методы обнаружения ЧР.
2. Вопрос 2. Конструктивные особенности и расчет высоковольтных снабберов.
3. Задача: При проектировании системы передачи постоянного тока (ППТ) ультравысокого напряжения задана передаваемая активная мощность (P = 2000 МВт) на расстояние (L = 1000 км). Номинальное напряжение линии составляет Uном = 500 кВ). Погонное сопротивление проводов составляет (r0 = 0.025 Ом/км). Найти ток, протекающий в линии в номинальном режиме.

Утверждаю: зав. кафедрой ____ _____ должность, ФИО
(подпись)
(дата)

2. **Критерии оценки результатов обучения, соотнесенных с уровнями освоения индикаторов достижения компетенций**

Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент проводит сравнительный комплексный анализ материала, выявляет проблемы, предлагает механизмы их решения, представляет количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры, не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения задачи. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций не содержит пробелов. Установленные в программе компетенции сформированы в полном объеме. Оценка составляет *от 35 до 40 баллов.*

Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, способен представить количественные и качественные характеристики процессов, не допускает существенных ошибок при решении задачи. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит несущественные пробелы. Установленные в программе компетенции сформированы на базовом уровне. Оценка составляет *от 34 до* 27 *баллов.*

Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает непринципиальные ошибки, например, вычислительные. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит пробелы. Установленные в программе компетенции сформированы на пороговом уровне. Оценка составляет *от* 26 *до* 20 *баллов.*

Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным** (ниже порогового уровня), если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает принципиальные ошибки. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит существенные пробелы. Установленные в программе компетенции не сформированы. Оценка составляет *менее* 20 *баллов.*

3. **Шкала оценки**

Экзамен считается сданным, если сумма баллов по всем заданиям билета составляет от 20 до 40 баллов включительно. Сумма менее 20 баллов признается неудовлетворительным результатом промежуточной аттестации по дисциплине.

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, установленными в НГТУ.

4. **Вопросы и задачи к** экзамену **по дисциплине «**Инновационные технологии в высоковольтной электроэнергетике**»**

Вопросы:

1) Физическая природа частичных разрядов (ЧР). Определение ЧР, условия их возникновения, стадии развития дефектов и классификация разрядов в газовой, жидкой и твердой высоковольтной изоляции.

2) Математические модели процессов ЧР: Эквивалентные емкостные схемы замещения включений и дефектов в диэлектриках (модель Гемanта-Уайтхеда). Распределение электрического напряжения на дефекте.

3) Нормирование параметров ЧР: Понятие кажущегося заряда (величина в пКл/нКл), истинного заряда и энергии единичного импульса ЧР. Физический смысл невозможности прямого измерения истинного заряда.

4) Частотные характеристики и спектральный состав импульсов ЧР: Особенности протекания сверхкоротких импульсов тока ЧР в обмотках трансформаторов, кабельных линиях и КРУЭ как в длинных линиях со знакопеременным затуханием.
5) Электрические методы регистрации ЧР: Схемы измерения по стандарту МЭК 60270. Назначение и характеристики элементов измерительного контура (устройство присоединения, связующий конденсатор).
6) Электромагнитные высокочастотные (HF/VHF) и сверхвысокочастотные (UHF) методы диагностики ЧР: Применение встроенных и внешних датчиков (антенн) для мониторинга силовых трансформаторов и КРУЭ. Принципы отстройки от внешних коронирующих помех.
7) Неэлектрические методы обнаружения ЧР: Акустический метод (ультразвуковая локация дефектов), оптический метод (регистрация ультрафиолетового излучения) и физико-химический метод (хроматографический анализ растворенных в масле газов — ХАРГ).
8) Системы импульсного высоковольтного питания мегаваттного класса: Особенности топологии и режимы работы высоковольтных источников для питания мощных потребителей (на примере систем питания инжекторов быстрых атомов и мегасайенс-установок).
9) Коммутационные процессы и перенапряжения в цепях высоковольтной силовой электроники: Механизм возникновения критических скоростей нарастания напряжения (du/dt) и тока (di/dt) при запирании мощных полупроводниковых ключей (IGBT, IEGT, тиристоров).
10) Принципы защиты полупроводниковых приборов снабберными сборками: Назначение, типы снабберов (демпфирующие RC- и RCD-цепи, варисторные сборки) и физика ограничения коммутационных перенапряжений в силовых цепях.
11) Конструктивные особенности и расчет высоковольтных снабберов: Требования к паразитной индуктивности элементов снаббера. Конструкция безиндуктивных конденсаторов и резисторов, методы их охлаждения при рассеянии больших импульсных мощностей.
12) Применение фильтров нижних частот (ФНЧ) в высоковольтной электроэнергетике: Подавление высокочастотных гармоник, создаваемых мощными преобразователями частоты, и защита чувствительного измерительного оборудования от импульсных помех.
13) Применение фильтров верхних частот (ФВЧ) при диагностике изоляции: Выделение слабых высокочастотных сигналов ЧР (в полосе от сотен кГц до единиц МГц) на фоне мощной низкочастотной составляющей промышленной частоты (50 Гц) и ее ближайших высших гармоник.
14) Режекторные (заграждающие) фильтры в задачах помехозащищенности: Назначение и схемы применения узкополосных режекторных фильтров для вырезания стационарных радиопомех (сигналов телемеханики, мобильной связи, широковещательных радиостанций) при мониторинге оборудования под напряжением.
15) Линии высокого напряжения постоянного тока (ППТ): классификация, схемы построения и особенности проектирования систем передачи мощности.

Задачи:

1) Найти скорость электрона при движении в однородном электрическом поле напряженностью (E = 10 кВ/см) на участке длиной (l = 5 см) (начальная скорость равна нулю, релятивистским эффектом пренебречь).

2) Найти энергию (в эВ), которую приобретает электрон в воздушном включении внутри изоляции толщиной (d = 0.2), если напряженность поля в дефекте достигла критического значения пробоя воздуха (E = 30 кВ/см).

3) Найти среднюю длину свободного пробега электрона в элегазе (SF6) при давлении, когда напряженность электрического поля составляет (E = 89 кВ/мм), если для ионизации молекулы электрону необходимо набрать энергию (W = 16 эВ).

4) Найти дрейфовую скорость положительных ионов в масляном промежутке длиной (l = 2 см) при напряжении (U = 40 кВ), если подвижность ионов в трансформаторном масле составляет ($b = 1.5 \cdot 10^{-8}$ $м^2$ /с).

5) Найти величину кажущегося заряда (q) частичного разряда, если истинный заряд в газовом включении равен (q0 = 500 пКл). Емкость включения (Cc = 2 пФ), емкость последовательного с ним участка изоляции (Cb = 0.1 пФ).

6) Найти пряжение на газовом включении (Uc) внутри диэлектрика в момент пробоя, если к объекту приложено рабочее напряжение (U = 35 кВ). Емкостные параметры схемы замещения дефекта: (Cb = 0.5 пФ), (Cc = 5 пФ).

7) Найти энергию (W), выделяющуюся при одиночном импульсе частичного разряда, если измеренный кажущийся заряд равен (q = 20 пКл), а напряжение зажигания ЧР на объекте составляет (Ui = 10.5 кВ).

8) Найти время задержки (Δ t) между электрическим и акустическим сигналами от ЧР в силовом трансформаторе для локализации дефекта, если датчик установлен на баке на расстоянии (s = 1.5 м) от точки разряда. Скорость звука в трансформаторном масле принять равной (v = 1400 м/с).

9) Найти центральную частоту (f0) электромагнитного излучения (UHF-диапазон), генерируемого импульсом ЧР в КРУЭ, если длительность фронта волны тока составляет (τf = 0.5 нс) (принять (f0 = 1/(2 τf).

10) Найти максимальную скорость нарастания напряжения (du/dt)max на высоковольтном IGBT-ключе в момент отключения инжектора, если емкость снабберного конденсатора равна (Cs = 0.22 мкФ), а коммутируемый ток составляет (I = 150 А).

11) Найти величину сопротивления (Rs) демпфирующего снаббера для обеспечения критического затухания колебаний при коммутации, если индуктивность ошиновки высоковольтного контура составляет (L = 4 мкГн), а емкость снаббера (Cs = 0.1 мкФ).

12) Найти мощность потерь (P), рассеиваемую на резисторе снаббера в системе импульсного питания, если емкость конденсатора (Cs = 0.05 мкФ), напряжение на ключе (U = 20 кВ), а частота коммутации ключа составляет (f = 2 кГц).

13) Найти частоту среза (fc) RC-фильтра верхних частот (ФВЧ), применяемого для отсечки промышленной частоты (50 Гц) при измерении ЧР, если параметры фильтра: (R = 1 кОм), (C = 150 пФ). Пропускает ли данный фильтр высокочастотный сигнал ЧР на частоте (2 МГц)?

14) Найти индуктивность (L) режекторного (заграждающего) LC-фильтра, настроенного на подавление стационарной помехи от радиостанции на частоте (f = 1.2 МГц), если емкость конденсатора в измерительном контуре составляет (C = 200 пФ).

15). При проектировании системы передачи постоянного тока (ППТ) ультравысокого напряжения задана передаваемая активная мощность (P = 2000 МВт) на расстояние (L = 1000 км). Номинальное напряжение линии составляет (Uном = 500 кВ) Погонное сопротивление проводов составляет (r0 = 0.025 Ом/км).Найти ток (I), протекающий в линии в номинальном режиме.