**Задачи и методики их решения**

**Методика инженерного расчета изоляционных промежутков в воздухе**

Для промышленной частоты 50 Гц длина изоляционного промежутка *l*, см, и расчетное напряжение *U*рас (действующее, кВ) связаны между собой следующим эмпирическими формулами.

Для промежутка игла-игла или игла-заземленная плоскость при расчетном напряжении *U*рас < 40 кВ (*l* < 9 см)

.

Для промежутка игла-заземленная плоскость при 40 < *U*рас < 380 кВ (9 < *l* < 100 см)

.

Для промежутка игла-игла при 40 < *U*рас < 380 кВ (9 < *l* < 100 см)

.

При полных грозовых импульсах положительной и отрицательной полярности при инженерных расчетах для промежутка игла-заземленная плоскость используют эмпирические формулы:

а) при положительной полярности импульса для 230 < *U*рас. гр. < 5300 кВ (40 < *l* < 1000 см)

;

б) при отрицательной полярности импульса для 400 < *U*рас. гр. < 1600 кВ (40 < *l* < 200 см)

.

**Методика инженерного расчета изоляционных промежутков в масле**

Расчет сводится к определению допустимой длины промежутка *l* по заданному расчетному напряжению  либо к определению напряжения  для конкретного промежутка длиной *l*. Как и для газовых промежутков, в расчете используются эмпирические формулы, проверенные опытом эксплуатации высоковольтного оборудования. В качестве примера приведем здесь расчетные формулы для основных конструкций промежутков, заполненных технически чистым маслом, разрядное напряжение которого в стандартном разряднике составляет 35 - 50 кВ.

При расчетном напряжении частотой 50 Гц  (действующее значение, кВ) допустимая длина изоляционного промежутка *l*, см, или же расчетное напряжение  при длине промежутка *l* определяются по формулам:

а) для промежутка игла - плоскость при 50 < *U*рас < 725 кВ (3 < *l* < 150 см)

;

б) для промежутка между двумя коаксиальными цилиндрами

,

где *r* и *R* - соответственно радиусы внутреннего и наружного цилиндров, см.

 Покрытие внешней поверхности внутреннего цилиндра слоем изоляционного материала (например, бумагой) толщиной 5 - 15 мм повышает разрядное напряжение на 20 - 30 %.

При полных грозовых импульсах положительной полярности при инженерных расчетах для промежутка игла - плоскость при 58 < *U*рас. гр. < 1250 кВ (1 < *l* < 120 см) используют формулы:

.

Расчетное напряжение того же промежутка при отрицательной полярности полного импульса на 12 - 16 % больше, чем при положительной полярности.

**Расчет мощности диэлектрических потерь и температуры нагрева изоляции**

 Выражение для амплитуды полной мощности диэлектрических потерь во всем объеме диэлектрика



где ω – угловая частота напряжения переменного тока;

 U0 – амплитуда напряжения переменного тока, В;

 С – емкость диэлектрика, Ф;

 tgδ – тангенс угла диэлектрических потерь.

 Если в формуле амплитудное значение заменить на его действующее значение, то Р следует заменить на среднюю за период мощность потерь.

**Пример задачи.** В гирлянде из четырех изоляторов, каждый из которых имеет емкость 50 пФ и термическое сопротивление 2 К/Вт, находящейся под действующим напряжением 35 кВ переменного тока частотой 50 Гц, имеется один дефектный изолятор с tgδ = 10 %, один полностью пробитый изолятор и один исправный. Рассчитать разности температур между дефектным, пробитым и исправными изоляторами, считая напряжение на дефектном и исправном изоляторах одинаковым.

**Решение.** Задача относится к теме «Современные методы диагностики электрооборудования». Литература [2] гл. 10, с. 212-235.Согласно условию задачи можно пренебречь частичными емкостями изоляторов относительно провода и заземленной опоры. Тогда, схема замещения гирлянды изоляторов может быть представлена в виде, показанном на рис. 1.



Рис.1. Схема замещения гирлянды из 4-х изоляторов.

В соответствии со схемой на рис.1. все изоляторы в гирлянде эквивалентны и падение напряжения на каждом из них в исправной гирлянде одинаково и равно U/4= 8,75 кВ. Будем считать, что второй изолятор является пробитым и его сопротивление R2=0, а третий изолятор – дефектным (частично пробитым). В случае с одним пробитым изолятором напряжение распределяется уже между тремя оставшимися изоляторамии к каждому из них приложено напряжение Ui=11,7 кВ. У исправных изоляторов активное сопротивление намного больше емкостного и можно считать, чтоR1=R4=∞, а тепловые потери отсутствуют. Тепловые потери также отсутствуют на пробитом изоляторе, поскольку падение напряжения на нем Ui=0.

Рассчитаем мощность диэлектрических потерь в гирлянде Р, которая будет равна потерям на дефектном изоляторе.

$Р=\left(U\_{i}\right)^{2}∙2∙π∙f∙C∙tgδ$, (1)

где f-частота переменного тока,Гц;

Ui–падение напряжения на изоляторе, В;

С – емкость изолятора, Ф;

tgδ – тангенс угла диэлектрических потерь.

Подставив числовые значения в формулу (1), получим

P=(11,7·103)2·2·3,14·50·50·10-12·0,1≈ 0,2 Вт.

Мощность Р, выделяемая на дефектном изоляторе, полностью преобразуется в тепло, что выражается в повышении его температуры над температурой окружающей среды на величину разность температур ∆Т. На исправном и пробитом изоляторах тепло не выделяется и температура на них остается равной температуре окружающей среды. Повышение температуры на дефектном изоляторе вычисляется из закона Ома для тепловой цепи по формуле

∆Т=Р·Rт, (2)

где Rт – термическое сопротивление, К/Вт.

Подставив числовые значения в формулу (2), получим

∆Т=0,2·2= 0,4 К

*Примечание*. Температура может выражаться в градусах Кельвина (К) или в градусах Цельсия (0С).

**Ответ.** Разность температур между дефектным, пробитым и исправными изоляторами составит 0,4 0С.

**ЗАДАЧИ**

1. Определить расчетное напряжение промышленной частоты при нормальных атмосферных условиях для воздушного промежутка игла-заземленная плоскость с расстоянием между электродами 27 см.

2. Найти допустимое расстояние в воздушном промежутке между электродами в виде двух игл при нормальных атмосферных условиях и расчетном напряжении 100 кВ частотой 50 Гц.

3. Определить расчетное напряжение полного грозового импульса отрицательной полярности при нормальных атмосферных условиях для воздушного промежутка игла - заземленная плоскость. Длина изоляционного промежутка равна 70 см.

4. Найти допустимое расстояние и промежутке игла-плоскость, заполненным трансформаторным маслом, при расчетном напряжении 100 кВ частотой 50 Гц.

5. Оценить мощность диэлектрических потерь переменного электрического поля частотой 50 Гц с напряженностью 100 кВ/см в 1 см3 промышленного трансформаторного масла. Для масла tgδ = 1.6х10-3 относительная диэлектрическая проницаемость - 2,2.

6. Рассчитайте температуру изолятора емкостью 100 пФ с tgδ = 10 % и термическим сопротивлением 2К/Вт, находящегося под действующим напряжением 10 кВ переменного тока частотой 50 Гц. Температура окружающего воздуха 20 0С.

7. В гирлянде из трех изоляторов, каждый из которых имеет емкость 50 пФ и термическое сопротивление 2 К/Вт, находящейся под действующим напряжением 35 кВ переменного тока частотой 50 Гц, имеется один дефектный изолятор с tgδ = 10 %. Рассчитать разность температур между дефектным и исправным изоляторами, считая что распределение напряжения в гирлянде сохраняется равномерным.

8. В гирлянде из трех изоляторов, каждый из которых имеет емкость 50 пФ и термическое сопротивление 2 К/Вт, находящейся под действующим напряжением 35 кВ переменного тока частотой 50 Гц, имеется один дефектный изолятор с tgδ = 10 %, один полностью пробитый изолятор и один исправный. Рассчитать разности температур между дефектным, пробитым и исправным изоляторами, считая напряжение на дефектном и исправном изоляторах одинаковым.