**Общие требования при выполнении расчетной работы**

1. Контрольная работа выполняется в виде расчетно-пояснительной записки в соответствии с общими требованиями к документам.

2. Текст должен быть полностью переписан в контрольную работу с числовыми данными, соответствующими выполняемому варианту.

3. Расчетная часть каждой задачи сопровождается краткими и четкими пояснениями.

4. При решении задач необходимо пользоваться системой единиц СИ.

5. При выполнении расчетов следует привести расчетную формулу, сделать подстановку числовых значений и записать результат без промежуточных вычислений. Полученные результаты вычислений должны быть записаны с обязательным указанием единиц измерений. При заполнении таблиц дается пример расчета одной строки таблицы.

6. Следует приводить расшифровку условных обозначений всех величин, входящих в расчетные формулы.

7. Контрольная работа должна быть оформлена аккуратно, грамотно, поясняющие рисунки, а также таблицы и схемы необходимо оформлять с применением чертежных инструментов.

8. В конце работы должен быть представлен список литературы, используемой при выполнении заданий.

9. Работа, которая будет выполнена с отступлением от указанных требований, рассматриваться не будет.

**ЗАДАЧА 1**

К плоскому конденсатору прямоугольной формы, имеющего пластины шириной **a** и длиной **b**, приложено напряжение **U .** Между обкладками конденсатора расположен диэлектрический слой толщиной **d**  c относительной диэлектрической проницаемостью **εr.**

Дано:

- удельное объемное сопротивление диэлектрика ρ; - удельное поверхностное сопротивление диэлектрика ρs; - тангенс угла диэлектрических потерь tg δ.

Требуется:

1. Определить ток утечки, мощность потерь и удельные диэлектрические потери при включении конденсатора на постоянное напряжение.

2. Начертить упрощенную схему замещения реального диэлектрика и построить векторную диаграмму токов.

3. Определить диэлектрические потери при включении того же конденсатора на переменное напряжение с действующим значением U промышленной частоты.

4. Построить график зависимости диэлектрических потерь от частоты питающего напряжения (f1 < f < f 2 ).

Таблица 1.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Номер варианта | |  |  |
| 1 |
| a, мм | 250 |
| b, мм | 650 |
| d, мм | 1,1 |
| U, kВ | 0.6 |
| f1, Гц | 20 |
| f2, МГц | 0.2 |

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | 1 |
| εr | 2.0 |
| ρx1016 Ом м | 1.0 |
| Ρs x1015 Ом | 2 |
| tgδ x10-2 | 2.1 |

**ЗАДАЧА 2**

Диэлектрик изоляционной конструкции состоит из двух слоев различных материалов. Материал первого слоя имеет относительную диэлектрическую проницаемость **ε1**, удельную проводимость **Υ1**. Материал второго слоя имеет относительную диэлектрическую проницаемость **ε2**, удельную проводимость **Υ2**. Толщина первого и второго слоев диэлектрика соответственно равны **d1 и d2, S** - площадь электродов.

Требуется:

1. Начертить два варианта схемы замещения двухслойного диэлектрика и рассчитать их параметры.

2. Рассчитать и построить графическую зависимость емкости изоляционной конструкции от частоты приложенного напряжения в диапазоне от 0 до 100 Гц

3. Определить степень увлажнения изоляции, считая, что причиной ее неоднородности является ее увлажнение.

Таблица 2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметры | Варианты | |
| 1 |
| ε1 | 2.6 |
| ε2 | 1.6 |
| Υ1x10-11 См/м | 3.0 |
| Υ2x10-8 См/м | 2.2 |

|  |  |
| --- | --- |
| Параметры | 1 |
| d1, мм | 11 |
| d2, мм | 6 |
| S, см2 | 410 |

**ЗАДАЧА 3**

Сердечник из электротехнической стали прямоугольной формы с площадью сечения S и длиной L работает в переменном магнитном поле с частотой 50 Гц и амплитудой Bmax. Для материала сердечника заданы основная кривая намагничивания B = f(H) и зависимость удельных потерь от амплитуды магнитной индукции pуд =φ(B max) для данной частоты.

Требуется:

1. Построить основную кривую B = f(H) намагничивания заданного материала.

2. Рассчитать и построить зависимость магнитной проницаемости материала сердечника от напряженности магнитного поля μ = f(H).

3. Начальную и максимальную магнитную проницаемость и индукцию насыщения материала.

4. Определить удельные магнитные потери в материале при заданной величине магнитной индукции, построить график зависимости удельных потерь от амплитуды магнитной индукции.

5. Рассчитать потери мощности в заданном сердечнике.

Таблица 3

Кривая намагничивания материала сердечника

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Знач ения | | параметров | H(кА/м) и B(Тл) | | | | | |
| 1 | H | 0.1х10-3 | 0.25 | 1.0 | 2.5 | 5.0 | 10 | 15 |
| B | 5.4х10-5 | 1.1 | 1.45 | 1.7 | 1.88 | 1.94 | 1.95 |

Таблица 4

Зависимость удельных потерь в магнитном материале от амплитуды магнитной индукции при частоте 50 гц (Для всех вариантов )

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Bmax, Тл | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 1.7 | 2.0 |
| pуд/50, Вт/кг | 0.3 | 1.1 | 2.5 | 3.2 | 4.4 |

Таблица 5

Размеры сердечника и амплитуды магнитной индукции

|  |  |
| --- | --- |
|  | 1 |
| S, см2 | 40 |
| L, м | 0.3 |
| Bmax,Тл | 0.9 |

**Задача 4**

Постоянный магнит изготовлен из магнитотвердого материала.

Требуется:

1. Изучить свойства и основные характеристики магнитотвердых материалов. Привести числовые значения основных магнитных параметров заданного материала, указать область его использования.

2. Построить графически кривую размагничивания B=f(H) для заданного материала. При построении учесть, что кривая размагничивания расположена во втором квадранте.

3. По кривой размагничивания определить остаточную индукцию и коэрцитивную силу.

4 Рассчитать и построить график зависимости удельной магнитной энергии в воздушном зазоре магнита от магнитной индукции W=f(B).

5. Определить максимальную удельную энергию в воздушном зазоре и соответствующие ей индукции и напряженность магнитного поля.

6. Вычислить коэффициент выпуклости кривой размагничивания.

Таблица 6

Кривая размагничивания магнитотвердого материала

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Марка материала | Значения параметров H (кА/м) и B (Тл) | | | | | | | |
| 1 | ЮНД8 | -H | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 53 |
| B | 1.33 | 1.32 | 1.3 | 1.27 | 1.22 | 0.9 | 0 |

**Задача 5**

Прожекторная установка, состоящая из n числа прожекторов, служит для освещения площадки ОРУ. Питание установки осуществляется от трехфазной питающей сети по кабелю длиной L. Каждый прожектор потребляет мощность P при номинальном напряжении U. Относительная потеря напряжения ∆U.

Требуется:

1. Определить сечение фазного провода кабеля S.

2. Выбрать марку кабеля.

Таблица 6

|  |  |
| --- | --- |
|  | 1 |
| n | 6 |
| L | 100 |
| материал | медь |

|  |  |
| --- | --- |
|  | 1 |
| U, B | 127 |
| ∆U% | 2.5 |
| Р, кВт | 600 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Сечение токо- проводящей жилы S мм2 | Допустимая токовая нагрузка при прокладке, А | | | | | |
| Медные провода | | | Алюминиевые провода | | |
| Открытая прокладка | 2 одножильных в трубе | 3 одножильных в трубе | Открытая прокладка | 2 одножильных в трубе | 3 одножильных в трубе |
| 1 | 15 | 14 | 13 | - | - | - |
| 1.5 | 20 | 17 | 15 | - | - | - |
| 2.5 | 27 | 23 | 22 | 21 | 18 | 17 |
| 4.0 | 36 | 34 | 31 | 28 | 25 | 25 |
| 6.0 | 46 | 41 | 37 | 35 | 32 | 28 |
| 10 | 70 | 60 | 55 | 50 | 45 | 42 |
| 16 | 90 | 75 | 70 | 70 | 55 | 52 |
| 25 | 125 | 100 | 90 | 95 | 75 | 70 |
| 35 | 150 | 120 | 110 | 115 | 90 | 85 |
| 50 | 190 | 165 | 150 | 145 | 125 | 115 |
| 70 | 240 | 200 | 185 | 185 | 155 | 145 |

**Библиографический список**

1. Богородицкий Н.П. и др. Электротехнические материалы. 7-е изд.-Л.: Энергоатомиздат, 1985.-304с.

2. Справочник по электротехническим материалам/ Под ред. Ю.В. Корицкого. – М.:Энергия, 1987. -568с.

3. Преображенский А.А. Магнитные материалы и элементы.-М.: Высшая школа, 1987,- 225с.

4. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов.- М.: Энергия, 1973. – 360с.

5.И.И. Алиев, С.Г.Калганов Электротехнические материалы и изделия. Справочник. – М.: ИП РадиоСофт. 2005. – 352с

**ПРИЛОЖЕНИЕ**

**Методические указания к решению задачи № 1**

В цепях постоянного тока через твердый диэлектрик протекает незначительный ток, обусловленный движением свободных носителей зарядов (электронов, ионов), который называется током утечки или током проводимости. Этот ток равен сумме объемного IV и поверхностного IS токов, величина каждого из которых зависит от приложенного напряжения U и сопротивления данного диэлектрика ( объемного RV и поверхностного RS,  соответственно). Объемное и поверхностное сопротивления образца прямоугольной формы вычисляются по следующим формулам:

RV = ρ (1.1)

RS=ρS  (1.2)

где ρV и ρS –удельное объемное и поверхностное сопротивления диэлектрика;

a и b - геометрические размеры пластин конденсатора; h - толщина диэлектрического слоя.

Диэлектрическими потерями называется мощность, рассеиваемая в диэлектрике при воздействии на него электрического поля и вызывающая его нагрев. При постоянном напряжении нагрев диэлектрика обусловлен только током утечки и пропорционален его квадрату.

При переменном напряжении нагрев диэлектрика зависит также от активной составляющей поляризационного тока и определяются углом диэлектрических потерь tgδ. Активная мощность, рассеиваемая в диэлектрике, равна

Pа=U2ω C tgδ, (1.3)

где U - напряжение, приложенное к конденсатору; ω – круговая частота питающего напряжения; tg δ – тангенс угла диэлектрических потерь; C - емкость плоского конденсатора.

Емкость плоского конденсатора равна

С=εr ε0 , (1.4)

где εr - относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика; ε0 - диэлектрическая постоянная, равная 8.85х10-12 Ф/м; S – площадь пластин конденсатора; d – расстояние между

пластинами (толщина диэлектрического слоя).

В электроизоляционных материалах диэлектрические потери характеризуют удельными потерями р, равными

р= , (1.5)

где V – объм диэлектрического слоя.

**Методические указания к решению задачи № 2**

В данной задаче рассматриваются некоторые особенности поляризации неоднородных диэлектриков, которые имеют место в изоляции конструкций высокого напряжения.

Виды поляризации можно разделить на две большие группы:

- поляризация практически мгновенная и без рассеяния энергии (упругая); - поляризация замедленная и сопровождаемая рассеянием энергии в диэлектрике, т.е. его нагревом, которую называют релаксационной.

К первой группе относятся электронная и ионная поляризации, а ко второй группе - дипольно-релаксационная, электронно-релаксационная и ионно-релаксационная поляризации. Кроме перечисленных, существует дополнительный вид поляризации, проявляющийся в твердых диэлектриках неоднородной структуры - миграционная поляризация. Она связана с перемещением свободных зарядов (электронов и ионов) в пределах слоев и включений диэлектрических конструкций.

Количественный расчет ряда параметров, связанных с миграционной поляризацией и является предметом данной задачи контрольной работы.

Сущность миграционной поляризации рассмотрим на примере двухслойного диэлектрика. Для такого диэлектрика возможны две схемы замещения, показанные на рис.

Элементы первой схемы замещения по слоям можно выразить через параметры слоев диэлектрика следующим образом:

R1= , R2= ,

C1=ε0 ε1

C2=ε0 ε2 , (2.1)

Два остальных параметра этой схемы замещения можно определить из условия равенства полных сопротивлений диэлектрика в обеих схемах замещения:

r= ,

∆C= , (2.2)

При длительном приложении к двухслойному диэлектрику постоянного напряжения U0  из-за наличия проводимости на границе слоев будет накапливаться заряд абсорбции Q абс. Образование этого заряда является следствием миграционной поляризации, величина которого равна суммарному заряду на границе раздела слоев:

U0 , (2.3)

Из этого выражения видно, что заряд абсорбции будет существовать при выполнении условия

R1C1

Условие неоднородности двухслойной изоляции имеет вид

ε1 /Υ1 ε2 /Υ2

При приложении к двухслойному диэлектрику переменного напряжения емкость неоднородного диэлектрика зависит от частоты приложенного напряжения:

С(ω)=Сr  + ΔC , (2.4)

где ω – круговая частота приложенного напряжения; T – постоянная времени, равная

T=r ΔC

Явление миграционной поляризации нашло широкое применение при контроле состояния изоляционных конструкций, в частности, загрязнения и увлажнения. При увлажнении слоя изоляции ее реакцию на приложение переменного напряжения можно рассматривать в соответствии со схемами замещения.

Контроль степени увлажнения производится путем измерения емкости изоляции при различных частотах. При этом емкость изоляции с ростом частоты изменяется тем сильнее, чем больше степень неоднородности изоляции, то есть чем больше толщина увлажненного слоя. При отсутствии увлажнения (однородной изоляции) емкость от частоты не зависит. На практике для контроля степени увлажнения изоляции прозводят измерения емкости при двух частотах 2 Гц и 50 Гц при постоянной температуре. На основе опыта установлено, что степень увлажнения изоляции допустимая, если выполняется условие

1.3

В противном случае считается, что изоляция недопустимо увлажнена.

**Методические указания к решению задачи № 3**

По магнитным свойствам материалы можно разделить на слабомагнитные (диамагнетики и парамагнетики ) и сильномагнитные ( ферромагнетики и ферримагнетики). У сильномагнитных материалов магнитная проницаемость 1 зависит от напряженности внешнего магнитного поля. Величина магнитной проницаемости характеризует способность материала усиливать магнитное поле. К магнитным материалам относятся ферромагнетики и ферримагнетики. Протекание процессов намагничивания в магнитных материалах характеризуется кривой намагничивания - зависимостью магнитной индукции от напряженности мгнитного поля B=f(H). Эта зависимость может быть рассчитана по формуле

B= μ0 μr H, (3.1)

где μ0 =4π х10-7 Гн/м – магнитная постоянная;  μr - относительная магнитная проницаемость материала.

Относительная магнитная проницаемость определяется по основной кривой намагничивания как отношение индукции к напряженности магнитного поля в данной точке кривой намагничивания с учетом магнитной постоянной μ0 =4π х10-7 Гн/м, то есть

μr=

Зависимость относительной магнитной проницаемости от напряженности μr =f(H) носит нелинейный характер. Магнитная проницаемость пропорциональна крутизне кривой намагничивания и при определенном значении напряженности достигает максимального значения. Далее крутизна кривой намагничивания уменьшается и магнитная проницаемость резко падает практически до значения равного единице в области насыщения.

По своим свойствам магнитные материалы делятся на магнитомягкие и магнитотвердые. Магнитомягкие материалы применяются для изготовления сердечников электрических машин и аппаратов, в измерительных приборах, там, где при наименьших затратах энергии требуется достигнуть наибольшей индукции. Процесс перемагничивания ферромагнитных материалов в переменных магнитных полях всегда сопровождается тепловыми потерями, которые обусловлены потерями на гистерезис и динамическими потерями. Динамические потери вызываются вихревыми токами и магнитной вязкостью материала, так называемые потери на магнитное последствие. Потери на гистерезис пропорциональны площади статической петли гистерезиса, но ее сложная форма значительно усложняет их аналитический расчет. Для расчета потерь энергии

за один цикл перемагничивания в единице объема вещества применяется эмпирическая формула

WH=η , (3.2)

где η - коэффициент, зависящий от материала; максимальная индукция, достигаемая в течении цикла; n=1.6 – 2.0.

Тогда мощность, расходуемая на гистерезис, равна

PH=f V η (3.3)

где f – частота переменного тока; V - объем ферромагнитного сердечника.

Потери на вихревые токи зависят от электрического сопротивления материала сердечника. Чем выше удельное электрическое сопротивление ферромагнетика, тем меньше потери на вихревые токи. Для расчета мощности, расходуемой на вихревые токи, также используется эмпирическая формула

Pf= ξ f2 V , (3.4)

где ξ – коэффициент, зависящий от материала сердечника.

Для упрощения расчетов потерь в ферромагнитных сердечниках вводится понятие удельных потерь, приходящихся на единицу массы материала

pу = (3.5)

где m - масса сердечника; P - суммарные потери в сердечнике.

Окончательная формула для определения магнитных потерь в сердечнике имеет вид

P = pу V λ , (3.6)

где λ = 7870 - 8000 кг/ м - плотность материала сердечника

**Методические указания к решению задачи № 4**

Магнитотвердыми называют материалы с большой коэрцитивной силой. Такие материалы обладают значительной остаточной индукцией и сравнительно малой магнитной проницаемостью. Основное применение магнитотвердые материалы нашли для изготовления постоянных магнитов. Магнитотвердые материалы обычно характеризуются кривой размагничивания. Кривая размагничивания - зависимость B=f(H), получаемая при размагничивании материала от индукции насыщения(второй квадрант петли гистерезиса). Основными количественными характеристиками магнитотвердых материалов являются:

- коэрцитивная сила HC;

- остаточная индукция Br;

- максимальная удельная энергия, отдаваемая магнитом во внешнее пространство Wd.

Удельная магнитная энергия (энергия, приходящаяся на единицу объема материала магнита ), заключенная в воздушном зазоре, определяется по формуле

Wd= , (4.1)

где Hd -напряженность магнитного поля в данной точке, соответствующая магнитной индукции Bd.

При замкнутом магните магнитная индукция максимальна (Bd =Br ), а напряженность равна нулю (Hd=0), вследствие чего и отдаваемая энергия равна нулю, при очень большом зазоре между полюсами, наоборот, напряженность максимальна (Hd = Hс), а индукция равна нулю Bd=0, соответственно энергия также стремится к нулю.

При определенной величине зазора между полюсами магнита энергия достигает максимального значения:

Wmax= = , (4.2)

где и - напряженность магнитного поля в данной точке, соответствующей оптимальному воздушному зазору.

Наиболее важной характеристикой магнитотвердых материалов является максимальная удельная энергия Wmax , измеряемая на практике в кДж/м3 . Также для характеристики магнитотвердых материалов применяется коэффициент выпуклости кривой размагничивания

β , (4.3)

Чем более выпуклую форму имеет кривая размагничивания при определенных значения индукции насыщения и коэрцитивной силы, тем больше энергия, отдаваемая магнитом во внешнее пространство.

**Методические указания к решению задачи № 5**

Сечение жил кабелей и соединительных проводов SН  нормировано в зависимости от допустимых токовых нагрузок. Расчетный ток для прожекторной установки следует находить из заданного значения мощности и количества светильников

Ir = , (5.1)

Для предварительного расчета сечения жилы кабеля Sр , измеряемого в мм2 , может быть использована формула

Sр=, (5.2)

где ρ - удельное сопротивление проводникового материала при нормальной температуре (мкОм м); L - длина кабеля (м); ∆U - относительная потеря напряжения в кабеле или проводе (В); IP – расчетный ток (А).

По значению расчетного сечения Sр выбирается нормированное сечение SН , при этом необходимо проверить выполнение следующих условий:

SН Sр и Iдоп Iр (5.3)