

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. И. РАЗЗАКОВА**

**ТОКМОКСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**Кафедра «Электроэнергетика»**

## **ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**

Методические указания к выполнению контрольной  
работы для студентов заочной формы обучения  
по специальности 551701.03  
«Электроснабжение» (по отраслям)

**Бишкек – 2010**

«Рассмотрено»  
на заседании кафедры  
«Электроэнергетика» ТТИ  
Прот. №11 от 15.06.2010 г.

«Одобрено»  
УМС ТТИ  
КГТУ им. И. Раззакова  
Прот. №10 от 23.06.2010 г.

УДК 621.315.61

Составитель преп. КАДИЕВА А. К.

Электротехнические материалы. Методические указания к выполнению контрольной работы для студентов заочной формы обучения по специальности 551701.03 «Электроснабжение» (по отраслям) / ТТИ КГТУ им. И.Раззакова; сост. А.К.Кадиева. – Б.: ИЦ «Техник», 2010 – 16 с.

В методических указаниях приведены варианты контрольных заданий, которые содержат темы и задачи, помогающие студентам закрепить теоретические знания в области «Электротехнические материалы».

Рецензент к.т.н., проф. Сатаркулов К.А.

Электротехнические материалы  
Методические указания к выполнению контрольной работы  
для студентов заочной формы обучения  
по специальности 551701.03 «Электроснабжение» (по отраслям)

Составитель *Кадиева А.К.*

---

Тех. редактор *Субанбердиева Н.Е.*

---

Подписано к печати 13.01.2010 г. Формат бумаги 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офс. Печать офс. Объем 1 п.л. Тираж 50 экз. Заказ 23. Цена 18,2 сом.  
Бишкек, ул. Сухомлинова, 20. ИЦ «Техник» КГТУ им. И.Раззакова, т.: 54-29-43  
e-mail: beknur@mail.ru

## Пояснительная записка

**Электротехнические материалы** - это раздел материаловедения, который занимается материалами для электротехники и энергетики, т.е. материалами, обладающими специфическими свойствами, необходимыми для конструирования, производства и эксплуатации электротехнического оборудования. Ряд материалов традиционны для любого из разделов материаловедения, в первую очередь, это конструкционные материалы. Основные материалы, рассматриваемые здесь специфичны именно для электротехнического раздела материаловедения, это в первую очередь диэлектрические материалы, затем проводниковые материалы, магнитные материалы, полупроводники. При работе электрооборудования на его изоляцию воздействуют самые разнообразные факторы: высокая или низкая температура, высокое напряжение, вибрация, радиация, химические вещества и т. д. Воздействие всех этих факторов не должно приводить к преждевременному выходу изоляции из строя, так как это может привести к крупным авариям. Таким образом, надежность, эффективность и экономичность работы электрооборудования во многом зависят от качества его изоляции.

Чтобы успешно проектировать и эксплуатировать электротехнические установки, грамотно анализировать причины повреждений изоляции, нужно хорошо знать процессы, происходящие в изоляции и методы измерения ее основных параметров. Следует знать причины возникновения дефектов в изоляции и механизмы ее старения. Это необходимо для объективного контроля состояния изоляции, оценки степени ее старения и прогнозирования оставшегося ресурса ее работы. Такая проблема становится особенно актуальной для оборудования, выработавшего свой срок или срок службы которого приближается к расчетному.

**Цели** контрольной работы по курсу «Электротехнические материалы».

- рассмотрение теоретических основ знаний по курсам «Физика» и «Химия», из которых надо исходить при изучении и испытании материалов, применяемых в электротехнике;
- установление классификации электротехнических материалов по их назначению, составу и свойствам.

**Задачами** контрольной работы являются:

- изучение основных характеристик, служащих для оценки пригодности материалов при их использовании в электротехнике;
- изложение основных особенностей технологии электротехнических материалов;
- показ наиболее характерных, технически и экономически обоснованных случаев применения

## Методические указания к оформлению контрольной работы

Контрольная работа оформляется в тетради (листы 12-формата), специально заведенной для выполнения контрольного задания, и должна содержать следующие данные:

- **титульный лист** тетради, на котором указываются наименование учебного заведения, фамилия и инициалы студента, номер варианта и учебная группа;
- **текст задания** должен быть переписан полностью, со всеми числовыми значениями, соответствующего задания;
- **ответы** на контрольные вопросы и **решения** задач;
- **выводы к задачам**, содержащие не только расчетные формулы и конечные результаты, но и пояснения, позволяющие понимать выполняемые действия и проверять их.

**Примечание.** Студент вначале должен ответить на контрольные вопросы, а затем перейти к решению задач.

### Определение варианта и темы задания контрольной работы

Начальная буква фамилии студента	А Ц	В Щ	Д	Ж Н	К	М	О	Р	Т	Ф Я
Вариант задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Темы контрольных заданий	1 7 12 18	2 8 13 19	3 9 14 20	4 10 15 18	5 11 16 19	6 7 17 20	1 8 12 18	2 9 13 19	3 10 14 20	4 11 15 18
Начальная буква фамилии студента	Б Ч	Г	З Э	И Ю	Л Ы	С	Х П	У	Е	Ш
Вариант задания	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Темы контрольных заданий	5 7 16 19	6 8 17 20	1 9 12 18	2 10 13 19	3 11 14 20	4 7 15 18	5 8 16 19	6 9 17 20	1 10 12 18	2 11 13 19

## **ТЕМЫ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ**

### **I. Раздел «ДИЭЛЕКТРИКИ»**

Диэлектрические материалы являются основными видами электротехнических материалов с которыми придется встретиться на практике будущим инженерам-электрикам. Эти материалы служат в качестве изоляции токоведущих частей энергооборудования. Они включают в себя такие разнообразные типы электрической изоляции как: воздух в линиях электропередач и электроаппаратах; нефтяные и искусственные масла в трансформаторах, кабелях и конденсаторах; твердые диэлектрики в изоляторах воздушных линий (ВЛ), конденсаторах, установочных изделиях и корпусах аппаратов и т.п. При этом физические условия, в которых должна находиться и функционировать изоляция, накладывают определенные требования на физико-химические параметры материала, ограничивая возможные вид, тип используемых электротехнических материалов. Кроме того, при конструировании даже простейших изделий, предназначенных для работы в электрическом поле, необходимо четко представлять, какие процессы происходят в материале, как влияет тот, или иной материал на работу других частей устройства, в том числе за счет перераспределения электрического поля.

#### **Тема № 1. Классификация веществ по электромагнитным свойствам**

- а) диэлектрики
- б) полупроводники
- в) проводники
- г) слабомагнитные
- д) сильномагнитные

#### **Тема № 2. Поляризация диэлектриков**

- а) понятие поляризации и диэлектрической проницаемости
- б) основные виды поляризации
- в) классификация диэлектриков по виду поляризации

#### **Тема № 3. Электропроводность диэлектриков**

- а) основные понятия сквозного тока и тока абсорбции
- б) удельное объемное и удельное поверхностное сопротивления
- в) электропроводность газов
- г) электропроводность жидкостей
- д) электропроводность твердых тел

#### **Тема № 4. Диэлектрические потери**

- а) понятие диэлектрической потери и причины ее возникновения
- б) угол диэлектрических потерь
- в) виды диэлектрических потерь

#### **Тема № 5. Пробой диэлектриков**

- а) общая характеристика явления пробоя
- б) пробой газообразных, жидких и твердых диэлектриков
- в) тепловой пробой
- г) электрохимический пробой

#### **Тема № 6. Физико-химические свойства диэлектриков**

- а) влажностные свойства диэлектриков
- б) механические свойства диэлектриков
- в) тепловые свойства диэлектриков
- г) химические свойства диэлектриков

### **II. Раздел «ПРОВОДНИКИ»**

Из проводниковых материалов - твердых тел, жидкостей и газов в электротехнике наиболее часто применяют металлы и сплавы.

Согласно классической теории (Друде, Лорентц) металлы можно рассматривать как кристаллический остов, состоящий из положительных ионов, погруженных в среду из свободных коллективизированных электронов, называемой "электронным газом" или "электронной жидкостью".

#### **Тема № 7. Проводниковые материалы**

- а) классификация проводников
- б) свойства проводников

#### **Тема № 8. Материалы высокой проводимости**

- а) медь и ее сплавы
- б) алюминий и его сплавы
- в) железо и его сплавы

#### **Тема № 9. Сверхпроводники и криопроводники**

- а) сверхпроводимость материалов, их использование
- б) криопроводимость металлов, их применение

#### **Тема № 10. Различные металлы и их применение в электротехнике**

- а) щелочные металлы
- б) щелочно-земельные металлы

## **Тема № 11. Различные сплавы, припои, неметаллические проводники**

- а) сплавы высокого сопротивления
- б) контактные материалы
- в) припои
- г) неметаллические проводники

### **III. Раздел «ПОЛУПРОВОДНИКИ»**

Полупроводниками являются вещества, занимающие по величине удельной проводимости промежуточное положение между проводниками и диэлектриками. Эти вещества обладают как свойствами проводника, так и свойствами диэлектрика. Вместе с тем они обладают рядом специфических свойств, резко отличающих их от проводников и диэлектриков, основным из которых является сильная зависимость удельной проводимости от воздействия внешних факторов (температуры, света, электрического поля и др.)

К полупроводникам относятся элементы четвертой группы периодической таблицы Менделеева, а также химические соединения элементов третьей и пятой групп типа АIII BV (GaAs, InSb) и второй и шестой групп типа АII B VI (CdS, BbS, CdFe). Ведущее место среди полупроводниковых материалов, используемых в полупроводниковой электронике, занимают кремний, германий и арсенид галлия GaAs.

## **Тема № 12. Общие сведения о полупроводниках**

- а) классификация полупроводников
- б) применение полупроводников в электротехнике

## **Тема № 13. Электропроводность полупроводников**

- а) собственные полупроводники
- б) примесные полупроводники

## **Тема № 14. Методы определения типа электропроводности и параметров полупроводников**

- а) метод «эффект Холла»
- б) метод нагрева

## **Тема № 15. Воздействие внешних факторов на электропроводность полупроводников**

- а) влияние тепловой энергии
- б) влияние деформации
- в) воздействие света
- г) влияние сильных электрических полей

### **Тема № 16. Элементы со свойствами полупроводников**

- а) германий
- б) кремний
- в) селен

### **Тема № 17. Полупроводниковые химические соединения.**

- а) карбид кремния
- б) соединения  $A^{III}B^V$
- в) соединения  $A^{II}B^{VI}$

## **IV. Раздел «МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ»**

По реакции на внешнее магнитное поле и характеру внутреннего магнитного упорядочения все вещества в природе можно подразделить на пять групп: диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики, антиферромагнетики и ферримагнетики. Перечисленным видам магнетиков соответствуют пять различных видов магнитного состояния вещества: диамагнетизм, парамагнетизм, ферромагнетизм, антиферромагнетизм и ферримагнетизм.

### **Тема № 18. Магнитные свойства материалов**

- а) магнитная проницаемость
- б) магнитная вязкость

### **Тема № 19. Магнито-мягкие материалы**

- а) низкоуглеродистая сталь
- б) листовая электротехническая сталь
- в) пермаллой
- г) альсиферы

### **Тема № 20. Магнито-твердые материалы**

- а) легированные стали
- б) литые магнитно-твердые сплавы
- в) магниты из порошков
- г) магнитно-твердые ферриты
- д) пластически деформируемые сплавы и магнитные ленты

## Образцы решения задач

### Пример № 1

К диэлектрику прямоугольной формы размерами  $a$ ,  $b$  и высотой  $h$  приложено постоянное напряжение  $U=1000$  В. Напряжение подводится к противоположным граням  $ab$ , покрытым слоями металла. Известны размеры диэлектрика:  $a=200$  мм,  $b=100$  мм,  $h=2$  мм, удельное объемное сопротивление  $\rho_v=2 \cdot 10^{10}$  Ом·м, а удельное поверхностное сопротивление  $\rho_s=8 \cdot 10^{10}$  Ом.

Требуется определить ток утечки, мощность потерь и удельные диэлектрические потери.

**Решение.** Ток утечки протекает как через объем диэлектрика, так и по поверхностям четырех боковых граней (через две грани  $a$  и через две грани  $b$ ). Поэтому сопротивление между электродами определяется параллельным соединением объемного и поверхностного сопротивлений. Объемное сопротивление равно:

$$R_v = \rho_v \frac{h}{a \cdot b} = 2 \cdot 10^{10} \frac{2 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 0,1} = 2 \cdot 10^9 \text{ Ом} = 2 \text{ ГОм.}$$

Поверхностное сопротивление равно:

$$R_s = \rho_s \frac{h}{2(a+b)} = 8 \cdot 10^{10} \frac{2 \cdot 10^{-3}}{2(0,2+0,1)} = 0,267 \cdot 10^9 \text{ Ом} = 0,267 \text{ ГОм.}$$

Полное сопротивление изоляции равно:

$$R_{из} = \frac{R_v R_s}{R_v + R_s} = \frac{2 \cdot 10^9 \cdot 0,267 \cdot 10^9}{2 \cdot 10^9 + 0,267 \cdot 10^9} = 0,235 \cdot 10^9 \text{ Ом} = 0,235 \text{ ГОм.}$$

Ток утечки

$$I_y = \frac{U}{R_{из}} = \frac{1000}{0,235 \cdot 10^9} = 4,25 \cdot 10^{-6} \text{ А} = 4,25 \text{ мкА}$$

Мощность потерь

$$P = UI_y = 1000 \cdot 4,25 \cdot 10^{-6} = 4,25 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} = 4,25 \text{ мВт.}$$

Удельные диэлектрические потери:

$$\Delta P = \frac{P}{V} = \frac{P}{abh} = \frac{4,25 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,002} = 106 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3}$$

### Пример № 2

Пробивное напряжение шаров диаметром 12,5 см при расстоянии между шарами 1 см и нормальных условиях равно  $U_{пр} = 31,7$  кВ. Как изменится пробивное напряжение при температуре  $t = 27^\circ\text{C}$ , атмосферном давлении  $p = 739$  мм рт. ст. и относительной плотности  $\delta = 0,95$  ?

**Решение.** Относительная плотность воздуха при указанных атмосферных условиях будет равна:

$$\delta = \frac{(273 + 20) \cdot 739}{(273 + 27) \cdot 760} = 0,95$$

Если относительная плотность лежит в пределах  $0,95 \dots 1,05$ , то пробивное напряжение найдем по формуле:

$$U_{пр} = U_{пр0} \delta = 31,7 \cdot 0,95 = 30,105 \text{ кВ.}$$

*Примечание:* при нормальных условиях окружающей среды  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ ,  $p_0 = 760$  мм рт.ст.

### Пример № 3

Старение изоляции класса Е происходит под действием двух факторов: температуры и частичных разрядов, т. е. тепловое и электрическое старение происходит одновременно. Рабочее напряжение изоляции  $U = 35$  кВ, напряжение возникновения частичных разрядов  $U_{чр} = 15$  кВ. Изоляция рассчитана на срок службы  $\tau_n = 25$  лет при отсутствии частичных разрядов и при номинальной рабочей температуре  $t_n = 120^\circ\text{C}$ . Определить расчетный срок службы изоляции при температуре  $t = 130^\circ\text{C}$  и наличии частичных разрядов.

**Решение.** Срок службы изоляции при наличии теплового старения равен

$$\tau_T = \tau_n \cdot 2^{-\frac{t-t_n}{\Delta t}} = 25 \cdot 2^{-\frac{130-120}{10}} = 25 \cdot 2^{-1} = 12,5 \text{ лет}$$

Срок службы изоляции при электрическом старении:

$$\tau_э = \frac{A}{(U - U_{чр})^6} = \frac{6 \cdot 10^9}{(35 - 15)^6} = 93,75 \text{ года.}$$

Срок службы изоляции при одновременном действии двух механизмов старения:

$$\tau = \frac{1}{\frac{1}{\tau_T} + \frac{1}{\tau_3}} = \frac{1}{\frac{1}{12,5} + \frac{1}{93,75}} = 11 \text{ лет.}$$

*Примечание:*  $A$  – постоянная, зависящая от свойств изоляции, при нормальных условиях равная  $6 \cdot 10 \text{ год}/(\text{кВ})^n$ , где  $n$  – показатель степени, зависящий от конструктивных особенностей изоляции и рода действующего напряжения ( $n=4\dots 8$  при напряжении промышленной частоты и  $n=9\dots 12$  при постоянном напряжении).

Класс нагревостойкости	У	А	Е	В	Ф	Н	С
Наибольшая рабочая температура, °С	90	105	120	130	155	180	Более 180
Термодинамическая температура, К	363	378	393	403	428	453	Более 453

### Задача № 1

К диэлектрику прямоугольной формы размерами  $a$ ,  $b$  и высотой  $h$  приложено постоянное напряжение  $U$ . Напряжение подводится к противоположным граням  $ab$ , покрытым слоями металла, при удельном объемном  $\rho_v$  и удельном поверхностном  $\rho_s$  сопротивлениях.

Варианты заданий						
№	U, В	a, мм	b, мм	h, мм	$\rho_v$ , Ом·м	$\rho_s$ , Ом
1	1000	75	25	1	$10^{10}$	$5 \cdot 10^{10}$
2	1010	85	50	2	$2 \cdot 10^{10}$	$6 \cdot 10^{10}$
3	1015	90	75	3	$3 \cdot 10^{10}$	$7 \cdot 10^{10}$
4	1020	95	100	4	$4 \cdot 10^{10}$	$8 \cdot 10^{10}$
5	1025	100	150	5	$5 \cdot 10^{10}$	$9 \cdot 10^{10}$
6	1030	110	170	6	$6 \cdot 10^{10}$	$10^{11}$
7	1035	120	185	7	$7 \cdot 10^{10}$	$11 \cdot 10^{10}$
8	1040	130	200	8	$8 \cdot 10^{10}$	$12 \cdot 10^{10}$
9	1045	140	220	9	$9 \cdot 10^{10}$	$13 \cdot 10^{10}$
10	1050	150	250	10	$10^{11}$	$14 \cdot 10^{10}$
11	1055	160	280	11	$11 \cdot 10^{10}$	$15 \cdot 10^{10}$
12	1060	170	300	12	$12 \cdot 10^{10}$	$16 \cdot 10^{10}$
13	1065	180	320	13	$13 \cdot 10^{10}$	$17 \cdot 10^{10}$
14	1070	190	350	14	$14 \cdot 10^{10}$	$18 \cdot 10^{10}$
15	1075	200	380	15	$15 \cdot 10^{10}$	$19 \cdot 10^{10}$
16	1080	210	400	16	$16 \cdot 10^{10}$	$20 \cdot 10^{10}$
17	1085	220	420	17	$17 \cdot 10^{10}$	$21 \cdot 10^{10}$
18	1090	230	450	18	$18 \cdot 10^{10}$	$22 \cdot 10^{10}$
19	1095	240	480	19	$19 \cdot 10^{10}$	$23 \cdot 10^{10}$
20	1100	250	500	20	$20 \cdot 10^{10}$	$24 \cdot 10^{10}$

Требуется определить ток утечки, мощность потерь и удельные диэлектрические потери.

## Задача № 2

Шары диаметром  $d=12,5$  см при расстоянии между ними 1 см и нормальных условиях имеют пробивное напряжение  $U_{пр}$ . Как изменится пробивное напряжение при температуре  $t$ , °С и атмосферном давлении  $p$ , мм рт. ст.

Варианты заданий			
№	$U_{пр}$ , В	$t$ , °С	$p$ , мм. рт. ст.
1	30,1	-15	720
2	30,2	-10	730
3	30,3	-5	732
4	30,4	0	733
5	30,5	5	734
6	30,6	10	735
7	30,7	12	736
8	30,8	14	737
9	30,9	15	738
10	31,1	18	739
11	31,2	22	740
12	31,3	23	741
13	31,4	24	742
14	31,5	25	743
15	31,6	26	744
16	31,7	27	745
17	31,8	28	746
18	31,9	29	747
19	32,5	30	748
20	32,7	32	750

Найти изменение пробивного напряжения.

### Задача № 3

Старение изоляции происходит под действием двух факторов: температуры и частичных разрядов, т. е. тепловое и электрическое старение происходит одновременно при рабочем напряжении изоляции  $U$ , напряжении возникновения частичных разрядов  $U_{чр}$ . Изоляция рассчитана на срок службы  $\tau_n$  при отсутствии частичных разрядов и при номинальной рабочей температуре  $t_n$ .

<b>Варианты заданий</b>						
<b>№</b>	<b>Класс на- гревост.</b>	<b><math>\tau_n</math>, год</b>	<b><math>t</math>, °C</b>	<b><math>t_n</math>, °C</b>	<b><math>U</math>, В</b>	<b><math>U_{чр}</math>, В</b>
1	У	15	100	90	380	220
2	А	20	110	100	220	110
3	Е	25	120	110	110	50,5
4	В	30	130	120	35	15
5	F	35	140	130	11	6,6
6	Н	40	150	140	10	5,5
7	С	45	160	150	0,4	0,23
8	У	15	170	160	380	220
9	А	20	180	170	220	110
10	Е	25	190	180	110	50,5
11	В	30	200	190	35	15
12	F	35	220	200	11	6,6
13	Н	40	100	100	10	5,5
14	С	45	120	100	0,4	0,23
15	У	15	140	120	380	220
16	А	20	160	140	220	110
17	Е	25	180	160	110	50,5
18	В	30	200	180	35	15
19	F	35	220	200	11	6,6
20	Н	40	200	200	10	5,5

Определить расчетный срок службы изоляции при температуре  $t$  и наличии частичных разрядов.

## Литература

1. Богородицкий Н.П. и др. Электротехнические материалы. Издание шестое, переработанное. – Л.: «Энергия», 1977
2. Серебряков А.С. Электротехническое материаловедение. Электроизоляционные материалы. – М.: Маршрут, 2005
3. Электротехника / Под ред. В.Г.Герасимова. – М: Высшая школа, 1985
4. Электротехника / Под ред. Ю.Л.Хотунцева. М., 1998
5. Борисов Ю.М., Липатов Д.Н., Зорин Ю.Н. Электротехника, М., 1985
6. Волынский Б.А. и др. Электротехника. М., 1988
7. Морозов А.Г. Электротехника. Электроника и импульсная техника, М., 1986
8. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники. М., 1989
9. Основы промышленной электроники / Под ред. В.Г.Герасимова. М., 1986
10. Сборник задач по электротехнике и основам электроники / Под ред. Г. В.Г.ерасимова. М., 1987
11. Методическое руководство к пяти лабораторным работам по курсу «Общая электротехника» для неэнергетических специальностей. / КНТУ; сост. Ю.С.Гурина, Д.А.Четвертак. – Б.: ИЦ «Техник», 2004

