

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)**

Л.Ю. Солдатова

РАДИОМАТЕРИАЛЫ И РАДИОКОМПОНЕНТЫ

**Методические указания по самостоятельной работе
для студентов специальности 160905 –Техническая эксплуатация
транспортного радиооборудования**

На самостоятельное изучение выносятся раздел «Потери в диэлектриках», а также изучение конструкций резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности.

Диэлектрическими потерями называют электрическую мощность, затрачиваемую на нагрев диэлектрика, находящегося в электрическом поле. С физической точки зрения различают три главных процесса, следствием которых являются диэлектрические потери.

Главным процессом, вызывающим диэлектрические потери, является процесс электропроводности. Вызванные этим потери в диэлектрике называются **потерями на электропроводность**. Они возникают во всех диэлектриках. Больше всего они проявляются при повышенных температурах.

К потерям на электропроводность добавляются **потери на поляризацию или релаксационные потери**. Эти потери обычно наблюдаются только в определенном интервале температур, где проявляется поляризация, связанная с потерями (релаксационная поляризация).

В области сильных электрических полей к указанным процессам добавляются **потери на ионизацию**, которые возникают при ионизации диэлектрика.

Дополнительным видом потерь являются **резонансные потери**. Они наблюдаются в некоторых газах при строго определенной частоте и выражаются в интенсивном поглощении энергии электромагнитного поля. Резонансные потери возможны и в твердых телах, если частота вынужденных колебаний, вызываемых электрическим полем, совпадает с частотой собственных колебаний частиц твердого тела.

Процессы электропроводности, поляризации и ионизации при анализе диэлектрических потерь считаются независимыми. Предполагается, что в данном случае справедлив принцип суперпозиции (наложения) диэлектрических потерь, в соответствии с которым общие диэлектрические потери являются суммой составляющих, вызванных отдельными механизмами потерь.

Диэлектрические потери неудобно выражать в абсолютном виде. Так как они зависят от объема диэлектрика. В качестве показателя свойств материала можно было бы использовать удельные диэлектрические потери, т.е. потери, отнесенные к единице объема. Но и в этом случае приходится сталкиваться с практическими неудобствами, связанными с определением объема, так как необходимо учитывать сложность форм деталей из диэлектриков. Поэтому преимущество отдается показателям, которые зависят только от качества материала и при этом относительно легко определяются. Такими показателями являются тангенс угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$) и коэффициент диэлектрических потерь (ϵ''). Обе эти величины определяются и имеют четкий физический смысл только для линейных диэлектриков и синусоидального электрического поля. Однако они используются в качестве условных показателей и для

сравнения нелинейных диэлектриков с точки зрения диэлектрических потерь.

Студентам необходимо самостоятельно найти ответы на следующие вопросы:

1. От каких факторов зависят диэлектрические потери?
2. Как определяется тангенс угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$)?
3. По какой формуле можно определить потери на электропроводность?
4. По какой формуле можно определить удельные диэлектрические потери?
5. Как потери и $\text{tg}\delta$ зависят от частоты электрического поля и температуры?
6. Что называется коэффициентом диэлектрических потерь?
7. Существуют ли диэлектрики без потерь?
8. Последовательная и параллельная схемы замещения диэлектрика.

При самостоятельном изучении раздела «Потери в диэлектриках» рекомендуется использовать следующую литературу:

1. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники - С-П(б): Лань, 2003г., §6.3 с.200-211.
2. Тареев Б.М., Короткова Н.В. и др. Электрорадиоматериалы. – М.: Высшая школа, 1976г., глава 17, с. 130-143.
3. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В, Тареев Б.М. Электротехнические материалы – Л.: Энергоатомиздат, 1985г.
4. Трубицын А.М. Электрорадиоматериалы. Диэлектрики. Учебное пособие. Томск: ТАСУР, 1995г., раздел 3, с. 38-47.

При изучении конструкций радиокомпонентов надо рассмотреть следующие вопросы.

1. Изучить конструкции постоянных резисторов (объемных, поверхностного типа, проволочных), обратив особое внимание на материал и форму резистивного элемента, способы крепления выводов, а также защиту резисторов от внешних воздействий.
2. Изучить конструкции конденсаторов (пакетную, трубчатую, рулонную, секционированную, дисковую), обратив особое внимание на расположение обкладок в каждой конструкции, способы крепления выводов, а также на защиту материала диэлектрика от внешних воздействий.
3. Изучить типы намоток катушек индуктивности. Однослойные намотки – виток к витку и намотка с шагом. Многослойные намотки – рядовая, внавал (или кучей), пирамидальная, универсальная.

Проверка изучения конструкций радиокомпонентов осуществляется при выполнении и защите соответствующей лабораторной работы.

Рекомендуемая литература.

1. Петров К.С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника. – М., С-П(б).: Питер- 2003.
2. Волгов В.А. Детали и узлы радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Энергия, 1977.
3. Никулин Н.В., Назаров А.С. Радиоматериалы и радиодетали. – М.: Высшая школа, 1986.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ (ДОМАШНЕЙ) РАБОТЫ ПО ТЕМЕ «ПОТЕРИ В ДИЭЛЕКТРИКАХ»

1. У неполярного диэлектрика на частоте 1 МГц при температуре 20°C диэлектрическая проницаемость $\epsilon=2,3$, а тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta = 3,7 \cdot 10^{-4}$. При температуре 81°C тангенс угла диэлектрических потерь равен $2,04 \cdot 10^{-3}$. Чему равен тангенс угла диэлектрических потерь при температуре 59°C?
2. У неполярного диэлектрика на частоте 1 МГц при температуре 20°C диэлектрическая проницаемость $\epsilon=2,3$, а тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta = 3,7 \cdot 10^{-4}$. При температуре 81°C тангенс угла диэлектрических потерь равен $2,04 \cdot 10^{-3}$. Чему равны удельные диэлектрические потери при температуре 63°C в электрическом поле напряженностью $1,2 \cdot 10^6$ В/м?
3. Пленочный полистирольный конденсатор (площадь электродов 100см^2 , толщина диэлектрика 0,03 мм) работает при напряженности поля в диэлектрике 4 МВ/м. На частоте 100 кГц диэлектрическая проницаемость полистирола равна 2,3, а тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta = 3 \cdot 10^{-4}$. Чему равна активная мощность, рассеиваемая в конденсаторе?
4. Активная мощность, рассеиваемая в плоском конденсаторе с монолитной изоляцией ($\epsilon=3,6$, $\rho=2 \cdot 10^{12}$ Ом·м, $\operatorname{tg}\delta = 3 \cdot 10^{-4}$) на частоте 2 кГц больше, чем при постоянном напряжении в ... раз, если амплитудное значение переменного напряжения равно постоянному напряжению.
5. Рассеиваемая в пленочном конденсаторе ($\epsilon=2,4$, $\rho=1,8 \cdot 10^{13}$ Ом·м, $\operatorname{tg}\delta = 10^{-4}$) активная мощность при напряжении $U = 750 \cdot \sin(3,14 \cdot 10^3 t)$ В больше, чем при постоянном напряжении 750 В в ... раз.
6. Диэлектрик неполярный. Его удельное сопротивление $\rho=8 \cdot 10^{12}$ Ом·м, а диэлектрическая проницаемость $\epsilon=2$. Чему равен тангенс угла диэлектрических потерь на частоте 100 Гц?
7. У плоского керамического конденсатора на частоте $5 \cdot 10^6$ Гц емкость равна $2 \cdot 10^{-8}$ Ф, а добротность равна 1200. При напряжении 120 В активная мощность, рассеиваемая в конденсаторе, равна ... Вт.
8. Активная мощность рассеяния P_{a1} в кабеле с изоляцией из полиэтилена при напряжении $U=30$ В частотой 1 МГц равна 450 мкВт. Чему равна активная мощность

рассеяния P_{a2} в этом же кабеле при напряжении 20 В частотой 2 МГц? Считать, что потери в полиэтилене обусловлены только сквозной электропроводностью.

9. Определить коэффициент потерь неполярного диэлектрика на частоте 3 МГц, если удельное сопротивление материала равно 10^{12} Ом·м.

10. Рассчитайте активную мощность потерь при постоянном напряжении 200 В для конденсатора на основе пленки полиэтилентерефталата емкостью 2 мкФ. Постоянная времени этого конденсатора $\tau_c = 80000$ МОм·мкФ.

11. Чему равна активная мощность рассеяния в кабеле с сопротивлением изоляции 40 МОм при постоянном напряжении 40 В?

12. Вычислить на частоте 100 Гц тангенс угла диэлектрических потерь в диэлектрике с удельным объемным сопротивлением $\cdot 10^{14}$ Ом·м и диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2.2$.

13. Определить удельные диэлектрические потери в плоском конденсаторе, изготовленном из пленки полистирола толщиной 40 мкм, если на конденсатор подано напряжение 4 В частотой 2 МГц (для полистирола $\epsilon = 2.5$, $\text{tg}\delta = 2 \cdot 10^{-4}$).

14. При увеличении переменного напряжения (частота 1 МГц) от 10 до 11 кВ ионизационные потери энергии в керамической детали возрастают в 8 раз. Чему равно напряжение начала ионизации газовых включений?

15. Диэлектрик неполярный. Его удельное сопротивление $\rho = 2 \cdot 10^{12}$ Ом·м, а диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 2$. Чему равен тангенс угла диэлектрических потерь на частоте 100 Гц?

16. У плоского керамического конденсатора на частоте $5 \cdot 10^6$ Гц емкость равна $2 \cdot 10^{-8}$ Ф, а добротность равна 1200. При напряжении 50 В активная мощность, рассеиваемая в конденсаторе, равна ... Вт.

17. Активная мощность, рассеиваемая в плоском конденсаторе с монолитной изоляцией ($\epsilon = 4$, $\rho = 10^{12}$ Ом·м, $\text{tg}\delta = 10^{-4}$) на частоте 2 кГц больше, чем при постоянном напряжении в ... раз, если амплитудное значение переменного напряжения равно постоянному напряжению.

18. Рассеиваемая в пленочном конденсаторе ($\epsilon = 2$, $\rho = 10^{13}$ Ом·м, $\text{tg}\delta = 10^{-4}$) активная мощность при напряжении $U = 750 \cdot \sin(3,14 \cdot 10^3 t)$ В больше, чем при постоянном напряжении 750 В в ... раз.

19. Диэлектрик неполярный. Его удельное сопротивление $\rho = 6 \cdot 10^{12}$ Ом·м, а диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 2$. Чему равен тангенс угла диэлектрических потерь на частоте 100 Гц?

20. У плоского керамического конденсатора на частоте $5 \cdot 10^6$ Гц емкость равна $2 \cdot 10^{-8}$ Ф, а добротность равна 1200. При напряжении 80 В активная мощность, рассеиваемая в конденсаторе, равна ... Вт.

21. При комнатной температуре тангенс угла диэлектрических потерь электротехнического фарфора $\text{tg}\delta_0 = 3 \cdot 10^{-2}$, а при повышении температуры до 80°C он

возрастает в два раза. Чему равен $\operatorname{tg}\delta$ этого материала при температуре 200°C ? Изменением диэлектрической проницаемости материала пренебречь.

22. При комнатной температуре тангенс угла диэлектрических потерь электротехнического фарфора $\operatorname{tg}\delta_0 = 3 \cdot 10^{-2}$, а при повышении температуры до 80°C он возрастает в два раза. Во сколько раз увеличится активная мощность, выделяемая из этого материала при изменении температуры от 20 до 200°C ? Изменением диэлектрической проницаемости материала пренебречь.

23. При комнатной температуре тангенс угла диэлектрических потерь электротехнического фарфора $\operatorname{tg}\delta_0 = 3 \cdot 10^{-2}$, а при повышении температуры до 100°C он возрастает в два раза. Во сколько раз увеличится активная мощность, выделяемая из этого материала при изменении температуры от 20 до 200°C ? Считаем, что $\text{TK}\varepsilon = 100 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$.

24. В дисковом керамическом конденсаторе емкостью $C=200$ пФ, включенном на переменное напряжение $U=150$ В частотой $f=2$ МГц рассеивается мощность $P_a = 10^{-3}$ Вт. Определить реактивную мощность, тангенс угла диэлектрических потерь и добротность конденсатора.

25. В дисковом керамическом конденсаторе емкостью $C=200$ пФ включенном на переменное напряжение $U=150$ в частотой $f=2$ МГц, рассеивается мощность $P_a=10^{-3}$ Вт. Определить удельные потери в диэлектрике, если его диэлектрическая проницаемость $\varepsilon=100$, электрическая прочность $E_{\text{пр}}=20$ МВ/м, запас по электрической прочности $K=10$.

26. На электроды куба из диэлектрического материала подано переменное напряжение $U=20$ В частотой $f=1$ МГц. Определить тангенс угла диэлектрических потерь для этого материала, удельные потери p (ребро куба $a=10$ мм, $\rho_v=10^{10}$ Ом·м, $\rho_s=10^{11}$ Ом) $\varepsilon=3$.

27. На электроды куба из диэлектрического материала подано переменное напряжение $U=20$ В частотой $f=1$ МГц. Определить тангенс угла диэлектрических потерь для этого материала, коэффициент диэлектрических потерь ε'' . (ребро куба $a=10$ мм, $\rho_v=10^{10}$ Ом·м, $\rho_s=10^{11}$ Ом) $\varepsilon=3$

28. При измерении параметров керамического конденсатора на частоте $f=1$ кГц получено: емкость $C=3000$ пФ, $\operatorname{tg}\delta = 1 \cdot 10^{-2}$. Определить эквивалентное последовательное r_s и эквивалентное параллельное R_p сопротивления на этой частоте.

29. Активная мощность рассеяния P_{a1} в кабеле с изоляцией из полиэтилена при напряжении $U=30$ В частотой 1 МГц равна 450 мкВт. Чему равна активная мощность рассеяния P_{a2} в этом же кабеле при напряжении 20 В частотой 2 МГц? Считать, что потери в полиэтилене обусловлены только сквозной электропроводностью.

30. Определить коэффициент потерь неполярного диэлектрика на частоте 2 МГц, если удельное сопротивление материала равно $\rho=10^{12}$ Ом·м

31. При измерении сопротивления изоляции керамического конденсатора емкостью 200 пФ получили $R_{\text{из}}=2 \cdot 10^{11}$ Ом, при измерении на частоте $f=2$ МГц получили $\operatorname{tg}\delta = 3 \cdot 10^{-4}$ Рассчитайте эквивалентное параллельное сопротивление R_p на частоте 2 МГц.

32. Рассчитайте активную мощность потерь при постоянном напряжении 50 В для конденсатора на основе пленки полиэтилентерефталата емкостью 5 мкФ. Постоянная времени этого конденсатора $\tau_c = 10000 \text{ МОм}\cdot\text{мкФ}$.
33. Тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ неполярного диэлектрика на частоте 50 Гц равен $5\cdot 10^{-3}$. Вычислите активную мощность рассеяния P_a в конденсаторе из этого диэлектрика на частоте $f=2 \text{ кГц}$ при напряжении 3 кВ, если емкость конденсатора $C=750 \text{ пФ}$.
34. Чему равна активная мощность рассеяния в кабеле с сопротивлением изоляции 50 МОм при постоянном напряжении 40 В?
35. Вычислить на частоте 60 Гц тангенс угла диэлектрических потерь хорошо очищенного трансформаторного масла, удельное объемное сопротивление которого $5\cdot 10^{12} \text{ Ом}\cdot\text{м}$, диэлектрическая проницаемость $\epsilon=2,3$.
36. Определить удельные диэлектрические потери в плоском конденсаторе, изготовленном из пленки полистирола толщиной 10 мкм, если на конденсатор подано напряжение 1 В частотой 1 МГц (для полистирола $\epsilon=2,5$; $\text{tg}\delta = 2\cdot 10^{-4}$).
37. При напряжении 100 В на частоте 2 МГц рассеиваемая в диэлектрике активная мощность равна 0,03 Вт, а тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta = 2\cdot 10^{-3}$. Определить параметры параллельной эквивалентной схемы замещения диэлектрика C_p и R_p
38. На частоте 200 кГц при напряжении 100 В активная мощность, рассеиваемая в конденсаторе, равна 1 Вт, а добротность конденсатора равна 200. Определить параметры последовательной эквивалентной схемы замещения конденсатора C_s и r_s .
39. На частоте 1 МГц параметры последовательной эквивалентной схемы замещения равны $C_s = 5\cdot 10^{-10} \text{ Ф}$ и $r_s = 0,2 \text{ Ом}$. Чему равен тангенс угла диэлектрических потерь диэлектрика и активная мощность, выделяемая при напряжении 20 В?
40. Параметры параллельной эквивалентной схемы замещения диэлектрика на частоте 20 кГц равны $C_p = 2,5 \text{ нФ}$, $R_p = 1,5\cdot 10^6 \text{ Ом}$. Определить добротность детали и активную мощность, рассеиваемую в диэлектрике при напряжении 100 В.