

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования**
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания

по организации практической работы обучающихся
по дисциплине «Электромагнитная совместимость в электроэнергетических системах»
для студентов направления подготовки /специальности
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Невинномысск, 2026

Электромагнитная совместимость (ЭМС) является современным понятием, объединяющим электромагнитные явления, такие как радиопомехи, влияния на сеть, перенапряжения, колебания напряжения сети, паразитные связи, фон промышленной частоты и т.д. В последнее время вопросы ЭМС благодаря применению микроэлектроники в системах автоматизации, а также из-за повсеместного увеличивающегося электромагнитного загрязнения окружающей среды приобрели особое значение.

По своему содержанию дисциплина объединяет изучение способов и средств борьбы с помехами; вопросы нормального функционирования электронных систем и коммуникаций, систем автоматики, сетей и промышленных предприятий. Изучение дисциплины "Электромагнитная совместимость в электроэнергетике" предусматривает рассмотрение следующих тем:

основные определения; электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики; источники помех; чувствительные к помехам элементы; каналы передачи помех; уровни помех; помехоустойчивость; методы испытаний и сертификации элементов вторичных цепей на помехоустойчивость; влияние полей, создаваемых устройствами электроэнергетики на биологические объекты; нормы по допустимым напряженностям электрических и магнитных полей промышленной частоты для персонала и населения, Закон РФ об электромагнитной совместимости.

В настоящем указании приведена в конспективном порядке теория, касающаяся представления импульсных помех в частотной области, определения формы импульсной помехи по ее спектральной плотности распределения амплитуд, оценки уровней напряженности электрического и магнитного полей по методу Щелкунова (метод полных сопротивлений), в пространстве экрана. Кроме этого в указаниях приведены задания к выполнению контрольных и домашних работ.

Целью практических занятий является закрепление изучаемого теоретического материала, и изложенного в лекционном курсе. По данной дисциплине планируется 6 практических занятий по наиболее важным и трудным для самостоятельного изучения разделам.

По каждой теме дается теоретическая часть, позволяющая получить решение задач. Рассмотрены решения задач в общем виде и цифровом варианте. Некоторые решения сопровождаются построением диаграмм. Для ряда задач даются рекомендации и порядок расчета.

В конце каждого раздела даётся основная и дополнительная литература.

В методические указания включены задачи различной трудности, что позволяет учитывать количество часов, отведённых для изучения дисциплины, а также специфику специальностей, по которым обучаются студенты.

В конце каждой темы даны вопросы, ответы на которые позволяют более глубоко изучить рассматриваемый материал.

Практическое занятие №1

Описание помех в частотной и временной областях. Использование ЭМС - номограммы при описании помех.

Теоретическая часть

1. УРОВЕНЬ ПОМЕХ И КОЭФФИЦИЕНТ ЭКРАНИРОВАНИЯ

Для количественной оценки электромагнитной совместимости пользуются логарифмическими масштабами электрических и магнитных величин. Различают логарифм отношения уровней и степени передачи помехи.

Применяя десятичный логарифм, определим в децибелах напряжение, ток, напряженность полей, мощность, принимая базовыми величинами, соответственно $U_0=1$ мкВ, $I_0=1$ мкА, $E_0=1$ мкВ/м, $H_0=1$ мкА/м, $P_0=1$ пВт:

$$u = 20 \cdot \lg \left(\frac{U_x}{U_0} \right), \quad i = 20 \cdot \lg \left(\frac{I_x}{I_0} \right), \quad e = 20 \cdot \lg \left(\frac{E_x}{E_0} \right), \quad H = 20 \cdot \lg \left(\frac{H_x}{H_0} \right),$$
$$P = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_x}{P_0} \right).$$

Применяя натуральный логарифм, можно принимая те же базовые значения определить аналогичным образом отношение величин в неперах ($1 \text{ Нп}=8,686 \text{ дБ}$).

Уровнем помех называют относительное значение помехи, при этом предел ее допустимых уровней определяют в стандартах DIN/VDE, ГОСТ, ОСТ.

2. ОПИСАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЛИЯНИЙ

Описание электромагнитных влияний осуществляют в частотных и временных областях. Поскольку передаточные свойства путей связи и средств помехоподавления удобно представлять в частотной области, то для перехода из временной в частотную используют ряды и интегралы Фурье.

Для быстрой практической реализации преобразования Фурье используют ЭМС-номограмму. Она позволяет построить огибающую плотности распределения амплитуд, синтезировать импульс, эквивалентный помехе, учесть частотнозависимые свойства пути передачи и средства защиты.

Рассмотрим трапециевидный импульс, для которого плотность распределения амплитуд определяется выражением

$$U(f) = 2U_m \tau \frac{\sin \pi f \tau}{\pi f \tau} \frac{\sin \pi f \tau_k}{\pi f \tau_k}.$$

При $\tau_k=0$ трапециевидный импульс преобразуется в прямоугольный, при $\tau=0$ в треугольный. Таким образом, трапециевидный импульс включает большую часть встречающихся в практике импульсов.

ЭМС-номограмма базируется на аппроксимации огибающей плотности распределения амплитудной плотности тремя отрезками прямой.

Для низкочастотного диапазона $f < f_H$ ($f_H = 1/\pi\tau$) огибающая параллельна оси абсцисс, так как синус приблизительно равен своему аргументу:

$$U(f) = 2U_m \tau = \text{const}.$$

Плотность распределения амплитуд гармоник (в дБ) зависит исключительно от площади импульса:

$$U(f)_{\text{дБ}} = 20 \lg \left(\frac{2U_m \tau}{A_0} \right), \text{ где } A_0 = 1 \text{ мкВ} \cdot \text{с}$$

Для среднечастотного диапазона $1/\pi\tau < f < 1/\pi\tau_k$:

$$U(f) = \frac{2U_m \tau}{\pi f \tau} = \frac{2U_m}{\pi f},$$

то есть спад амплитуды с частотой составляет 20 дБ/декаду:

$$u(f)_{\text{дБ}} = 20 \lg \frac{2U_m}{\pi f A_0}.$$

В высокочастотном диапазоне $f > f_B$ ($f_B = 1/\pi\tau_k$)

$$U(f) = 2U_m \tau \frac{1}{\pi f \tau} \frac{1}{\pi f \tau_k},$$

или

$$u(f)_{дБ} = 20 \lg \frac{2U_m}{\pi^2 f^2 \tau_k A_0},$$

то есть 40 дБ/декаду.

Для перехода из частотной во временную область необходимо найти площадь импульса

$$U_m \tau = \frac{1}{2} 10^{\frac{u(f)_{дБ}}{20}} \text{ мкВ} \cdot \text{с},$$

плотность распределения амплитуд импульса

$$U = \frac{\pi f_H}{2} 10^{\frac{U(f_H)_{дБ}}{20}} \text{ мкВ},$$

крутизну фронта нарастания импульса

$$U_m / \tau_k = \frac{\pi^2 f_B^2}{2} 10^{U(f_B)^2_{дБ}/2} \text{ мкВ/с}.$$

Длительность импульса определится из соотношения

$$\tau = 1 / \pi f_H.$$

Время нарастания импульса

$$\tau_k = 1 / \pi f_B.$$

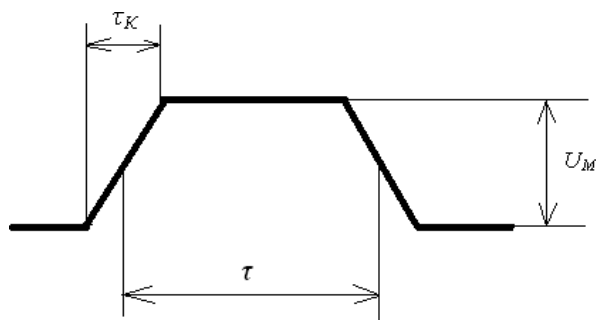


Рисунок - 1- Трапецивидный импульс.

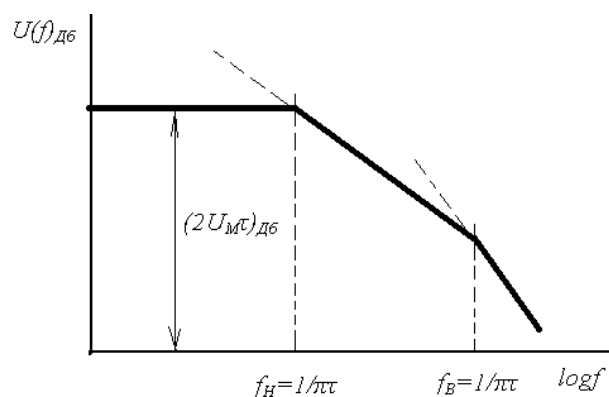


Рисунок 2 – Огибающая «физической» плотности распределения амплитуд трапецевидного импульса (линейная аппроксимация).

1.2.1. Логарифмические относительные характеристики. Уровни помех.

С применением десятичного логарифма определяются следующие уровни помех, измеряемые в децибелах:

Напряжение: $u_{dB} = 20 \lg(u_x / u_0)$, где $u_0 = 1 \text{ мкВ}$;

Ток: $i_{dB} = 20 \lg(i_x / i_0)$, где $i_0 = 1 \text{ мкА}$;

Напряженность электрического поля: $E_{dB} = 20 \lg(E_x / E_0)$, где $E_0 = 1 \text{ мкВ/м}$;

Напряженность магнитного поля: $H_{dB} = 20 \lg(H_x / H_0)$, где $H_0 = 1 \text{ мкА/м}$;

Мощность: $P_{dB} = 10 \lg(P_x / P_0)$, где $P_0 = 1 \text{ пВт}$.

Найдем выражение P_{dB} через u_{dB} и i_{dB} : $u_{dB} = 20 \lg(u_x / u_0)$, откуда $u_x = u_0 \times 10^{\frac{u_{dB}}{20}}$.

Аналогично $i_x = i_0 \times 10^{\frac{i_{dB}}{20}}$.

Следовательно $P_x = u_x \times i_x = u_0 i_0 \times 10^{\frac{u_{dB} + i_{dB}}{20}} = P_0 \times 10^{\frac{u_{dB} + i_{dB}}{20}}$, откуда $P_x / P_0 = 10^{\frac{u_{dB} + i_{dB}}{20}}$.

Но по определению $P_{dB} = 10 \lg(P_x / P_0) = 20 \lg(10^{\frac{u_{dB} + i_{dB}}{20}}) = (u_{dB} + i_{dB}) / 2$.

Кроме десятичных логарифмов используются также и натуральные логарифмы. При этом уровень помех измеряется в неперах:

Напряжение: $u_{Hp} = \ln(u_x / u_0)$, где $u_0 = 1 \text{ мкВ}$;

Ток: $i_{Hp} = \ln(i_x / i_0)$, где $i_0 = 1 \text{ мкА}$;

Напряженность электрического поля: $E_{Hp} = \ln(E_x / E_0)$, где $E_0 = 1 \text{ мкВ/м}$;

Напряженность магнитного поля: $H_{Hp} = \ln(H_x / H_0)$, где $H_0 = 1 \text{ мкА/м}$;

Мощность: $P_{Hp} = 0,5 \ln(P_x / P_0)$, где $P_0 = 1 \text{ пВт}$.

Между децибелом и непером существуют соотношения: $1 \text{ Нп} = 8,686 \text{ дБ}$ или $1 \text{ дБ} = 0,115 \text{ Нп}$.

Приведем наиболее часто используемые характерные значения дБ и соответствующие им отношения стоящие под знаком логарифма:

2:1 – 6 дБ; 10:1 – 20 дБ = 2,3 Нп; 100:1 – 40 дБ = 4,6 Нп; 1000:1 – 60 дБ = 6,9 Нп; 10 000:1 – 80 дБ = 9,2 Нп; 100 000:1 – 100 дБ = 11,5 Нп; 1000 000:1 – 120 дБ = 13,8 Нп.

Таким образом, при обоих представлениях уровень помехи увеличивается на одну и ту же величину с каждым последующим порядком. Обозначения дБ и Нп указывают исключительно на вид использованной функции логарифма (lg или ln). Данные обозначения не являются единицами, но часто используются как таковые.

1.2.2. Степень передачи. Помехоподавление

Одним из понятий, характеризующих степень передачи системы, является понятие «помехоподавление». Понятие «**помехоподавление**» служит для характеристики защитного воздействия средств защиты от помех. Как правило, степень помехоподавления зависит от частоты. В качестве одной из количественных характеристик степени помехоподавления на той или иной частоте служит логарифм отношения напряжений на входе U_1 и на выходе U_2 фильтра, который называется **коэффициент затухания a_ϕ** , или напряженности поля в точках пространства перед экраном H_0 и за ним H_{em} **коэффициент экранирования a_ε** :

$$a_\phi = 20 \lg(U_1 / U_2); \quad a_\varepsilon = 20 \lg(H_0 / H_{em}).$$

Задача 1. 1) Построить функцию спектральной плотности импульса трапецевидной формы

Решение:

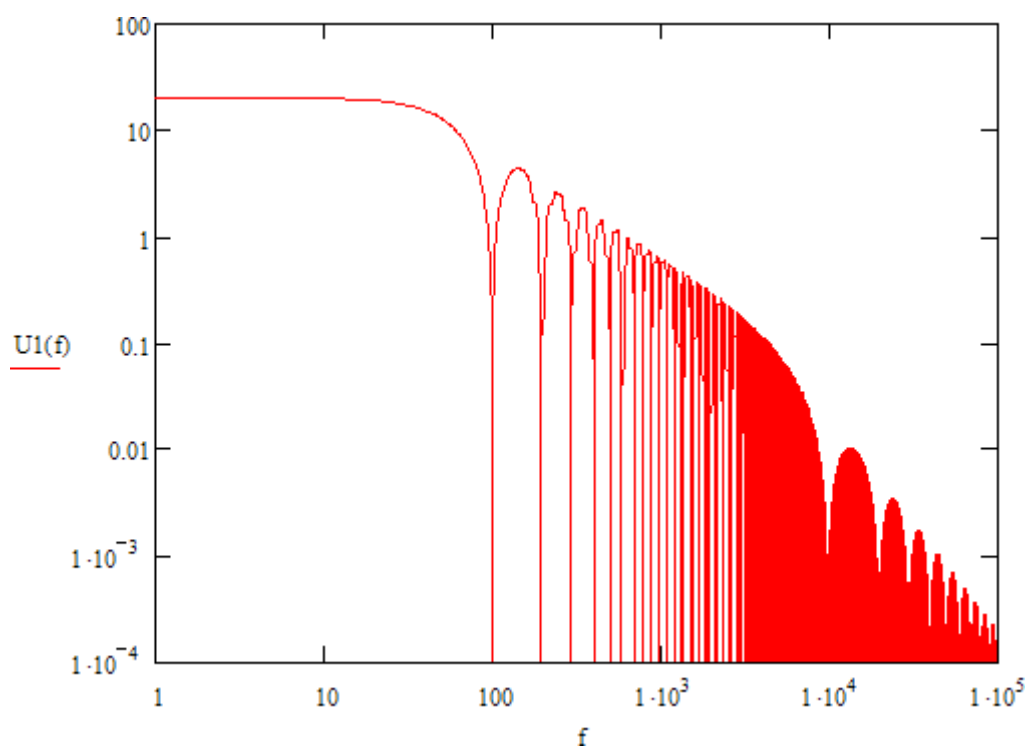
$$U(f) = 2U_m \tau \frac{\sin \pi f \tau}{\pi f \tau} \frac{\sin \pi f \tau_k}{\pi f \tau_k}$$

$$U_m := 100 \quad \tau := 0.01 \quad \tau_k := 0.000$$

$$U(f) := 2 \cdot U_m \cdot \tau \cdot \frac{\sin(\pi \cdot f \cdot \tau)}{\pi \cdot f \cdot \tau} \cdot \frac{\sin(\pi \cdot f \cdot \tau_k)}{\pi \cdot f \cdot \tau_k}$$

$$U1(f) := |U(f)|$$

$$f := 0..10000$$



б) Построить ЭМС-номограмму импульса

$$U_0 := 10^{-6} \text{ В}$$

$$U(f) = 2U_m \tau \frac{\sin \pi f \tau}{\pi f \tau} \frac{\sin \pi f \tau_k}{\pi f \tau_k}$$

$$U_m := 1000 \quad \tau := 0.01 \quad \tau_k := 0.0001$$

$$U(f) := 2 \cdot \frac{U_m}{U_0} \cdot \tau \cdot \frac{\sin(\pi \cdot f \cdot \tau)}{\pi \cdot f \cdot \tau} \cdot \frac{\sin(\pi \cdot f \cdot \tau_k)}{\pi \cdot f \cdot \tau_k}$$

$$U1(f) := 20 \cdot \log(|U(f)|)$$

$$f := 0..300000$$

Построить ЭМС-монограмму импульса с заданными параметрами – длительностью, крутизной фронта, амплитудой.

$$f_n := \frac{1}{\pi \cdot \tau}$$

$$f_b := \frac{1}{\pi \cdot \tau_k}$$

$$f_n = 31.831 \text{ Гц}$$

$$f_b = 3.183 \times 10^3 \text{ Гц}$$

$$f1 := 0, 1..f_n$$

$$U11(f1) := 20 \cdot \log \left(2 \cdot U_m \cdot \frac{\tau}{U_0} \right)$$

$$U11(0) = 146.021 \text{ В}$$

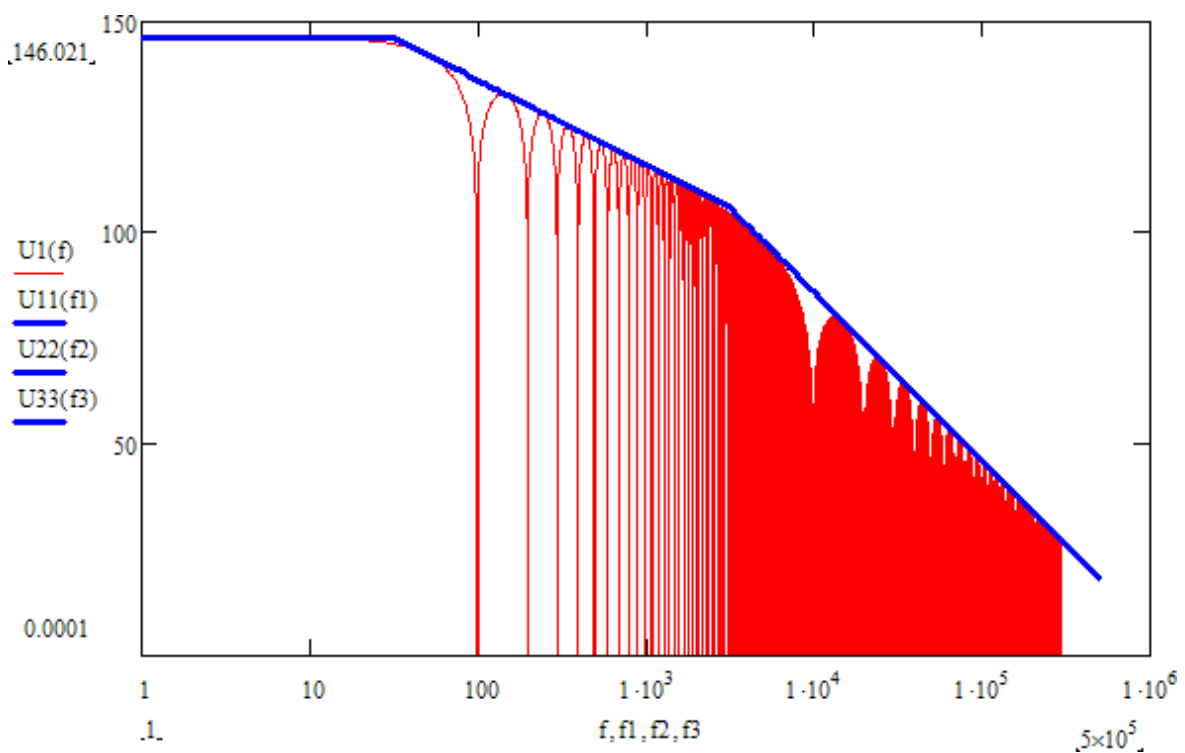
$$f2 := f_n, f_n + 10..f_b$$

$$U22(f2) := 20 \cdot \log \left(2 \cdot \frac{U_m}{\pi \cdot f2 \cdot U_0} \right)$$

$$f3 := f_b, f_b + 100..500000$$

$$U33(f3) := 20 \cdot \log \left(2 \cdot \frac{U_m}{\pi \cdot f3 \cdot \tau_k \cdot U_0} \right)$$

$$U33(f_b) = 106.021 \text{ В}$$



Задача 2.

Дан импульс трапецевидной формы рисунок амплитудой U_m длительностью τ и временем нарастания τ_k . Параметры импульса указаны в таблице. Требуется:

- а) аппроксимировать тремя отрезками прямых огибающую спектральной плотности распределения амплитуд;
- б) найти эффективную ширину Π полосы частот импульса;
- в) определить огибающую спектральной плотности распределения амплитуд

по прохождении импульса через канал передачи, имеющий амплитудно-частотную характеристику $A(f)_{\text{дБ}}$, представленную на рисунке, где a коэффициент затухания в дБ;

- г) найти амплитуду U_m , длительность τ , время нарастания τ_k , крутизну фронта

U_m/τ импульса по данным спектральной плотности распределения амплитуд,

полученной в пункте в). Построить этот импульс в системе координат U, t .

Решение:

Для быстрой практической реализации преобразования Фурье используют ЭМС-номограмму. Она позволяет построить огибающую плотности распределения амплитуд, синтезировать импульс, эквивалентный помехе, учесть частотнозависимые свойства пути передачи и средства защиты.

Рассмотрим трапецевидный импульс, для которого плотность распределения амплитуд определяется выражением

$$U(f) = 2U_m \tau \frac{\sin \pi f \tau}{\pi f \tau} \frac{\sin \pi f \tau_k}{\pi f \tau_k} \quad (1)$$

При $\tau_k=0$ трапециевидный импульс преобразуется в прямоугольный, при $\tau=0$ в треугольный. Таким образом, трапециевидный импульс включает большую часть встречающихся в практике импульсов.

ЭМС-номограмма базируется на аппроксимации огибающей плотности распределения амплитудной плотности тремя отрезками прямой.

Для низкочастотного диапазона $f < f_H$ ($f_H = 1/\pi\tau$) огибающая параллельна оси абсцисс, так как синус приблизительно равен своему аргументу:

$$U(f) = 2U_m\tau = \text{const} \quad (2)$$

Плотность распределения амплитуд гармоник (в дБ) зависит исключительно от площади импульса:

$$U(f)_{\text{дБ}} = 20\lg \left(\frac{2U_m\tau}{A_0} \right), \text{ где } A_0 = 1 \text{ мкВ}\cdot\text{с} \quad (3)$$

Для среднечастотного диапазона $1/\pi\tau < f < 1/\pi\tau_k$:

$$U(f) = \frac{2U_m\tau}{\pi f\tau} = \frac{2U_m}{\pi f} \quad (4)$$

то есть спад амплитуды с частотой составляет 20 дБ/декаду:

$$u(f)_{\text{дБ}} = 20\lg \frac{2U_m}{\pi f A_0} \quad (5)$$

В высокочастотном диапазоне $f > f_B$ ($f_B = 1/\pi\tau_k$)

$$U(f) = 2U_m \tau \frac{1}{\pi f\tau} \frac{1}{\pi f\tau_k} \quad (6)$$

или

$$u(f)_{\text{дБ}} = 20\lg \frac{2U_m}{\pi^2 f^2 \tau_k A_0} \quad (7)$$

то есть спад с ростом частоты составляет 40 дБ/декада.

Для перехода из частотной области во временную область необходимо найти площадь импульса

$$U_m\tau = \frac{1}{2} 10^{\frac{u(f)_{\text{дБ}}}{20}} \text{ мкВ}\cdot\text{с} \quad (8)$$

плотность распределения амплитуд импульса

$$U = \frac{\pi f_H}{2} 10^{\frac{U(f_H)}{20} \text{ Дб}} \text{ мкВ} \quad (9)$$

крутизну фронта нарастания импульса

$$\frac{U_m}{\tau_k} = \frac{\pi^2 f_B}{2} 10^{\frac{U(f_B)}{20} \text{ Дб}} \text{ мкВ/с} \quad (10)$$

Длительность импульса определится из соотношения

$$\tau = \frac{1}{\pi f_H} \quad (11)$$

Время нарастания импульса

$$\tau_k = \frac{1}{\pi f_B} \quad (12)$$

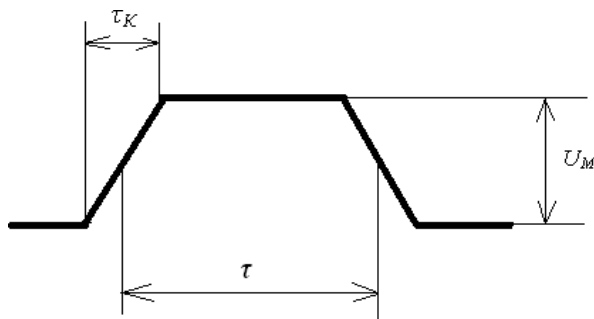


Рисунок 1- Трапецивидный импульс.

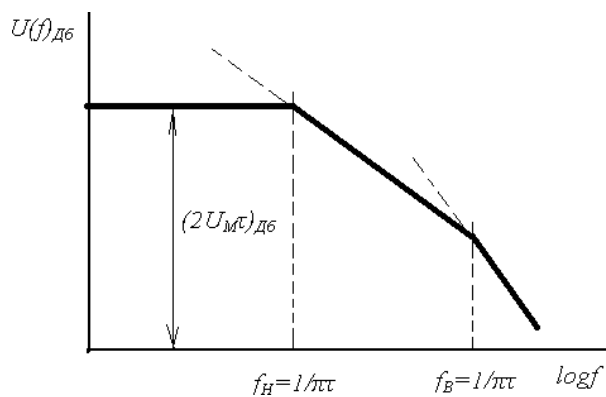


Рисунок 2 – Огибающая «физической» плотности распределения амплитуд трапецивидного импульса (линейная аппроксимация).

Дано

Алгоритм:

$$U_m := 4 \text{ В} \quad \tau := 0.02 \text{ нс} \quad \tau_k := 0.0001 \text{ нс} \quad U_0 := 10^{-6} \text{ В}$$

Построить ЭМС-монограмму импульса с заданными параметрами – длительностью, крутизной фронта, амплитудой.

$$f_n := \frac{1}{\pi \cdot \tau}$$

$$f_b := \frac{1}{\pi \cdot \tau_k}$$

$$f_n = 15.915 \text{ Гц}$$

$$f_b = 3.183 \times 10^3 \text{ Гц}$$

$$f_1 := 0, 1..f_n$$

$$U_1(f_1) := 20 \cdot \log \left(2 \cdot U_m \cdot \frac{\tau}{U_0} \right)$$

$$U_1(0) = 104.082 \text{ В}$$

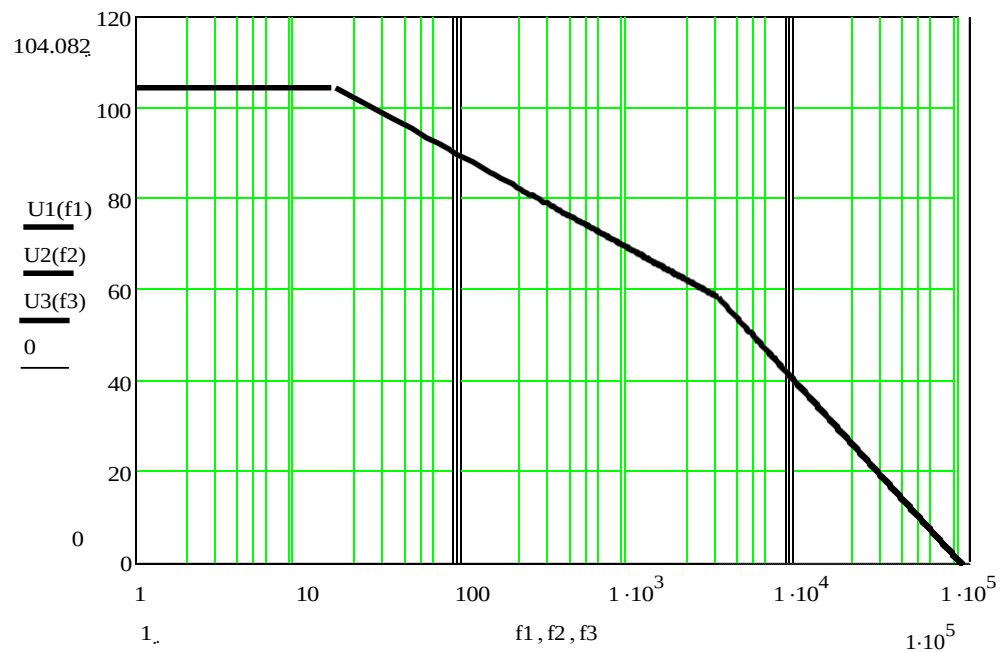
$$f_2 := f_n, f_n + 10..f_b$$

$$U_2(f_2) := 20 \cdot \log \left(2 \cdot \frac{U_m}{\pi \cdot f_2 \cdot U_0} \right)$$

$$f_3 := f_b, f_b + 100..500000$$

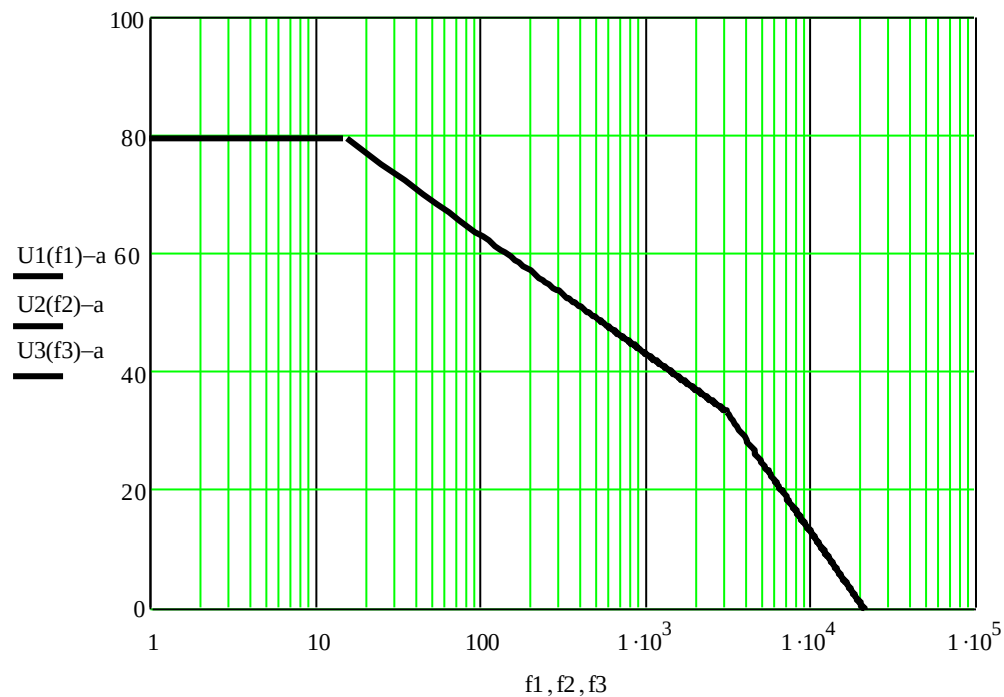
$$U_3(f_3) := 20 \cdot \log \left(2 \cdot \frac{U_m}{\pi \cdot f_3^2 \cdot \tau_k \cdot U_0} \right)$$

$$U_3(f_b) = 58.062 \text{ В}$$



Изобразить ЭМС-монограмму данного импульса, прошедшего через фильтр с коэффициентом ослабления α

a := 25



Найти параметры импульса — длительность, крутизну фронта, амплитуду.

$$\tau := \frac{1}{\pi \cdot f_n}$$

$$\tau = 0.02 \text{ нс}$$

$$U := 10^{\frac{1 \cdot (U_1(0) - a)}{20}} \cdot \frac{\pi \cdot f_n \cdot 10^{-6}}{2}$$

$$U = 0.225 \text{ А}$$

$$\tau_k := \frac{1}{\pi \cdot f_b}$$

$$\tau_k = 1 \times 10^{-4} \text{ нс}$$

$$U_{m\tau} := 10^{\frac{1 \cdot (U_1(0) - a)}{20}} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-6}}{2}$$

$$U_{m\tau} = 4.499 \times 10^{-3} \text{ А}$$

$$U_{mk} := 10^{\frac{1 \cdot (U_3(f_b) - a)}{20}} \cdot \frac{\pi^2 \cdot f_b^2 \cdot 10^{-6}}{2}$$

$$U_{mk} = 2.249 \times 10^3 \text{ А/с}$$

Построить этот импульс в системе координат U, t .

$$t1 := 0, 1 \cdot 10^{-6} .. \tau k$$

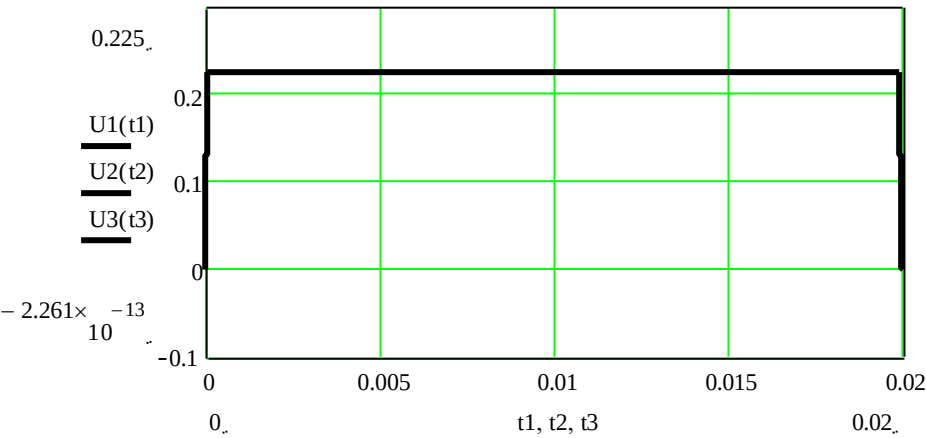
$$\underline{\underline{U1(t1)}} := Umtk \cdot t1$$

$$t2 := \tau k, \tau k + 0.000001 .. \tau - \tau k$$

$$\underline{\underline{U2(t2)}} := U0$$

$$t3 := \tau - \tau k, \tau - \tau k + 0.000001 .. \tau$$

$$\underline{\underline{U3(t3)}} := U0 - Umtk \cdot (t3 - \tau + \tau k)$$



Практическое занятие №2

Расчет гальванической, емкостной и индуктивной связей и методы их нейтрализации.

Теоретическая часть

2.2. Физические механизмы гальванической связи

Гальваническая связь возникает, если некоторое полное сопротивление оказывается общим для двух или нескольких контуров. Различают гальваническую связь между контурами заземления (рисунок 2) и через цепь общего питания от одного источника (рисунок 3).

Если два или несколько контуров имеют общее сопротивление, например, в общем проводе, то падение напряжения на нем проявляется в другом контуре как напряжение противофазной помехи.

Типичными примерами первого типа связи являются воздействие на сеть коммутационной аппаратуры и выпрямителей, изменения тока при переключении цифровых цепей и включение катушек реле и контакторов, токи в проводящих проводах коллекторных двигателей. и т.д.

Связь через контур заземления возникает всегда, когда синфазные напряжения вызывают нежелательные токи через неоднократно заземленные нулевые провода, кабельные экраны, корпуса измерительных приборов и т.д (рисунок 2).

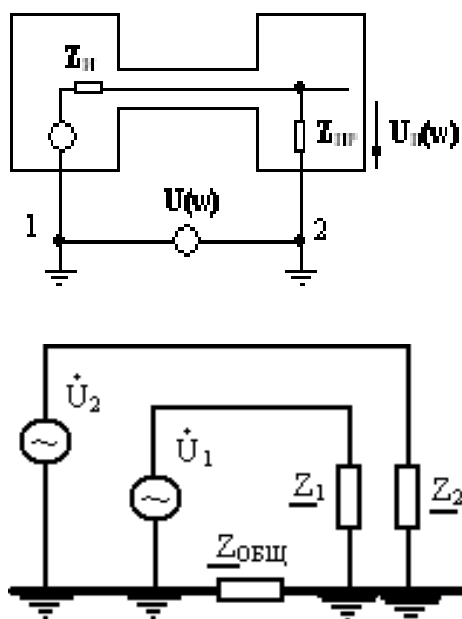


Рисунок 2 – Гальваническая связь через контур заземления.

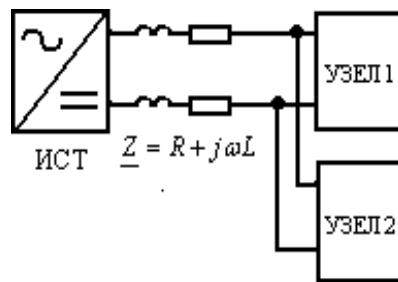


Рисунок 3 – Гальваническая связь через цепи питания.

2.3. Способы нейтрализации

Для нейтрализации гальванической связи (осуществление гальванической развязки цепей), очевидно, необходимо:

- а) уменьшить общее полное сопротивление соединительных проводов электропитания, посредством уменьшения их длины, увеличения диаметра, применения материала с более высокой удельной проводимостью),
- б) использовать функциональные узлы с более высоким питающим напряжением для снижения тока и уменьшения тем самым падения напряжения на общем сопротивлении, применять стабилизаторы для каждого устройства отдельно,
- в) использовать отдельные соединительные провода для каждого устройства, уменьшая тем самым величину общего полного сопротивления.

Контур заземления или петли относятся к наиболее часто встречающимся причинам электромагнитных влияний, возникающих посредством гальванической связи. Для их устранения на практике используют разделительные и нейтрализующие трансформаторы. Включение разделительных трансформаторов показано на рисунке 4. Очевидно, при включении разделительного трансформатора цепь оказывается гальванически разомкнутой по постоянному току. Однако не следует забывать, что с ростом частоты сигнала помехи возрастает электрическая емкость между обмотками трансформатора. Если развязка электрической цепи по постоянному току недопустима, то используют нейтрализующие трансформаторы, схема их включения приведена на рисунке 5.

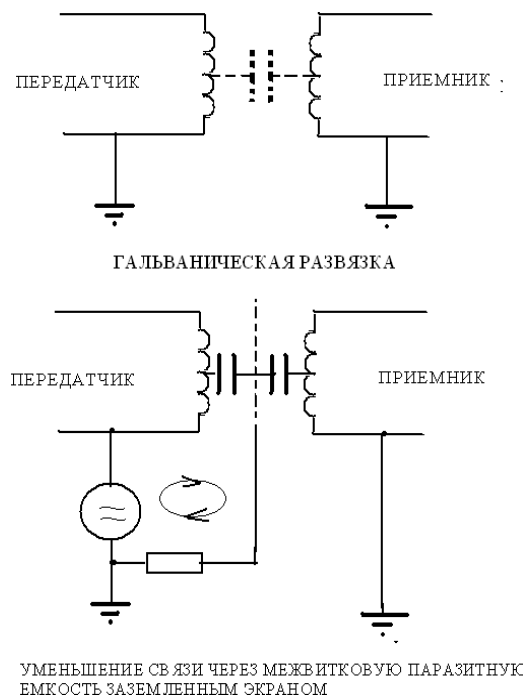


Рисунок 4 - Включение разделительных трансформаторов.

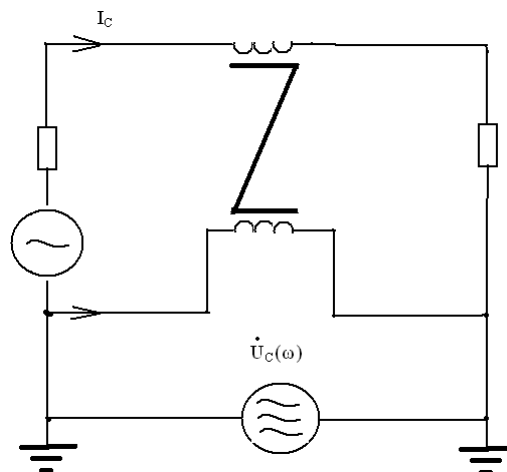


Рисунок 5 - Нейтрализующий трансформатор для разрыва контура заземления.

С появлением микроэлектроники большое распространение для разрыва гальванической связи получили оптроны и световодные длинные линии в цепях управления и передачи информации.

Для ослабления помех, идущих по проводам используют также следующие пассивные помехозащитные устройства.

Фильтры ослабляют распространение помех вдоль проводящих линий. Их беспроblemное определение предполагает, что спектр частот полезного сигнала отдален от спектра частот помехи на половину ширины полосы пропускания или более. Пассивные фильтрующие компоненты образуют совместно с полным сопротивлением источника и приемника помех делитель с частотно-зависимым коэффициентом.

Топология фильтра существенно зависит от природы помехи. Симметричное напряжение получается как разность несимметричных напряжений рис. 6:

$$U_{\text{НЕСИМ}}^{(1)} - U_{\text{НЕСИМ}}^2 + U_{\text{СИМ}} = 0 \quad (2.7)$$

или

$$U_{\text{СИМ}} = U_{\text{НЕСИМ}}^2 - U_{\text{НЕСИМ}}^1 \quad (2.8)$$

Из схемы замещения рис.6 можно определить способы закорачивания соответствующих помех при высокой частоте, схемотехническая реализация его приведена на рисунке 7.

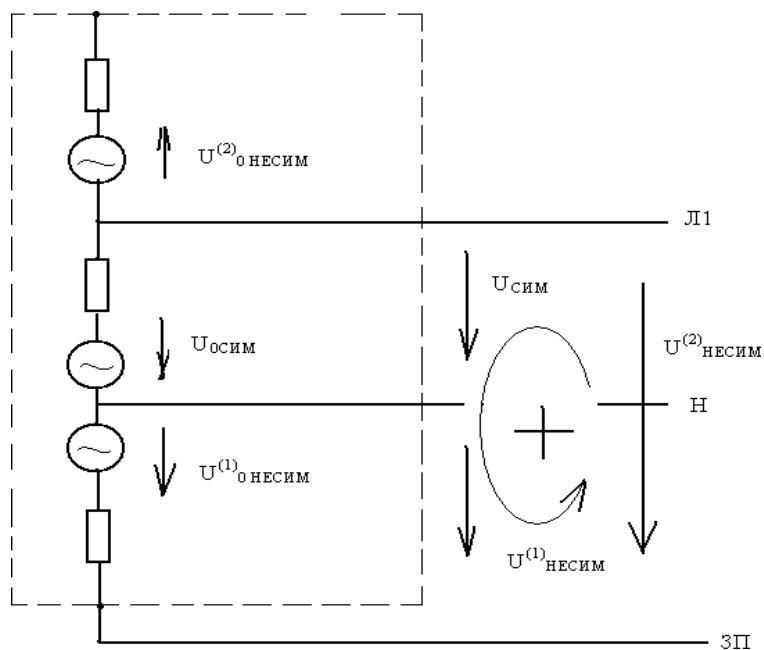
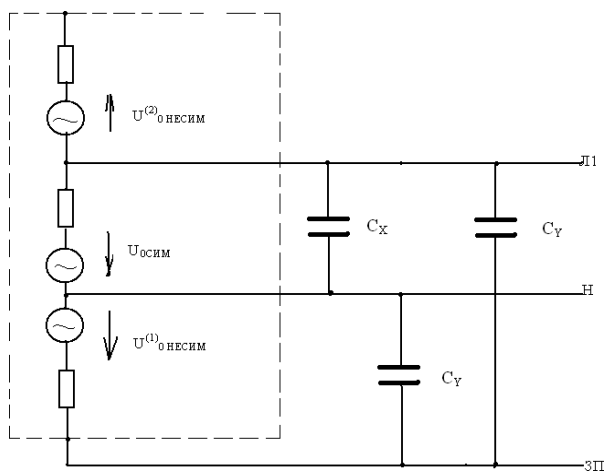


Рисунок 6 –Схемы замещения источников помех с симметричными и несимметричными напряжениями помехи.



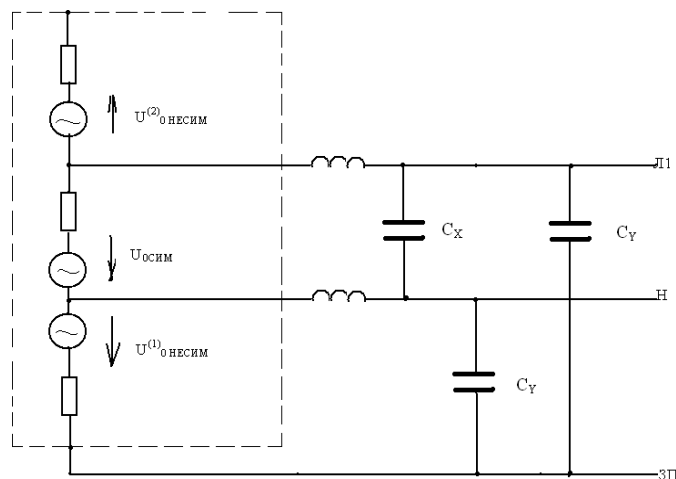


Рисунок 7. Подавление источника противофазных и синфазных помех конденсаторами и конденсаторами с предвключенными катушками индуктивности.

При высокой частоте три источника помех (рис.7) могут быть закорочены конденсаторами. При малых сопротивлениях источников устранение помех требует чрезмерно больших емкостей. Что устраняется предвключением катушек индуктивности.

Конденсаторы являются наиболее часто применяемыми средствами подавления помех. Многие задачи требуют одновременного подавления симметричных и несимметричных помех. Для этого имеются различные помехоподавляющие конструкции (рис. 8.).

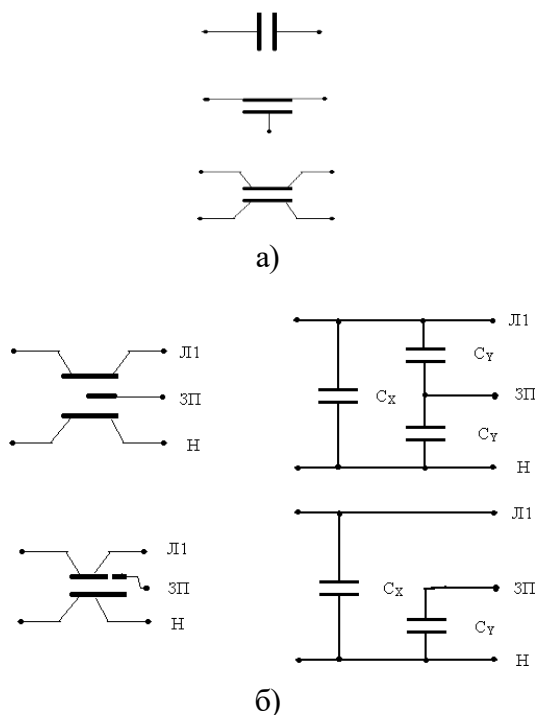


Рисунок 8 – а) Способы уменьшения собственной индуктивности конденсаторов (уменьшение индуктивности - сверху вниз).б) Многозвенные помехозащищающие конденсаторы и схемы их замещения.

В заключение приведем типовые схемы фильтров фирмы «Siemens».

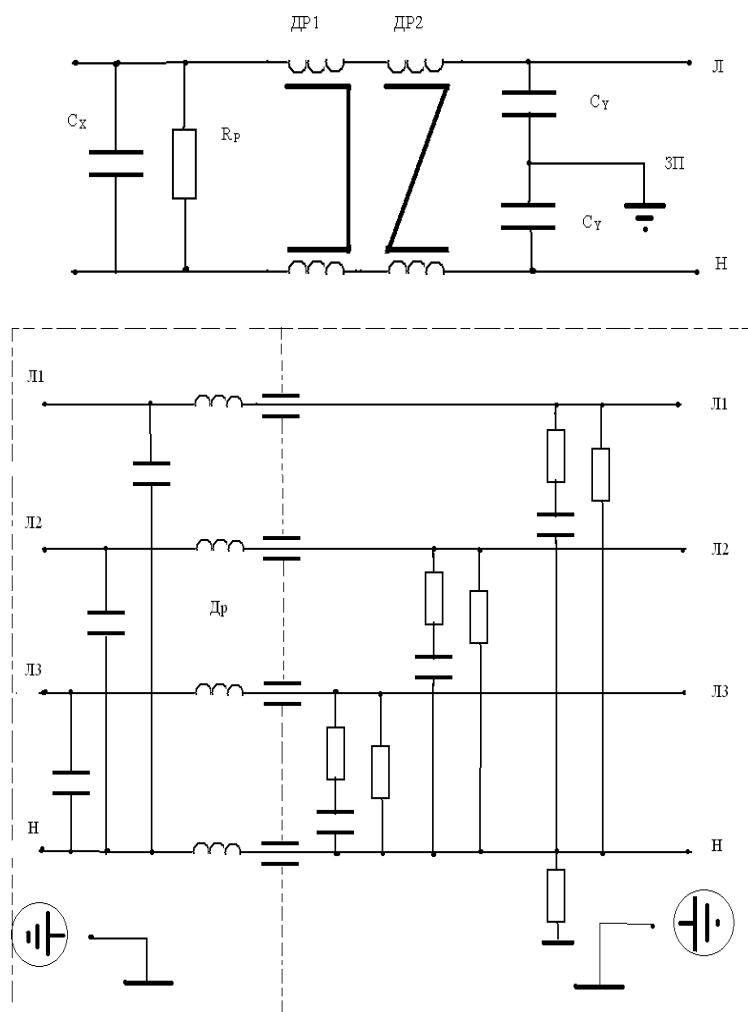


Рисунок 9 – Типовые схемы фильтров.

Задачи

Задача 1. Для схемы на рис. 1. напряжение между точками 1 и 2 при длине провода 10 см, погонной индуктивности 5 мкГн/м , сопротивлении 1 МОм , токе $\Delta i = 1 \text{ А}$ и времени $\Delta t = 1100 \text{ нс}$ напряжение помехи составит?

Задача 2. Принимая радиус провода равным 5 мм и варьируя высоту провода над поверхностью земли в диапазоне от 25 см до 25 м (что эквивалентно размещению

обратного провода, т.е. отражению проводника в земле, на расстоянии от 0,5 до 50 м), при $\mu = \mu_0$ определить значение индуктивности петли.

Задача 3. Определить индуктивность линии с плоскими расположенными близко друг к другу проводниками прямоугольного сечения (рис. 3.5,6) (полагая $d \ll b$ и $d \ll a$, что часто приемлемо на практике) - по выражению

$$L = l(2\mu_0 / \pi) \ln \left(1 + \frac{1}{1 + a/b} \right).$$

Задача 4. Найти максимально возможное напряжение помехи определяется по формуле:

$$u_{st \max} = R_Q C_{13} \left| \frac{\Delta i}{\Delta t} \right|.$$

В простейшем случае проводники диаметром D и длиной l , расположенные параллельно друг другу на расстоянии d имеют емкость связи

$$C_{13} = \frac{\pi \epsilon_0 \epsilon_r l}{\ln[d/D + \sqrt{(d/D)^2 - 1}]}. \text{ Например, при } C_{13} = 100 \text{ пФ/м, } r_q = 50 \text{ Ом, } l = 0,1 \text{ м и } \Delta u / \Delta t = 4 \text{ В/нс.}$$

Задача 4. В длинных заземленных с одной стороны сигнальных линиях при появлении изменяющегося во времени напряжения Δu протекает ток помехи i_{st} , обусловленный емкостями C_1 и C_2 , и вследствие несимметрии относительно земли часть синфазного напряжения Δu и преобразуется в противофазное напряжение u_{st} суммирующееся с напряжением сигнала, поступающего от источника (рис. 3.19, а). Принимая напряжение Δu изменяющимся по синусоидальному закону, например с частотой сети, можно записать выражение для напряжения помехи (рис. 3.19, б):

$$U_{st} = \Delta U / \sqrt{1 + (2\pi f C_1 R_Q)^2} \quad (3.15)$$

Например, при $\Delta U = 100 \text{ В, } f = 50 \text{ Гц, } C_1 = 2000 \text{ пФ и } R_Q = 150 \text{ Ом}$ напряжение помехи составляет 9,4 мВ.

Задача 5.

Взаимная индуктивность зависит от конфигурации и размеров контуров, и для показанных на рис. 3.22, а. контуров она рассчитывается как:

$$L_{12} = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln \left[1 + \left(\frac{a}{d} \right)^2 \right].$$

Погонная взаимная индуктивность в зависимости от отношения a/d может быть определена. Найти напряжение помехи при $l = 1 \text{ м, } a/d = 0,1$ и $\Delta i / \Delta t = 1000 \text{ А/с}$.

Задача 6. Разряд статического электричества на проводящий корпус прибора C (рис. 3.). В контуре, находящемся внутри прибора и удаленном от проводника с током разряда i_{ESD} на среднее расстояние r_0 , индуцируется напряжение

$$u_{st} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{al}{r_0} \frac{\Delta i}{\Delta t}, \text{ где } l \text{ и } a - \text{длина и ширина контура}$$

соответственно.

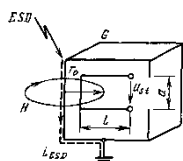


Рисунок 3.

Например, при $a = l = 1 \text{ см, } r_0 = 5 \text{ см}$ и скорости изменения тока во времени 10 А/нс , возможной при разряде статического электричества, найти напряжение помехи.

Практическое занятие № 3

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ШУМОВ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

Задача 1

Паразитная емкость C_{12} между проводниками 1 и 2 составляет 50 пФ (рис. 21). Емкость проводников относительно земли $C_{13} = C_{23} = 150$ пФ. По первому проводнику передается гармонический сигнал с частотой 100 кГц при ЭДС источника, равной 10 В. Внутреннее сопротивление источника шумов $r_{вн}$ равно нулю. Гармонический сигнал наводит на втором проводнике напряжение шумов.

Определить напряжение шумов, наводимых на входе измерительного устройства $R_{вх}$, подключенного к проводнику 2, если его входное сопротивление в первом варианте $R_{вх} \rightarrow \infty$; во втором варианте $R_{вх} = 1$ кОм и в третьем варианте $R_{вх} = 50$ Ом.

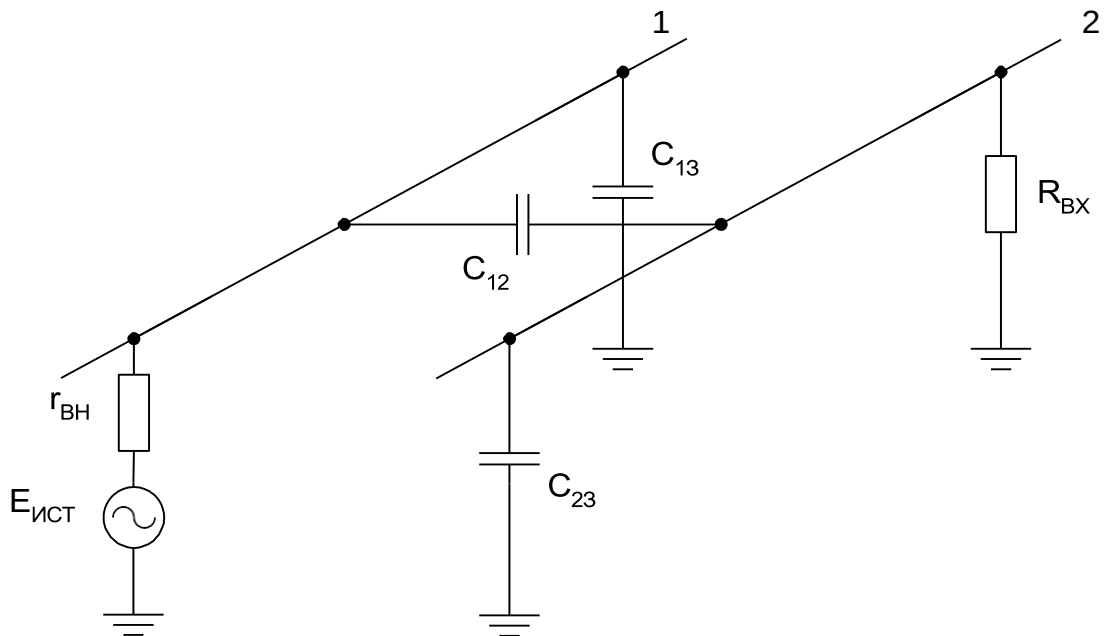


Рис. 21. Схема замещения участка электрической цепи

Расчетная схема замещения, соответствующая схеме, изображенной на рис. 21, представлена на рис. 22. В ней отсутствует резистор $r_{вн}$, так как падение напряжения на нем равно нулю ($r_{вн} = 0$), а следовательно, напряжение на первом проводнике относительно «земли» будет равно ЭДС источника сигнала. По этой же причине не учитывается наличие емкости C_{13} , так как ток, проходящий через эту емкость и резистор $r_{вн}$, не влияет на потенциал первого проводника.

Решение

Напряжение шумов на входном сопротивлении измерительного устройства $R_{вх}$ определяется соотношением величин C_{12} и эквивалентного

сопротивления z_{23} , образованного параллельно соединенными емкостью C_{23} и входным сопротивлением $R_{\text{вх}}$ измерительного устройства:

$$z_{23} = \left(\frac{1/j\omega C_{23}}{1/j\omega C_{23} + R_{\text{вх}}} \right) = \left(\frac{R_{\text{вх}}}{1 + j\omega C_{23} R_{\text{вх}}} \right). \quad (4.1)$$

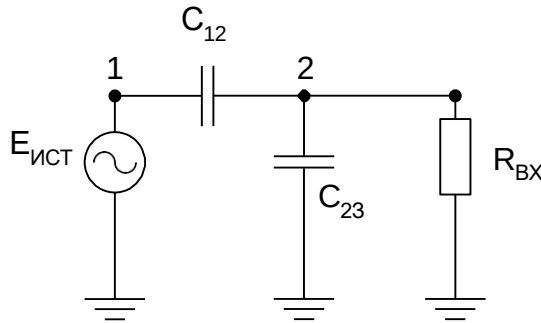


Рис. 22. Эквивалентная расчетная схема

Полное сопротивление расчетной схемы

$$z_0 = \frac{1}{j\omega C_{12}} + z_{23} = \frac{(1 + j\omega C_{23} R_{\text{вх}}) + R_{\text{вх}} j\omega C_{12}}{j\omega C_{12} \cdot (R_{\text{вх}} j\omega C_{23} + 1)} = \frac{R_{\text{вх}} j\omega (C_{12} + C_{23}) + 1}{j\omega C_{12} (R_{\text{вх}} j\omega C_{23} + 1)} \quad (4.2)$$

формирует ток шумов

$$I_{\text{ш}} = E_{\text{ист}} / z_0 = (E_{\text{ист}} j\omega C_{12} (R_{\text{вх}} j\omega C_{23} + 1)) / (R_{\text{вх}} j\omega (C_{12} + C_{23}) + 1). \quad (4.3)$$

При этом напряжение шумов

$$U_{\text{ш}} = I_{\text{ш}} z_{23} = \frac{j\omega C_{12} R_{\text{вх}} E_{\text{ист}}}{1 + j\omega (C_{12} + C_{23}) R_{\text{вх}}}. \quad (4.4)$$

Если

$$R_{\text{вх}} \gg \left| \frac{1}{j\omega (C_{12} + C_{23})} \right|, \quad (4.5)$$

напряжение шумов может быть вычислено по упрощенной формуле (3.4**)

$$U_{\text{ш}} = \frac{C_{12} \cdot E_{\text{ист}}}{C_{12} + C_{23}}. \quad (4.6)$$

Если

$$R_{\text{вх}} \ll \left| \frac{1}{j\omega (C_{12} + C_{23})} \right|, \quad (4.7)$$

напряжение шумов рассчитывается по формуле (3.4*):

$$U_{\text{ш}} = j\omega C_{12} R_{\text{вх}} E_{\text{ист}}. \quad (4.8)$$

Во всех остальных случаях при определении напряжения шумов используется полное выражение (4.4).

По условию задачи

$$\left| \frac{1}{j\omega \cdot (C_{12} + C_{23})} \right| = \frac{1}{\omega \cdot (C_{12} + C_{23})} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot (50 + 150) \cdot 10^{-12}} = \frac{1}{0,1256} \cdot 10^3 \approx 10^4 \text{ Ом}$$

Для $R_{\text{вх}} \rightarrow \infty$ напряжение шумов определяется по формуле (4.6):

$$U = \frac{50 \cdot 10^{-12} \cdot 10 \cdot e^{j0}}{50 \cdot 10^{-12} + 1,5 \cdot 10^{-10}} \approx 2,5 \cdot e^{j0} \text{ В.}$$

Для $R_{\text{вх}}=50 \text{ Ом}$, много меньше 10^4 Ом , напряжение шумов определяется выражением (4.8):

$$U = j \cdot 2\pi \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 50 \cdot 10^{-12} \cdot 50 \cdot 10 \cdot e^{j0} = 0,016 \cdot e^{j90} \text{ В.}$$

Для $R_{\text{вх}}=1000 \text{ Ом}$, меньше 10^4 Ом , напряжение шумов также можно определить по формуле (4.8) :

$$U = j \cdot 2\pi \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 50 \cdot 10^{-12} \cdot 1000 \cdot 10 \cdot e^{j0} \approx 0,314 \cdot e^{j90} \text{ В.}$$

Модули напряжений шумов (фаза напряжений может не учитываться), вычисленных по полной расчетной формуле (4.4), соответственно равны:

$$|U| = \left| \frac{j \cdot 2\pi \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 50 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{100} \cdot 10 \cdot e^{j0}}{1 + j2\pi \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot (50 \cdot 10^{-12} + 1,5 \cdot 10^{-10}) \cdot 10^{100}} \right| \approx 2,5 \text{ В;}$$

$$|U| = \left| \frac{j \cdot 2\pi \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 50 \cdot 10^{-12} \cdot 50 \cdot 10 \cdot e^{j0}}{1 + j2\pi \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot (50 \cdot 10^{-12} + 1,5 \cdot 10^{-10}) \cdot 50} \right| = |0,016 \cdot e^{j89}| = 0,016 \text{ В;}$$

$$|U| = \left| \frac{j \cdot 2\pi \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 50 \cdot 10^{-12} \cdot 1000 \cdot 10 \cdot e^{j0}}{1 + j2\pi \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot (50 \cdot 10^{-12} + 1,5 \cdot 10^{-10}) \cdot 1000} \right| = |0,312 \cdot e^{j83}| = 0,312 \text{ В.}$$

Анализ результатов вычислений свидетельствует о том, что в первом и в третьем вариантах расчетные величины, полученные по упрощенной и полной формулам, полностью совпадают. Некоторое отличие результатов во втором варианте объясняется неполным соответствием условию (выражение 4.7).

Ответ: напряжение шумов на входе измерительного устройства

1) 2,5 В; 2) 0,312 В; 3) 0,016 В.

Задача 2

Емкость C_{12} между двумя проводниками (рис. 23), один из которых помещен в заземленный металлический экран из немагнитного материала, составляет 2 пФ, емкость между первым проводником и экраном $C_{1Э}$ равна 50 пФ, между первым проводником и «землей» C_{13} – 150 пФ. Емкость между вторым проводником и «землей» C_{23} равна 5 пФ, емкость между вторым проводником и экраном $C_{2Э}$ – 100 пФ, емкость между экраном и «землей» $C_{Э3}$ – 300 пФ. К первому проводнику подключен источник гармонического сигнала, ЭДС которого равна 10 В, при частоте 100 кГц. Внутреннее сопротивление источника сигнала равно нулю. Этот гармонический сигнал наводит на втором проводнике напряжение шумов.

Определить напряжение шумов на входе измерительного устройства $R_{\text{вх}}$, соединенного со вторым проводником, если:

1) $R_{\text{вх}} \rightarrow \infty$; 2) $R_{\text{вх}}=10 \text{ кОм}$; 3) $R_{\text{вх}}=1 \text{ кОм}$; 4) $R_{\text{вх}}=50 \text{ Ом}$.

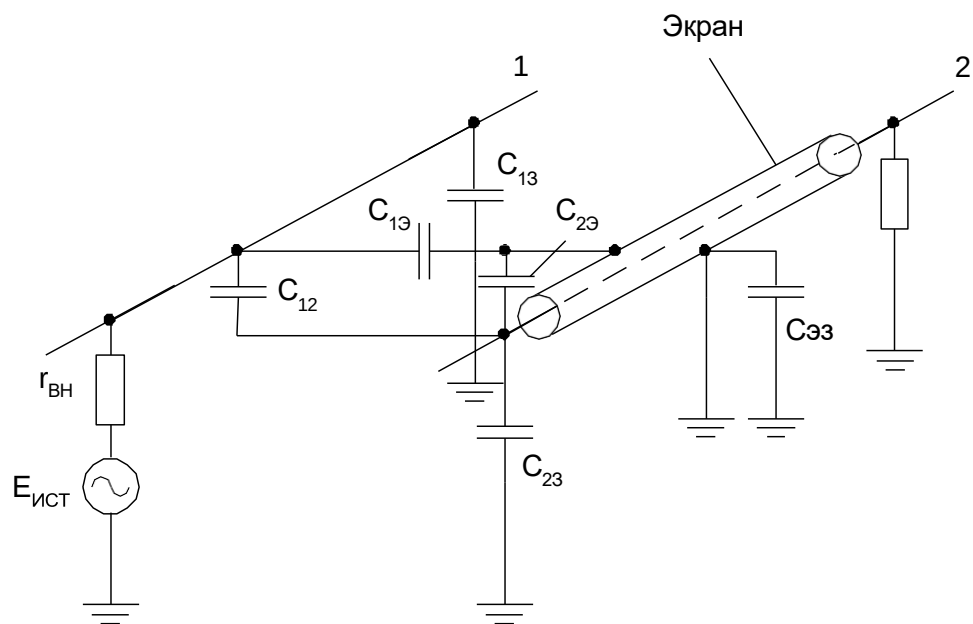


Рис. 23. Схема замещения участка электрической цепи, снабженной проводящим заземленным немагнитным экраном

Для упрощения анализа схемы замещения следует использовать схему, изображенную на рис. 24.

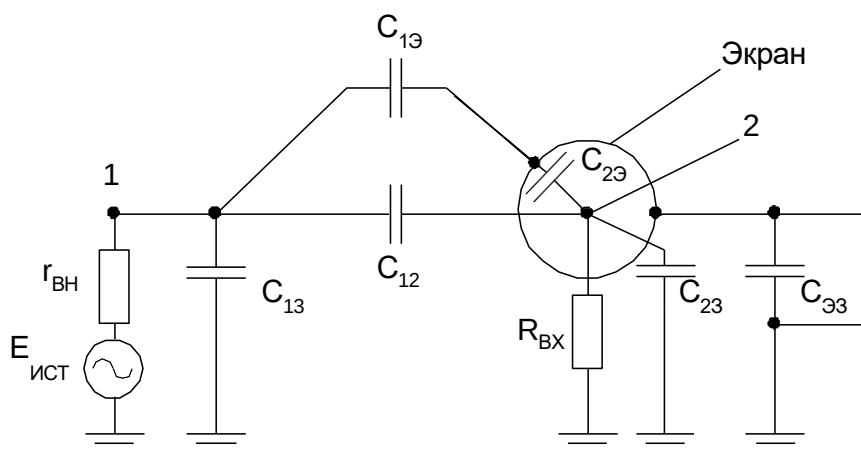


Рис. 24. Эквивалентная схема замещения участка цепи с проводящим заземленным экраном

Расчетная схема замещения, соответствующая схеме, изображенной на рис. 23 и 24, представлена на рис. 25. В ней так же, как и в ранее рассмотренной задаче, отсутствует сопротивление $r_{ВН}$, так как падение напряжения на нем равно нулю, а следовательно, напряжение на первом проводнике относительно «земли» будет равно ЭДС источника сигнала, являющегося электромагнитным шумом для устройств, соединенных со вторым проводником. По этой же причине не учитывается наличие емкости C_{13} и емкости первого проводника относительно заземленного экрана, так как ток, проходящий через эти емкости и сопротивление $r_{ВН}$, не влияет на

потенциал первого проводника. Емкости первого проводника относительно «земли» C_{13} и $C_{1Э}$, а также сопротивление изоляции первого проводника на «землю» (на схеме не показано) вводятся в состав расчетной схемы в том случае, если внутреннее (выходное) сопротивление источника напряжения шумов $r_{вн}$ будет отлично от нуля (3.5). Емкость между экраном и «землей» $C_{ЭЗ}$ не представлена в схеме замещения, так как она шунтируется накоротко цепью заземления экрана.

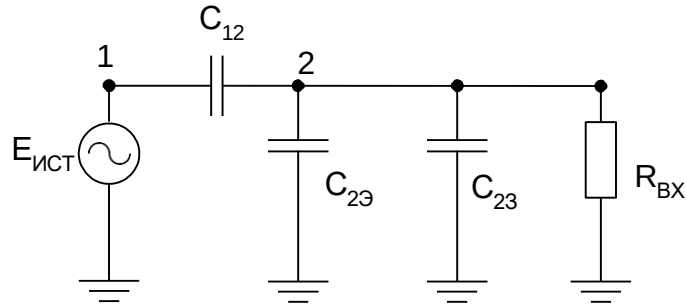


Рис. 25. Расчетная схема участка цепи с заземленным экраном

Решение

Так же, как и в задаче 1, напряжение шумов на входном сопротивлении измерительного устройства $R_{ВХ}$ определяется соотношением величин C_{12} и эквивалентного сопротивления, образованного параллельно соединенными емкостями C_{23} , $C_{2Э}$ и входным сопротивлением $R_{ВХ}$ измерительного устройства:

$$\dot{U} = \frac{j\omega C_{12} R_{\text{вх}} \dot{E}_{\text{ист}}}{1 + j\omega(C_{12} + C_{23} + C_{2Э})R_{\text{вх}}} \quad (4.9)$$

Напряжение шумов для 1-го и 4-го вариантов задачи ($R_{ВХ} \rightarrow \infty$; $R_{ВХ} = 50$ Ом) может быть определено по упрощенным формулам (аналогичным выражениям 4.6 и 4.8).

Для $R_{ВХ} \rightarrow \infty$, когда

$$R_{\text{вх}} \gg \left| \frac{1}{j\omega(C_{12} + C_{23} + C_{2Э})} \right| = 14882 \text{ Ом}, \quad (4.10)$$

напряжение шумов определяется выражением

$$\dot{U} = \frac{C_{12} \cdot \dot{E}_{\text{ист}}}{C_{12} + C_{23} + C_{2Э}} \quad (4.11)$$

$$|\dot{U}| = \left| \frac{2 \cdot 10^{-12} \cdot 10 \cdot e^{j0}}{2 \cdot 10^{-12} + 50 \cdot 10^{-12} + 100 \cdot 10^{-12}} \right| = 0,187 \text{ В}.$$

Для $R_{ВХ} = 50$ Ом при

$$R_{\text{вх}} \ll \left| \frac{1}{j\omega(C_{12} + C_{23} + C_{2Э})} \right| \quad (4.12)$$

напряжение шумов рассчитывается по формуле

$$\dot{U} = j\omega C_{12} R_{\text{вх}} \dot{E}_{\text{ист}} \quad (4.13)$$

$$|U| = |j \cdot 2\pi \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-12} \cdot 50 \cdot 10 \cdot e^{j0}| = 628,3 \cdot 10^{-6} \text{ В}.$$

В оставшихся случаях при определении напряжения шумов следует использовать полную формулу (4.4).

Для $R_{\text{вх}} = 10 \text{ кОм}$

$$|U| = \left| \frac{j \cdot 2\pi \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-12} \cdot 10^4 \cdot 10 \cdot e^{j0}}{1 + j2\pi \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot (2 \cdot 10^{-12} + 5 \cdot 10^{-12} + 100 \cdot 10^{-12}) \cdot 10^4} \right| = |0,104 \cdot e^{j56}| = 0,104 \text{ В},$$

для $R_{\text{вх}} = 1 \text{ кОм}$

$$|U| = \left| \frac{j \cdot 2\pi \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-12} \cdot 1000 \cdot 10 \cdot e^{j0}}{1 + j2\pi \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot (2 \cdot 10^{-12} + 5 \cdot 10^{-12} + 100 \cdot 10^{-12}) \cdot 1000} \right| = |0,013 \cdot e^{j86}| = 0,013 \text{ В}.$$

Ответ: напряжение шумов на входе измерительного устройства

1) 0,187 В; 2) 0,104 В; 3) 0,013 В; 4) $0,628 \cdot 10^{-3} \text{ В}$.

Анализ результатов вычислений, полученных при решении 1-й и 2-й задач, иллюстрирует преимущество схемы, изображённой на рис. 23 и 24, в которой второй проводник, соединенный с измерительным устройством, размещён внутри проводящего заземлённого экрана.

Задача 3

Датчик тока утечки изоляции размещен на кабеле системы собственных нужд (рис. 26). Выходное сопротивление датчика является активным и составляет 10 кОм. Сигнал с датчика по двухпроводной линии связи (контрольный кабель) длиной 10 м передается на вход измерительного устройства. Входное сопротивление измерительного устройства 100 кОм. Расстояние между проводниками линии связи 7 мм, напряженность магнитного поля в зоне ее прокладки равна 25 А/м. Ёмкость и сопротивление каждого из проводников линии относительно «земли» равны соответственно 100 пФ и 10 МОм, а относительно кабеля системы собственных нужд соответственно 10 пФ и 100 МОм. Ёмкость и сопротивление изоляции между проводниками линии связи составляют соответственно 1 нФ и 50 МОм. Найти максимально возможное действующее значение напряжения шумов на входе измерительного устройства, если фаза ЭДС шумов, индуцированных посредством магнитного поля, отстает на 180° от фазы ЭДС источника питания системы собственных нужд, ЭДС на контролируемом кабеле равна 380 В, по кабелю проходит переменный ток 500 А с частотой 50 Гц, а измерительное устройство включено: 1) симметрично относительно «земли»; 2) несимметрично относительно «земли».

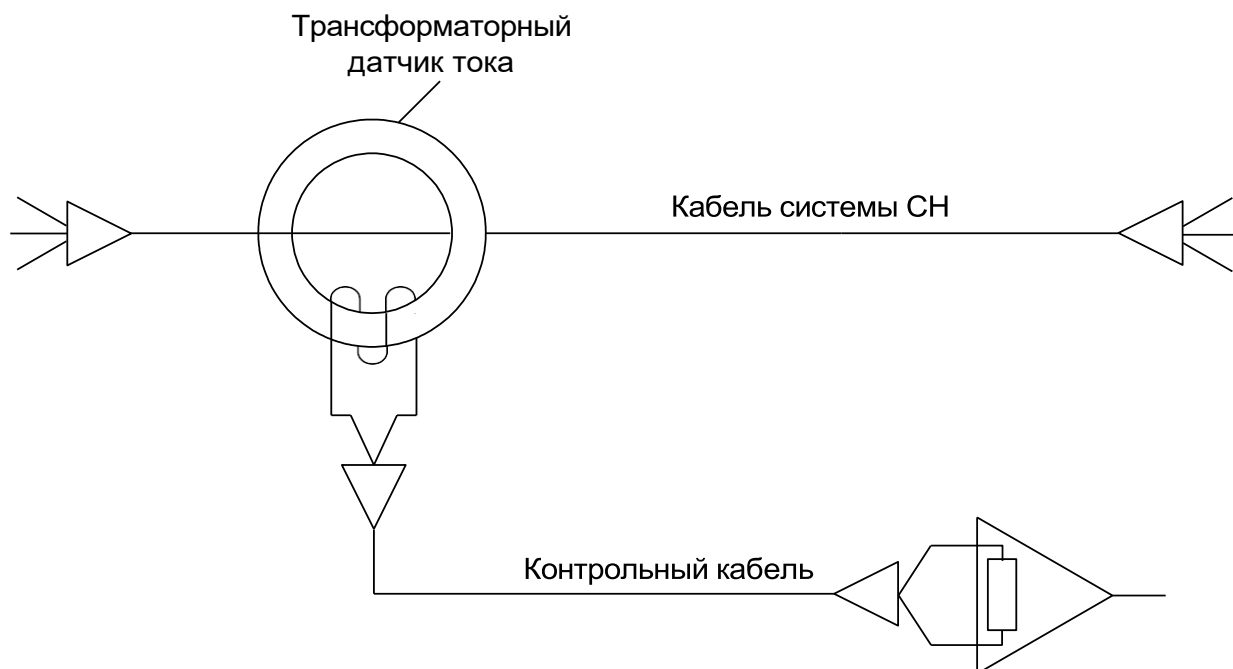


Рис. 26. Физическое представление участка контролируемой цепи (кабель системы СН) и сигнальной линии (контрольный кабель)

Электрическая схема контроля тока утечки изоляции для участка цепи (рис. 26) представлена на рис. 27.

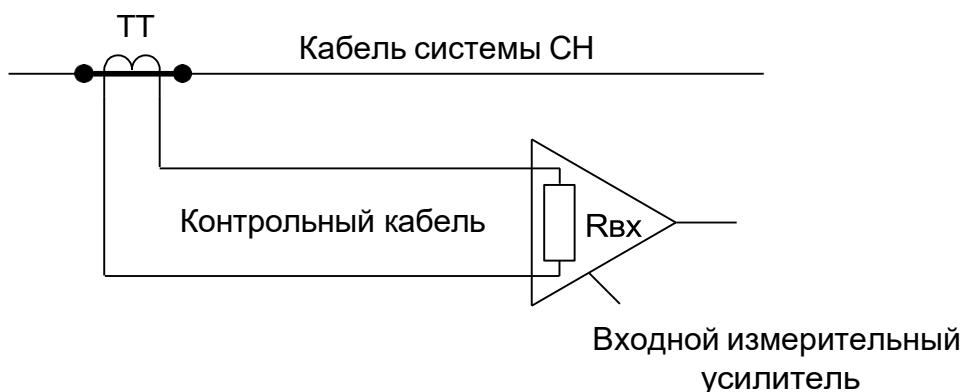


Рис. 27. Схема измерения тока утечки изоляции

Схема замещения для 1-го варианта, когда измерительный усилитель включается симметрично относительно земли (рис. 28), содержит ёмкости и активные сопротивления между контролируемым кабелем и двухпроводной линией связи ($C_{1к}$, $C_{2к}$ и $R_{1к}$, $R_{2к}$), между проводниками линии связи и «землёй» (C_{13} , C_{23} и R_{13} , R_{23}) и ёмкость между самими проводниками линии связи C_{12} , соединяющими датчик тока утечки изоляции ($R_{вых}$) с входом усилителя ($R_{вх}$). Активное сопротивление изоляции между проводниками линии связи в данном случае не вводится в состав схемы замещения, так как оно шунтируется в десятки раз меньшим по величине входным сопротивлением измерительного устройства. Источник питания системы собственных нужд представлен ЭДС E_c . Источник питания обладает

большой мощностью, а следовательно, низким выходным сопротивлением, которым в данном случае можно пренебречь.

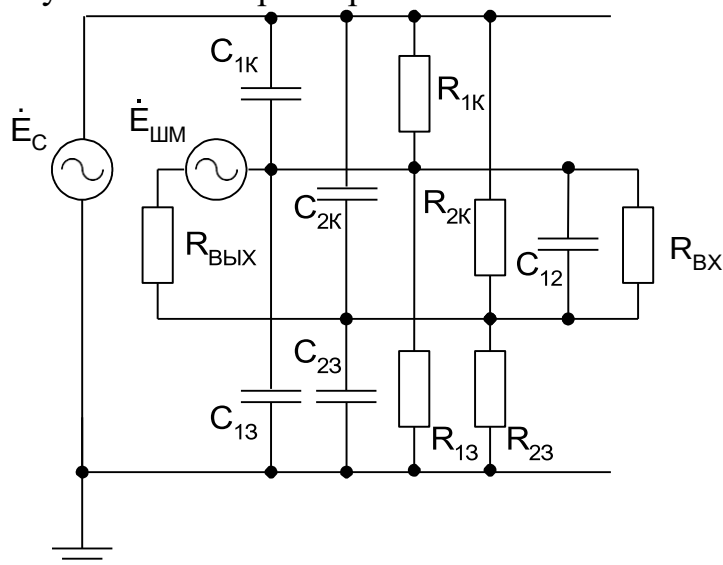


Рис. 28. Схема замещения участка электрической цепи при симметричном включении измерительного устройства

Так как расстояние между первым и вторым проводниками линии связи много меньше расстояния, отделяющего линию связи от контролируемого кабеля и «земли», можно считать, что емкости $C_{1к}$ и C_{13} равны соответственно емкостям $C_{2к}$ и C_{23} , а сопротивления $R_{1к}$ и R_{13} равны соответственно $R_{2к}$ и R_{23} . Элементы схемы замещения $C_{1к}$ и $R_{1к}$ и C_{13} и R_{13} образуют один активно-емкостный делитель напряжения, а элементы $C_{2к}$ и $R_{2к}$ и C_{23} и R_{23} образуют второй активно-емкостный делитель с таким же, как у первого, коэффициентом деления, поэтому напряжения шумов, индуцированные на проводниках линии связи посредством электрического поля, будут равны. В этом случае напряжение шумов на входе измерительного усилителя будет определяться величиной ЭДС взаимной индукции $E_{ШМ}$, током шумов $I_{Ш}$ и соотношением входного сопротивления измерительного усилителя и выходного сопротивления датчика тока. Расчетная схема замещения для этого варианта представлена на рис. 29.

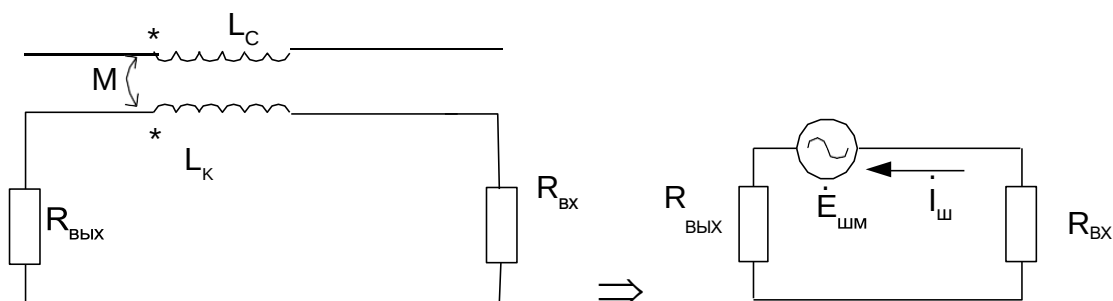


Рис. 29. Расчетная схема замещения при симметричном включении измерительного устройства

Решение

ЭДС взаимной индукции между кабелем системы собственных нужд и линией связи

$$\dot{E}_{\text{шм}} = -j\omega \cdot \dot{B} \cdot S \cdot \cos\theta, \quad (4.14)$$

где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота магнитного помехонесущего поля;

B – значение магнитной индукции в области размещения линии связи;

S – площадь контура, образованного проводниками линии связи;

θ – угол между направлением вектора магнитной индукции и нормалью к плоскости контура, образованного проводниками линии связи.

Значение магнитной индукции определяется величиной напряженности магнитного поля и магнитной проницаемостью среды (в данном случае начальная фаза вектора напряженности магнитного поля может не учитываться):

$$|\dot{B}| = |\dot{H} \cdot \mu\mu_0| = 25 \cdot 1 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} = 3,14 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}, \quad (4.15)$$

где H – напряженность магнитного поля в области размещения линии связи;

$\mu \cdot \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ – абсолютная магнитная проницаемость воздуха.

Так как необходимо найти максимально возможное напряжение шумов, угол θ принимается равным нулю.

В этом случае при $S = 0,007 \cdot 10 = 0,07 \text{ м}^2$ ЭДС шумов, индуцированных посредством магнитного поля, $\dot{E}_{\text{шм}} = -0,69 \cdot e^{j90} \text{ мВ}$, а напряжение шумов на входе измерительного усилителя определяется выражением

$$\dot{U}_{\text{ш}} = \dot{I}_{\text{ш}} \cdot R_{\text{вх}} = \frac{\dot{E}_{\text{шм}} \cdot R_{\text{вх}}}{R_{\text{вх}} + R_{\text{вых}}} = -0,623 \cdot e^{j90} \text{ мВ}.$$

Во 2-м варианте задания в схеме замещения с несимметричным включением измерительного усилителя не учитываются сопротивления и емкости между вторым проводником линии связи и контролируемым кабелем и между вторым проводником и «землей», так как второй проводник линии связи заземлен (рис. 30). Кроме того, так же как и в 1-м варианте, в состав схемы замещения не входит активное сопротивление изоляции между проводниками линии связи.

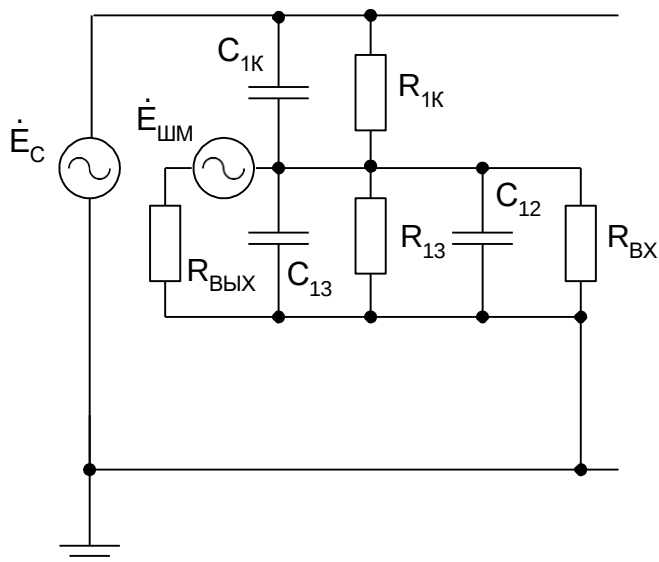


Рис. 30. Схема замещения участка электрической цепи при несимметричном включении измерительного устройства

Потенциал на первом проводнике линии связи и ток шумов определяются суммой напряжений шумов, индуцированных на нем посредством электрического и магнитного полей (рис. 31), в то время как потенциал на втором проводнике равен нулю. Так же, как и в первом варианте, напряжение шумов на входе измерительного усилителя, индуцированное магнитным полем, будет определяться величиной ЭДС взаимной индукции $E_{шм}$, током шумов $I_{ш}$ и соотношением входного сопротивления измерительного усилителя и выходного сопротивления датчика тока утечки изоляции.

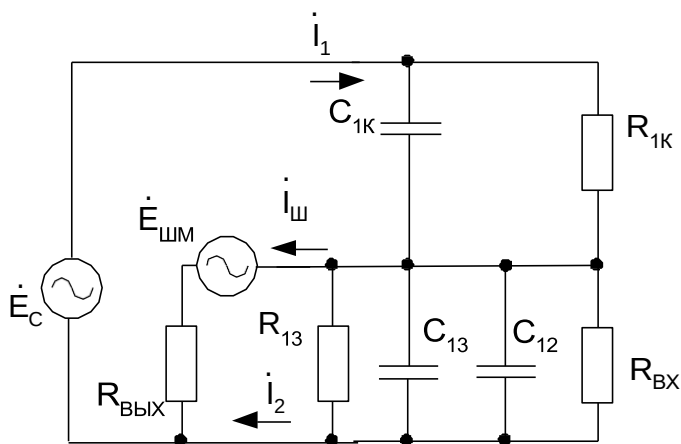


Рис. 31. Эквивалентная схема замещения

Для упрощения вида расчетной схемы замещения параллельно соединенные емкости и резисторы заменяются эквивалентными сопротивлениями z_1 , z_2 и z_3 (рис. 32):

$$Z_1 = \frac{R_{1k} \cdot \left(\frac{1}{j\omega \cdot C_{1k}} \right)}{R_{1k} + \left(\frac{1}{j\omega \cdot C} \right)}; \quad (4.16) \quad Z_2 = \frac{R_{13} \cdot \left(\frac{1}{j\omega \cdot (C_{12} + C_{13})} \right)}{R_{13} + \left(\frac{1}{j\omega \cdot (C_{12} + C_{13})} \right)}; \quad (4.17) \quad Z_3 = \frac{R_{ex} \cdot Z_2}{R_{ex} + Z_2}. \quad (4.18)$$

Расчетные значения эквивалентных сопротивлений равны:

$$Z_1 = 9,54 \cdot 10^7 \cdot e^{-j17}; \quad Z_2 = 2,78 \cdot 10^6 \cdot e^{-j74}; \quad Z_3 = 9,90 \cdot 10^4 \cdot e^{-j2}.$$

Для определения напряжения шумов на входе измерительного усилителя необходимо рассчитать токи в ветвях схемы замещения. Эта задача может быть решена с помощью одного из методов расчета линейных электрических цепей, например с помощью метода контурных токов или метода наложения. Основой расчетных формул при реализации названных методов являются первый и второй законы Кирхгофа.

Схема измерения тока утечки изоляции (см. рис. 27) содержит магнитно-связанные ветви, ЭДС взаимной индукции которых $E_{шм}$ определяется выражением (4.14).

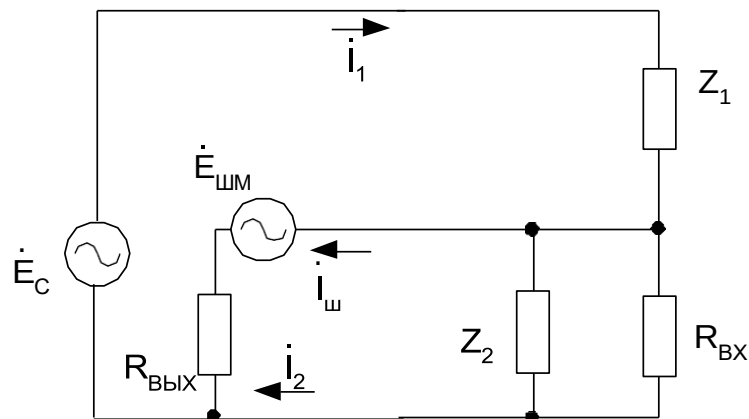


Рис. 32. Расчетная схема при несимметричном включении измерительного устройства

Для определения токов в ветвях решается система уравнений

$$\begin{cases} \dot{I}_1 Z_1 + \dot{I}_2 Z_2 = \dot{E}_c; \\ \dot{I}_2 Z_3 - \dot{I}_{ш} R_{ex} = \dot{E}_{шм}; \\ \dot{I}_2 = \dot{I}_1 + \dot{I}_{ш}. \end{cases} \quad (4.19)$$

По условию задачи требуется рассчитать напряжение шумов на резисторе R_{ex} , параллельно с которым соединен элемент Z_2 . Напряжение шумов на этих элементах (Z_3) определяется произведением их полного сопротивления на ток $\dot{I}_2$. Поэтому система уравнений (4.19) решается относительно тока $\dot{I}_2$.

Из 2-го уравнения системы может быть выражен ток $\dot{I}_{ш}$

$$\dot{I}_{ш} = \frac{\dot{I}_2 \cdot Z_3 - \dot{E}_{ш.м.}}{R_{блх}} \quad (4.20)$$

После подстановки (4.20) в 3-е уравнение системы (4.19) и замены тока $\dot{I}_1$ в 1-м уравнении (4.19) соответствующим выражением получается уравнение с одним неизвестным – $\dot{I}_2$

$$\dot{I}_2 \cdot Z_1 + \dot{I}_2 \cdot \frac{Z_3 \cdot Z_1}{R_{блх}} + \dot{I}_2 \cdot Z_3 = \dot{I}_2 \cdot \frac{Z_1 \cdot R_{блх} + Z_3 \cdot Z_1 + Z_3 \cdot R_{блх}}{R_{блх}} = \dot{E}_c + \dot{E}_{ш.м.} \cdot \frac{Z_1}{R_{блх}}. \quad (4.21)$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_c \cdot R_{блх} + \dot{E}_{ш.м.} \cdot Z_1}{Z_1 \cdot R_{блх} + Z_3 \cdot Z_1 + Z_3 \cdot R_{блх}}. \quad (4.22)$$

Искомое напряжение шумов

$$\begin{aligned} \dot{U}_{ш} &= \dot{I}_2 \cdot Z_3: \\ \dot{U}_{ш} &= 0,0369 \cdot e^{j17} B. \end{aligned} \quad (4.23)$$

При решении уравнения 4.22 следует учитывать указанное в задании отставание фазы ЭДС шумов $\dot{E}_{ш.м.}$ на 180° от фазы ЭДС $\dot{E}_c$ источника питания.

Ответ: абсолютное значение напряжения шумов

1) $U_{ш} = 0,623$ мВ; 2) $U_{ш} = 36,9$ мВ.

Практическое занятие №4

Расчет связи посредством Е-, Н- полей и электромагнитным излучением. Расчет экранов.

Теоретическая часть

1. МЕТОД ПОЛНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Понятие помехоподавления характеризует степень защитного воздействия электромагнитного экрана, оно чаще всего указывается в функции частоты в децибелах или неперах это, так называемый, коэффициент экранирования:

$$\mathfrak{Z} = 20 \cdot \lg \left(\frac{E_1}{E_2} \right), \quad \mathfrak{Z} = 20 \cdot \lg \left(\frac{H_1}{H_2} \right).$$

Величины E и H в случае переменного электромагнитного поля связаны между собой посредством волнового сопротивления среды $\underline{Z}$

$$\frac{E}{H} = \underline{Z} = \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0}{\mu \cdot \mu_0}}. \quad (1)$$

Аналитический расчет экранирующего действия электромагнитных экранов требует решения уравнений Максвелла для областей внутри и вне экрана, а также в самой его стенке. Однако, этот метод математически трудоемок, поэтому и не получил широкого распространения.

Для быстрых практических оценок Щелкунов разработал простой способ определения коэффициента затухания, который основан на аналогии с распространением электромагнитных волн в электрически длинных двухпроводных линиях. Эти волны являются распространяющимися вдоль проводящих линий ТЕМ-волнами (электромагнитные волны с векторами напряженностей электрического и магнитного полей E и H , ориентированными перпендикулярно к направлению распространения), так что разработанные для них формальные методы нетрудно перенести на плоские волны в свободном пространстве. Необходимо просто заменить в

уравнениях комплексные амплитуды входного и выходного напряжения, входного и выходного тока комплексными напряжениями электрического и магнитного полей.

Общий коэффициент затухания электромагнитного экрана состоит из коэффициента затухания вследствие отражения на граничных плоскостях P , коэффициента затухания из-за поглощения в стенке экрана Π (переход энергии электромагнитного поля в тепло), корректирующего коэффициента B , учитывающего многократные волны отражения внутри экрана:

$$\mathcal{O} = P + \Pi + B. \quad (2)$$

Рассмотрим расчет каждого из компонентов в отдельности.

Коэффициент затухания вследствие отражения. Этот коэффициент состоит из двух составляющих, они обусловлены двумя граничными плоскостями - снаружи и внутри экрана. При условии, что волновое сопротивление внешней области $Z_{ВШ}$ значительно больше волнового сопротивления материала стенки экрана $Z_{\mathcal{O}}$ большая часть энергии, приходящейся на граничную плоскость снаружи экрана отражается обратно к источнику. Отношение напряженностей электромагнитного поля падающей и прошедшей волн определяется формулой:

$$\frac{E_{ВШ}}{E_{\mathcal{O}ВШ}} = \frac{(Z_{ВШ} + Z_{\mathcal{O}})}{2 \cdot Z_{\mathcal{O}}}. \quad (3)$$

Аналогичным образом это отношение определится и на внутренней стенке экрана - на внутреннем пограничном слое. Суммарное влияние отражения можно получить из соотношения:

$$\frac{E_{ВШ}}{E_{ВН}} = \frac{(Z_{ВШ} + Z_{\mathcal{O}})^2}{4 \cdot (Z_{\mathcal{O}} + Z_{ВШ})}. \quad (4)$$

Введя обозначение $K = Z_{ВШ} / Z_{\mathcal{O}}$ эта формула принимает вид

$$\frac{E_{ВШ}}{E_{ВН}} = \frac{(1 + K)^2}{4 \cdot K}. \quad (5)$$

Переходя к логарифмическим характеристикам получаем выражение для коэффициента затухания вследствие отражения

$$P_{\text{дБ}} = 20 \cdot \lg \frac{(1+K)^2}{4 \cdot |K|}, \quad (6)$$

для его определения необходимо знать волновые сопротивления.

Волновое сопротивление в пространстве источника помехи для дальней зоны

$$Z_{\text{ВШ}} = Z_0 = 377 \text{ Ом}, \quad (7)$$

для ближней зоны в высокоомных полях

$$Z_{\text{ВШ}} = Z_0 \cdot \frac{\lambda}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{0.018}{r \cdot f}, \quad (8)$$

в низкоомных полях

$$Z_{\text{ВШ}} = Z_0 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} = 7.9 \cdot 10^{-6} \cdot r \cdot f. \quad (9)$$

Волновое сопротивление стенки экрана

$$Z_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{i \cdot \varpi \cdot \mu}{(\sigma + i \cdot \varpi \cdot \varepsilon)}}, \quad (10)$$

а при условии, что толщина стенки больше глубины проникновения

$$Z_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{i \cdot \varpi \cdot \mu}{\sigma}}. \quad (11)$$

Выразим коэффициенты затухания вследствие отражения через параметры материала экрана и частоту:

1) дальняя зона

$$P_{\text{дБ}} = 108 - 10 \cdot \lg \frac{\mu \cdot f}{\sigma_r}, \quad (12)$$

2) электрическое поле в ближней зоне

$$P_{\text{дБ}} = 142 - 10 \cdot \lg \frac{\mu \cdot f^3 \cdot r^2}{\sigma_r}, \quad (13)$$

3) магнитное поле в ближней зоне

$$P_{\partial B} = 75 - 10 \cdot \lg \frac{\mu}{f \cdot \sigma_r \cdot r^2} . \quad (14)$$

В этих соотношениях r - расстояние от источника помехи, м; f - частота, МГц; σ_r - относительная удельная электропроводность, за базовую принята электропроводность меди:

$$\sigma_r = \frac{\sigma}{5.8 \cdot 10^7} . \quad (15)$$

Коэффициенты затухания вследствие поглощения Π описывают экспоненциальное ослабление падающей волны при прохождении стенки экрана толщиной d :

$$\frac{E_{\text{ЭВШ}}}{E_{\text{ЭВН}}} = e^{\alpha \cdot d} . \quad (16)$$

В логарифмических величинах получаем:

$$\Pi_{\partial B} = 20 \cdot \lg \frac{E_{\text{ЭВШ}}}{E_{\text{ЭВН}}} . \quad (17)$$

Учитывая, что $\alpha = \sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \sigma}$ получаем для коэффициента затухания вследствие поглощения

$$\Pi_{\partial B} = 13.14 \cdot d \cdot \sqrt{f \cdot \mu \cdot \sigma_r} , \quad (18)$$

где μ и σ_r - относительная магнитная проницаемость и относительная удельная электропроводность соответственно, частота f выражена в МГц.

Коррекция коэффициента затухания при многократном отражении B волны в стенке экрана осуществляется на основании формулы

$$B_{\partial B} = 20 \cdot \lg \left| 1 - \frac{(K-1)^2}{(K+1)^2} \cdot e^{2 \cdot \gamma \cdot d} \right| , \quad (19)$$

где $\gamma = (1+i) \cdot \sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \sigma}$ - комплексный коэффициент распространения.

Задача 1. Даны параметры плоского экрана: относительные электрическая ε и магнитная μ проницаемости, проводимость σ , толщина d . Известна частота излучения f , напряженности электрического E и магнитного H полей вне экрана.

Требуется:

- а) рассчитать по методу полных сопротивлений коэффициенты затухания электромагнитного экрана в ближней зоне на расстоянии равном половине её максимального диаметра, в дальней зоне;
- б) определить величины напряженностей электрического и магнитного полей внутри экрана для ближней и дальней зон.

Решение

Если приемник помехи находится в непосредственной близости от источника помехи, в так называемой ближней зоне, то он воспринимает квазистатическое поле. В частности, штыревая антенна создает в ближней зоне квазистатическое электрическое поле, а рамочная - квазистатическое магнитное поле. Расстояние R от источника до рассматриваемой точки, когда возможно считать поля квазистатическими, определяется выражением:

$$R \ll \frac{\lambda}{2 \cdot \pi} \quad (1)$$

где λ - длина электромагнитной волны.

Волновое сопротивление среды в ближней зоне зависит от расстояния R до источника излучения:

для высокоомных полей (квазистатическое электрическое поле - излучение штыревых антенн) волновое сопротивление находится по соотношению

$$Z_{вш} = Z_0 \cdot \frac{\lambda}{2 \cdot \pi \cdot R} = \frac{18 \cdot 10^{-3}}{R \cdot f}, \quad (2)$$

в низкоомных полях (квазистатическое магнитное поле – излучение рамочных антенн) - по соотношению

$$Z_{\text{вн}} = Z_0 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{\lambda} = 7.9 \cdot 10^{-6} \cdot R \cdot f \quad (3)$$

где $Z_0 = 377 \text{ Ом}$ - волновое сопротивление вакуума, f – частота помехи.

На большом расстоянии от антенны приемник находится в так называемой дальней зоне, где на него воздействует переменное электромагнитное поле. В этом случае волновое сопротивление среды во всем пространстве дальней зоны составляет 377 Ом .

Как указывалось выше, понятие помехоподавления характеризует степень защитного воздействия электромагнитного экрана, оно чаще всего указывается в функции частоты в децибелах или неперах это, так называемый, коэффициент экранирования:

$$\Theta = 20 \cdot \lg \left(\frac{E_1}{E_2} \right) \quad \Theta = 20 \cdot \lg \left(\frac{H_1}{H_2} \right) \quad (4)$$

В переменных электромагнитных полях величины напряженности электрического E и магнитного H полей связаны между собой посредством волнового сопротивления среды $\underline{Z}$

$$E/H = \underline{Z} = \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0}{\mu \cdot \mu_0}} \quad (5)$$

Аналитический расчет экранирующего действия электромагнитных экранов для отыскания коэффициента экранирования требует решения уравнений Максвелла для областей внутри и вне экрана, а также в самой его стенке. Однако, этот метод математически трудоемок, поэтому и не получил широкого распространения.

Для быстрых практических оценок Щелкунов разработал простой способ определения коэффициента затухания, который основан на аналогии с распространением электромагнитных волн в электрически длинных двухпроводных линиях. Эти волны являются распространяющимися вдоль проводящих линий ТЕМ-волнами (электромагнитные волны с векторами напряженностей электрического и магнитного полей E и H , ориентированными перпендикулярно к направлению распространения), так

что разработанные для них формальные методы нетрудно перенести на плоские волны в свободном пространстве.

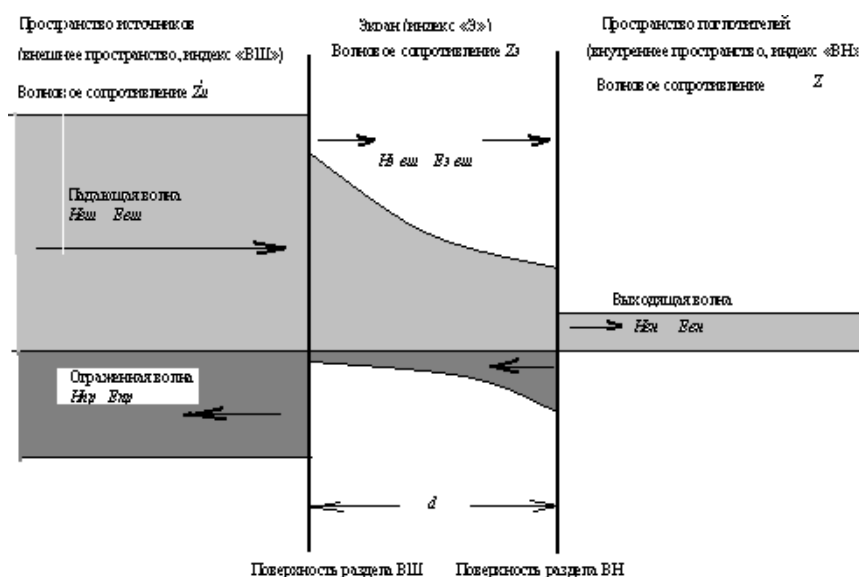


Рисунок 1 – Аналогия бегущей волны с плоской волной, которая падает на бесконечную стенку экрана, расположенную перпендикулярно к направлению распространения волны (отражение, пропускание, поглощение). Необходимо просто заменить в уравнениях комплексные амплитуды входного и выходного напряжения, входного и выходного тока комплексными напряженностями электрического и магнитного полей. Общий коэффициент затухания электромагнитного экрана состоит из коэффициента затухания вследствие отражения на граничных плоскостях P , коэффициента затухания из-за поглощения в стенке экрана Π (переход энергии электромагнитного поля в тепло), корректирующего коэффициента B , учитывающего многократные волны отражения внутри экрана:

$$\mathcal{E} = P + \Pi + B \quad (6)$$

Рассмотрим расчет каждого из компонентов в отдельности. Корректирующий коэффициент B , учитывающий многократные отражения внутри экрана может не учитываться, если $\Pi > 10 - 15$ дБ.

Коэффициент затухания вследствие отражения. Этот коэффициент состоит из двух составляющих, они обусловлены двумя граничными плоскостями - снаружи и внутри экрана. При условии, что волновое сопротивление

внешней области $Z_{ВШ}$ значительно больше волнового сопротивления материала стенки экрана $Z_{Э}$ большая часть энергии, приходящейся на граничную плоскость снаружи экрана отражается обратно к источнику.

Отношение напряженностей электромагнитного поля падающей и прошедшей волн определяется формулой:

$$\frac{E_{ВШ}}{E_{ЭВШ}} = \frac{(Z_{ВШ} + Z_{Э})}{2 \cdot Z_{Э}} \quad (7)$$

Аналогичным образом это отношение определится и на внутренней стенке экрана - на внутреннем пограничном слое. Суммарное влияние отражения можно получить из соотношения:

$$\frac{E_{ВШ}}{E_{ВН}} = \frac{(Z_{ВШ} + Z_{Э})^2}{4 \cdot (Z_{Э} Z_{ВШ})} \quad (8)$$

При введении обозначения

$$K = Z_{ВШ} / Z_{Э}, \quad (9)$$

эта формула принимает вид

$$\frac{E_{ВШ}}{E_{ВН}} = \frac{(1 + K)^2}{4 \cdot K} \quad (10)$$

Переходя к логарифмическим характеристикам получаем выражение для коэффициента затухания вследствие отражения

$$P_{\text{дБ}} = 20 \cdot \lg \left| \frac{(1 + K)^2}{4 \cdot |K|} \right| \quad (11)$$

для его определения необходимо знать волновые сопротивления в поле источника помех в поле поглотителя помех и экрана.

Волновое сопротивление в пространстве источника помехи для дальней зоны составляет

$$Z_{ВШ} = Z_0 = 377 \text{ Ом} \quad (12)$$

для ближней зоны в высокоомных полях

$$Z_{ВШ} = Z_0 \cdot \frac{\lambda}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{1,8 \cdot 10^{10}}{r \cdot f} \quad (13)$$

В НИЗКООМНЫХ ПОЛЯХ

$$Z_{ВШ} = Z_0 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} = 7.9 \cdot 10^{-6} \cdot r \cdot f \quad (14)$$

как видно, зависят от расстояния r от источника помехи до экрана.

Волновое сопротивление стенки экрана в общем случае рассчитывается по известному из курса ТОЭ соотношению

$$Z_{\varnothing} = \sqrt{\frac{i \cdot \omega \cdot \mu_a}{(\sigma + i \cdot \omega \cdot \varepsilon_a)}} \quad (15)$$

а при условии, что толщина стенки намного больше глубины проникновения, что на практике выполняется всегда волновое сопротивление рассчитывается как

$$Z_{\varnothing} = \sqrt{\frac{i \cdot \omega \cdot \mu \cdot \mu_0}{\sigma}} \quad (16)$$

Выразим теперь коэффициенты затухания вследствие отражения через параметры материала экрана – его проводимость, относительную магнитную проницаемость и частоту излучения помехи. Получаем:

- для дальней зоны

$$P_{\text{дБ}} = 108 - 10 \cdot \lg \frac{\mu \cdot f}{\sigma_r} \quad (17)$$

- электрическое (высокоомное) поле в ближней зоне источника помех

$$P_{\text{дБ}} = 142 - 10 \cdot \lg \frac{\mu \cdot f^3 \cdot r^2}{\sigma_r} \quad (18)$$

- магнитное (низкоомное) поле в ближней зоне источника помех

$$P_{\text{дБ}} = 75 - 10 \cdot \lg \frac{\mu}{f \cdot \sigma_r \cdot r^2} \quad (19)$$

В этих соотношениях r - расстояние от источника помехи, выраженное в метрах; f - частота, выраженная в МГц; σ_r - относительная удельная электропроводность материала стенки экрана, где за базовую принята электропроводность меди:

$$\sigma_r = \frac{\sigma}{5.8 \cdot 10^7} \quad (20)$$

Коэффициенты затухания вследствие поглощения Π описывают экспоненциальное ослабление амплитуды падающей волны при прохождении стенки экрана толщиной d :

$$\frac{E_{\text{ЭВШ}}}{E_{\text{ЭВН}}} = e^{\alpha \cdot d} \quad (21)$$

В логарифмических величинах получаем выражение для коэффициента Π :

$$\Pi_{\text{дБ}} = 20 \cdot \lg \frac{E_{\text{ЭВШ}}}{E_{\text{ЭВН}}} \quad (22)$$

Учитывая, что коэффициент поглощения находится по

соотношению $\alpha = \sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu_a \cdot \sigma}$, получаем выражение для коэффициента затухания вследствие поглощения, выраженному в дБ

$$\Pi_{\text{дБ}} = 131,4 \cdot d \cdot \sqrt{f \cdot \mu \cdot \sigma_r},$$

где μ и σ_r - относительная магнитная проницаемость и относительная удельная электропроводность соответственно, частота f выражена в Гц.

Коррекция коэффициента затухания при многократном отражении волны в стенке экрана определяется коэффициентом V

$$V_{\text{дБ}} = 20 \cdot \lg \left| 1 - \frac{(K-1)^2}{(K+1)^2} \cdot e^{2 \cdot \gamma \cdot d} \right|, \quad (23)$$

где комплексный коэффициент распространения, для материала стенки экрана определяется как

$$\gamma = (1+i) \cdot \sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu_a \cdot \sigma} \quad (24)$$

Исходные данные:

$$\sigma := 0.105 \cdot 10^6 \text{ См/м} \quad f := 0.006 \text{ МГц} \quad \mu := 1 \quad j := \sqrt{-1}$$

$$d := 0.003 \text{ м} \quad E := 100 \frac{\text{В}}{\text{м}} \quad \mu_0 := 1.256 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$$

$$\varepsilon_0 := 8.854 \cdot 10^{-12}$$

$$\sigma_{\text{г}} := \frac{\sigma}{5.8 \cdot 10^7}$$

Относительная проводимость материала экрана и глубина проникновения в него электромагнитной волны

$$\sigma_{\text{г}} := \frac{\sigma}{5.8 \cdot 10^7} \quad \sigma_{\text{г}} = 1.81 \times 10^{-3}$$

$$\omega := 2 \cdot \pi \cdot f \cdot 10^6 \quad \omega = 3.77 \times 10^4 \text{ рад/с}$$

$$\delta := \frac{1}{\sqrt{\pi f \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot \sigma \cdot 10^6}} \quad \delta = 0.02 \text{ м}$$

Длина волны и величина ближней зоны

$$\lambda := 3 \cdot \frac{10^8}{f \cdot 10^6} \quad \lambda = 5 \times 10^4 \text{ м}$$

$$L := \frac{\lambda}{2 \cdot \pi} \quad L = 7.958 \times 10^3 \text{ м}$$

$$r := \frac{L}{2} \quad r = 3.979 \times 10^3 \text{ м}$$

Волновое сопротивление экрана

$$Z_e := \sqrt{j \cdot \omega \cdot \mu \cdot \frac{\mu_0}{\sigma}} \quad Z_e = 4.748 \times 10^{-4} + 4.748j \times 10^{-4} \text{ Ом}$$

Волновое сопротивление вакуума

$$Z_0 := 377 \text{ Ом} \quad \sqrt{\mu \cdot \frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 376.639$$

Волновое сопротивление в дальней и ближней зонах

$$Z_d := Z_0 \quad Z_d = 377 \quad \text{Ом}$$

$$Z_{be1} := \frac{1.8 \cdot 10^{10}}{r \cdot f \cdot 10^6} \quad Z_{be1} = 753.982 \quad \text{Ом} \quad Z_{be} := Z_0 \cdot \frac{\lambda}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad Z_{be} = 754 \quad \text{Ом}$$

$$Z_{bm} := 7.9 \cdot 10^{-6} \cdot r \cdot f \cdot 10^6 \quad Z_{bm} = 188.599 \quad \text{Ом}$$

$$Z_{bm1} := Z_0 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{r}{\lambda} \quad Z_{bm1} = 188.5 \quad \text{Ом}$$

Коэффициент затухания вследствие отражения

Дальняя зона

$$P_1 := 20 \cdot \log \left[\frac{(Z_0 + Z_e)^2}{4 \cdot |Z_0 \cdot Z_e|} \right] \quad P_1 = 102.944 \quad \text{дБ}$$

$$P_d := 108 - 10 \cdot \log \left(\mu \cdot \frac{f}{\sigma r} \right) \quad P_d = 102.796 \quad \text{дБ}$$

Ближняя зона

$$K_{be} := \frac{Z_{be}}{Z_e}$$

$$P_{be1} := 20 \cdot \log \left[\frac{(1 + K_{be})^2}{4 \cdot |K_{be}|} \right] \quad P_{be1} = 108.965 \quad \text{дБ}$$

$$P_{be} := 142 - 10 \cdot \log \left(\mu \cdot f^3 \cdot \frac{r^2}{\sigma r} \right) \quad P_{be} = 109.238 \quad \text{дБ}$$

$$K_{bm} := \frac{Z_{bm}}{Z_e}$$

$$P_{bm1} := 20 \cdot \log \left[\frac{(1 + K_{bm})^2}{4 \cdot |K_{bm}|} \right] \quad P_{bm1} = 96.928 \quad \text{дБ}$$

$$P_{bm} := 75 - 10 \cdot \log \left(\frac{\mu}{f \cdot \sigma r} \right) \quad P_{bm} = 97.354 \quad \text{дБ}$$

Коэффициент затухания вследствие поглощения в стенке экрана

$$\tilde{I}_1 := 20 \cdot \log \left(e^{d \cdot \sqrt{\pi \cdot f \cdot 10^6 \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot \sigma}} \right) \quad \tilde{I}_1 = 1.299 \quad \text{дБ}$$

$$\tilde{I} := 131.4 \cdot d \cdot \sqrt{f \cdot 10^6 \cdot \mu \cdot \sigma} \quad \tilde{I} = 1.299 \quad \text{дБ}$$

Корректирующий коэффициент

$$\gamma := (1 + j) \cdot \sqrt{\pi \cdot f \cdot 10^6 \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot \sigma}$$

$$B_d := 20 \cdot \log \left| 1 - \frac{(K - 1)^2}{(K + 1)^2} \cdot e^{-2 \cdot \gamma \cdot d} \right| \quad B_d = -8.771 \quad \text{дБ}$$

Общий коэффициент затухания экрана

Дальняя зона

$$\dot{Y}_d := P_d + \dot{I} + B_d \quad \dot{Y}_d = 95.324 \quad \text{дБ}$$

Ближняя зона

$$\dot{Y}_{be} := P_{be} + \dot{I} + B_{be} \quad \dot{Y}_{be} = 101.766 \quad \text{дБ}$$

$$\dot{Y}_{bm} := P_{bm} + \dot{I} + B_{bm} \quad \dot{Y}_{bm} = 89.883 \quad \text{дБ}$$

Напряженность магнитного поля в пространстве источника помех в ближней и дальней зонах

$$E_{\hat{a}\emptyset} := 100 \quad \frac{i\hat{A}}{i}$$

$$H_{\hat{a}\emptyset} := \frac{E}{Z_0} \quad H_{\hat{a}\emptyset} = 0.265 \quad \frac{i\hat{A}}{i}$$

Напряженность магнитного и электрического полей внутри экрана

дальняя зона

$$E_e := 1$$

Given

$$20 \cdot \log \left(\frac{E}{E_e} \right) = \dot{Y}_d$$

$$\underline{E_e} := \text{Find}(E_e)$$

$$E_e = 1.713 \times 10^{-3} \quad \frac{i\hat{A}}{i}$$

$$H_e := \frac{E_e}{Z_0} \quad H_e = 4.544 \times 10^{-6} \quad \frac{i\hat{A}}{i}$$

ближняя зона

$$E_{be} := 1$$

Given

$$20 \cdot \log\left(\frac{E}{E_{be}}\right) = Y_{be}$$

$$E_{be} := \text{Find}(E_{be})$$

$$E_{be} = 8.16 \times 10^{-4} \frac{i\hat{A}}{i}$$

$$He := \frac{E_{be}}{Z_0} \quad He = 2.164 \times 10^{-6} \frac{i\hat{A}}{i}$$

Практическое занятие № 5

Расчет параметров заземляющего устройства подстанции.

Оформление результатов измерений и расчетов.

Теоретическая часть

В настоящем разделе будут приведены примеры расчетов, которые могут проводиться в ПО «Контур».

1. Данные необходимые для расчетов

Для проведения расчетов в ПО «Контур» необходимо иметь следующие начальные данные:

- Удельное сопротивление грунта. Для однородной модели грунта достаточно одного значения удельного сопротивления, выраженного в Ом*м. Для двухслойной модели необходимо два значения удельного сопротивления – для верхнего и нижнего слоя, а также толщину верхнего слоя грунта. В случае более сложных грунтовых условий рекомендуется выполнить приведение к эквивалентной двухслойной модели.
- Значения токов замыкания на землю в Амперах.
- Значение тока молнии, используемого в конкретном расчете.
- Параметры тока молнии. Для большей части расчетов используются стандартные параметры первого импульса тока молнии: 10/350 мкс, согласно МЭК 62305. В некоторых случаях могут понадобиться расчеты с параметрами второго и последующих импульсов молнии: 0,25/100 мкс, согласно МЭК 62305.
- Значение ВЧ-составляющей тока КЗ и его частота для данного класса ОРУ.
- Документ, в соответствии с которым будет рассчитываться зона молниезащиты, а также надежность системы МЗ.

Следует отметить, что все указанные параметры не являются одновременно необходимыми для того или иного расчета, кроме параметров грунта. Так, например, при необходимости расчета распределения потенциалов по элементам ЗУ и токов в элементах ЗУ или естественных заземлителях при КЗ-замыканиях (когда расчет проводится на частоте 50 Гц), достаточно только параметров грунта и значения токов КЗ-замыканий.

2. Расчет сопротивления растеканию заземляющего устройства объекта

Для расчета сопротивления растеканию ЗУ объекта необходимо определить точку ввода тока и указать величину удельного сопротивления грунта. Расчет проводится для промышленной частоты 50 Гц. В качестве точки ввода тока может быть выбрано место заземления нейтрали силового трансформатора. В эту точку вводится ток величиной 1А. Полученное после расчета значение будет соответствовать сопротивлению растекания контура ЗУ в Ом (см. Рис. 3-43).

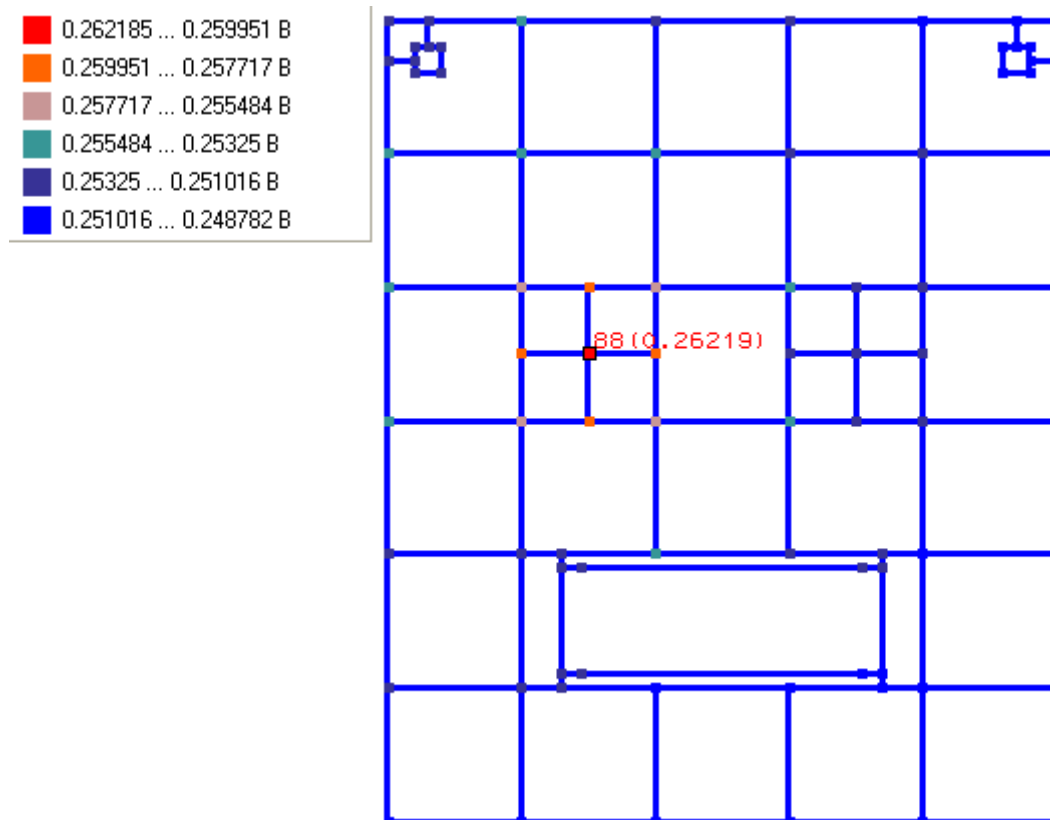


Рис. 3-43. Результат расчета сопротивления растеканию ЗУ ПС.

3. Расчет сопротивления металlosвязи

Для расчета сопротивления металlosвязи между двумя различными точками схемы ЗУ объекта необходимо в одну из этих точек ввести ток величиной 1А, а в другую – ток величиной -1А. Также необходимо указать величину удельного сопротивления грунта. В этом случае разность полученных после расчета значений будет соответствовать сопротивлению металlosвязи между рассматриваемыми точками в Ом. Получившиеся значение выводится в строке состояния как параметр «Разность потенциалов выделенных точек» (см. Рис. 3-44).

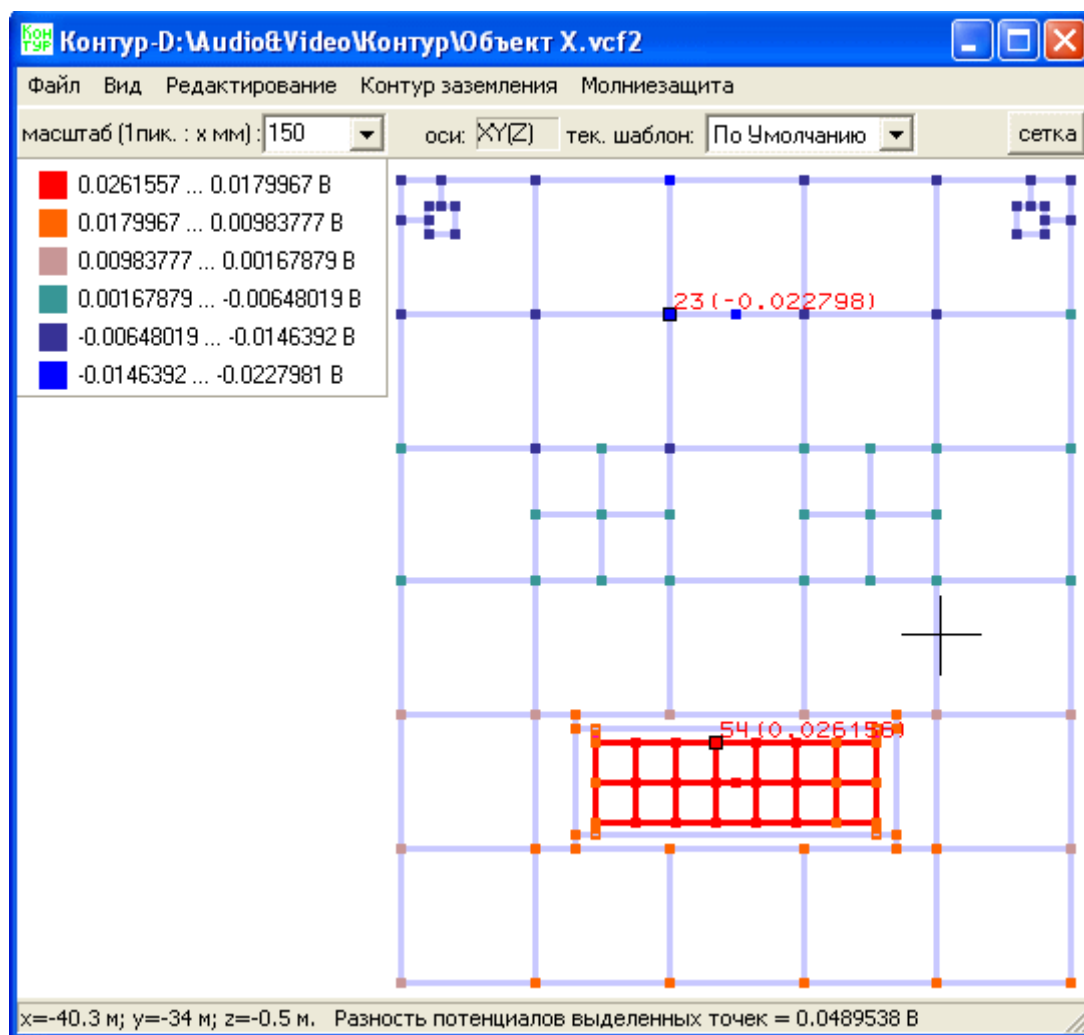


Рис. 3-44. Результат расчета сопротивления металlosвязи.

4. Расчет разностей потенциалов при замыканиях в высоковольтной сети на частоте 50Гц

Для расчета разностей потенциалов при замыканиях в высоковольтной сети (внешних и внутренних) необходимо определить точку ввода тока (место возможного замыкания), схему замыкания и указать величину удельного сопротивления грунта.

В качестве схем возможного замыкания наиболее часто рассматриваются следующие случаи:

- Замыкание в сетях 110÷750 кВ с подпиткой от системы;
- Замыкание в сетях 110÷750 кВ с подпиткой от силовых трансформаторов;
- Замыкание на линии 110÷750 кВ;
- Двойное разнесенное замыкание в сети 3÷35 кВ.

Далее будет рассмотрен случай замыкания в высоковольтной сети с подпиткой от системы. В этом случае весь ток КЗ вводится в точку, соответствующую месту КЗ. После расчета необходимо выделить точки, разность потенциалов между которыми необходимо посмотреть. Разность полученных значений для выделенных точек будет соответствовать разности потенциалов между элементами модели ЗУ объекта. Получившиеся значение

выводится в строке состояния как параметр «Разность потенциалов выделенных точек» (см. Рис. 3-45).

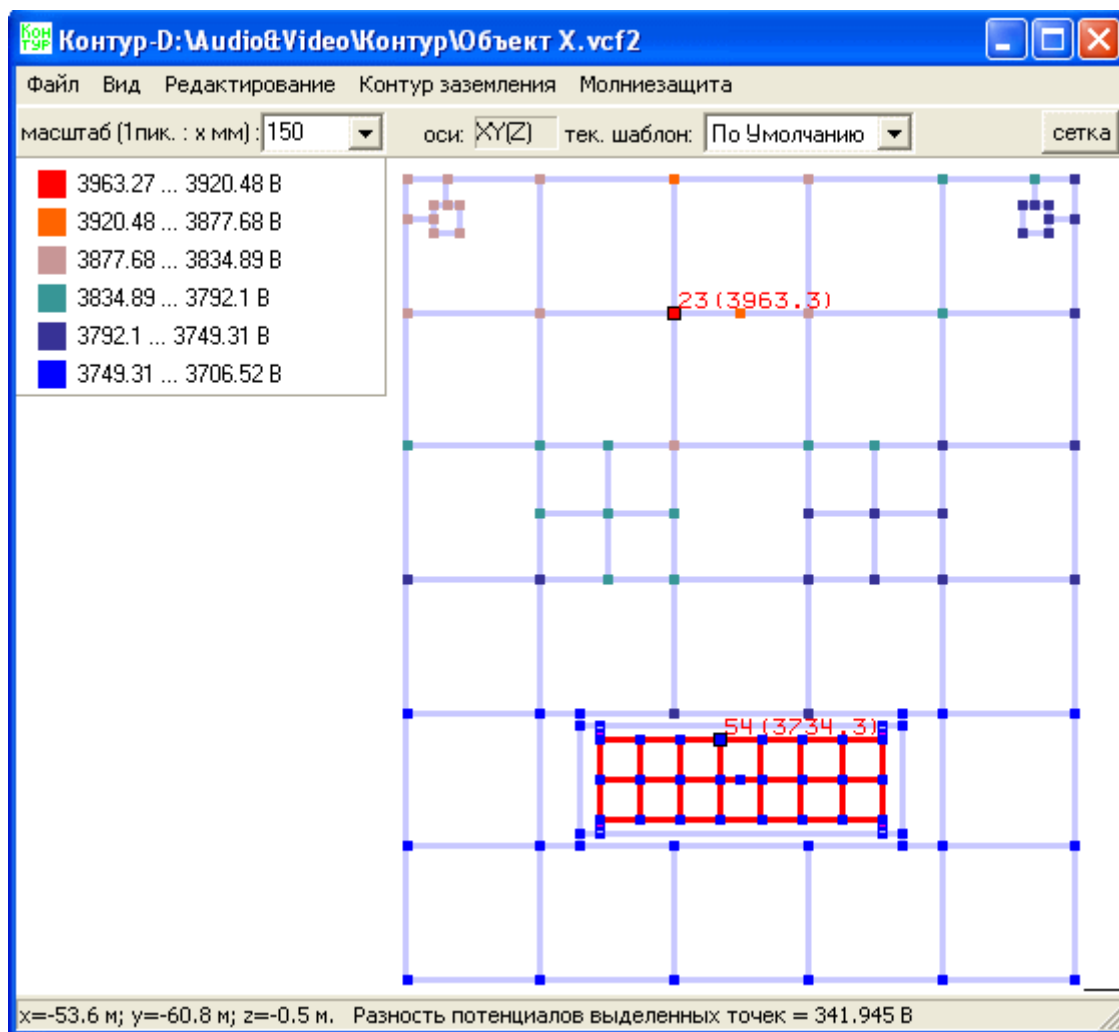


Рис. 3-45. Результат расчета разности потенциалов при замыкании в высоковольтной сети.

3.3.5. Расчет напряжения шага и прикосновения

Для расчета напряжения шага и прикосновения необходимо определить точку ввода тока, указать величину удельного сопротивления грунта, а также включить расчет токов в элементах модели ЗУ (на вкладке «Расчет» окна «Параметры/Расчет»). При этом необходимо в точку ввода тока (например, заземляющий спуск электроаппарата) установить модель человека для расчета напряжения прикосновения (кнопка «Ч» на панели инструментов). Модель человека устанавливается на высоте 1 м над поверхностью земли.

Модель человека представляет собой несколько проводников с разным сопротивлением (см. Рис. 3-46). Верхний горизонтальный проводник имитирует тело человека. Длина и материал проводника подобраны таким образом, что его сопротивление составляет 1 кОм. Данная конфигурация выбрана исходя из схемы измерения напряжения прикосновения, указанной в РД 153-34.0-20.525-00.

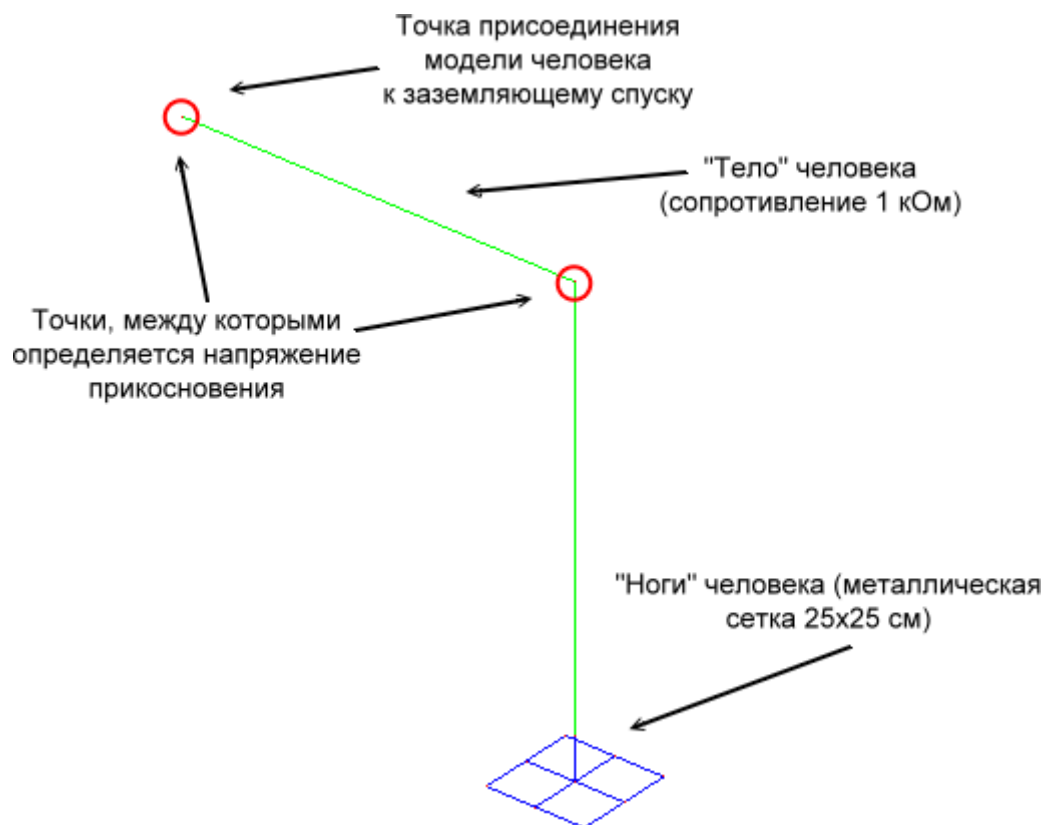


Рис. 3-46. Модель человека при расчете напряжения прикосновения.

Для расчета напряжения прикосновения необходимо для лучшей наглядности перейти к координате -1000 мм по оси «Z» и выделить две точки на модели человека, как показано на Рис. 3-47. Для удобства просмотра на панели инструментов в окне «Масштаб» может быть выбран более крупный масштаб. Получившиеся значение напряжения прикосновения выводится в строке состояния как параметр «Разность потенциалов выделенных точек».

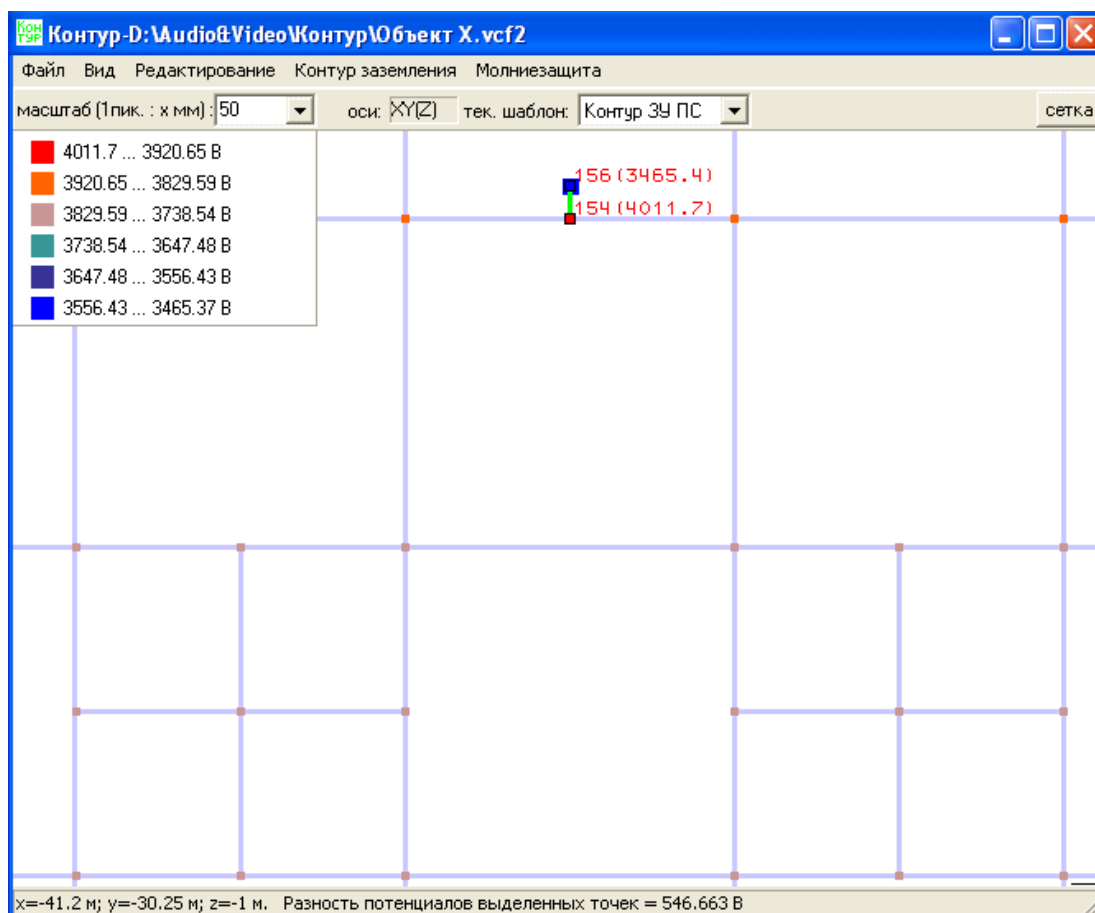


Рис. 3-47. Результат расчета напряжения прикосновения.

Для расчета напряжения шага необходимо вызвать соответствующее меню (F6), где указать координаты точки расчета, радиус области расчета и величину разбиения. Координата «Z» по умолчанию равна «0», т.к. напряжение шага рассчитывается для поверхности грунта. Пример полученной эпюры напряжения шага приведен на Рис. 3-48. На представленном рисунке значение напряжения шага в каждой рассматриваемой точке соответствует максимальной разности потенциалов между двумя точками, расположенными на расстоянии 0.5 м от рассматриваемой точки и на расстоянии 1 м друг от друга.

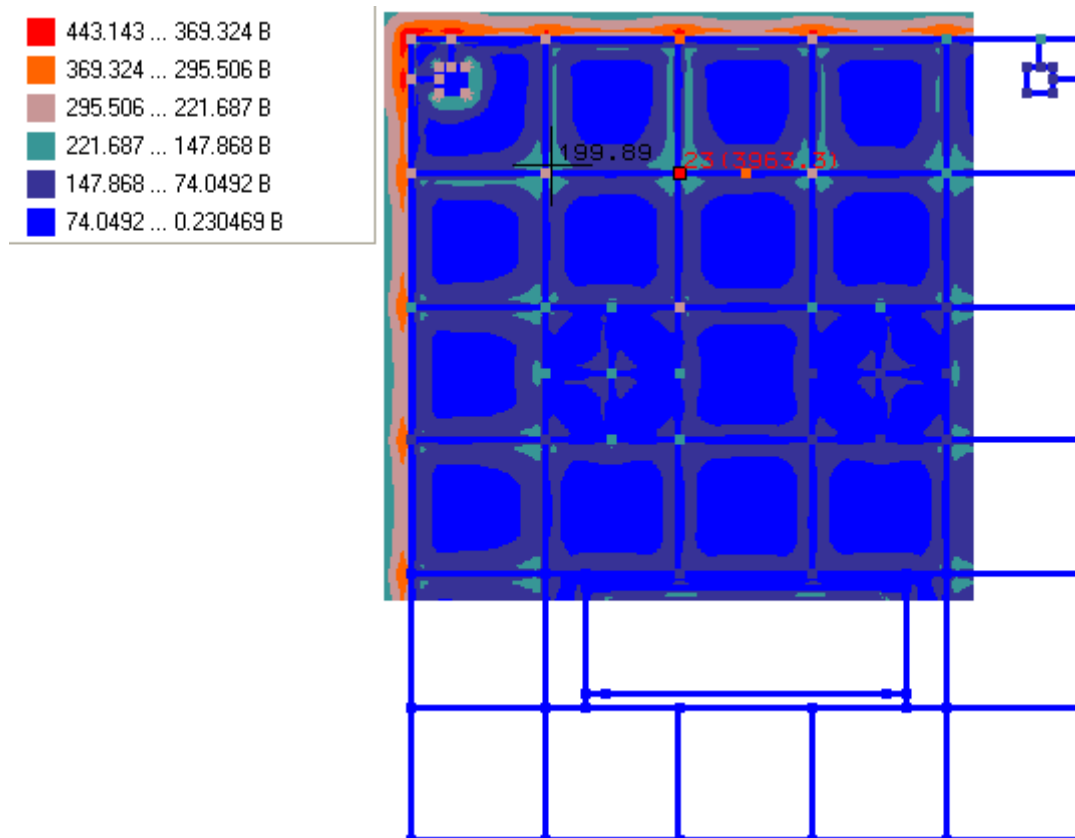


Рис. 3-48. Результат расчета напряжения шага.

3.3.6. Расчет величины постоянно действующего магнитного поля

Для расчета величины постоянно действующего магнитного поля необходимо определить точку ввода тока (предварительно дорисовав шинопроводы, по которым будет протекать рабочий ток), указать величину удельного сопротивления грунта, а также включить расчет токов в элементах модели ЗУ (на вкладке «Расчет» окна «Параметры/Расчет»).

После расчета необходимо вызвать меню расчета напряжения магнитного поля (F7), где указать координаты точки расчета, радиус области расчета и величину разбиения. Значение координаты «Z» должно соответствовать высоте установки оборудования над поверхностью земли. Эпюра напряженности постоянно действующего магнитного поля схожа с приведенной на Рис. 3-49.

С помощью курсора можно посмотреть величину кратковременного магнитного поля в любой точке области расчета, выраженную в А/м.

Практическое занятие № 6

Расчет электромагнитной обстановки на электрических станциях и подстанциях.

3.3.7. Расчет величины кратковременного магнитного поля

Для расчета величины кратковременного магнитного поля необходимо определить точку ввода тока (предварительно дорисовав шинопроводы, по которым может протекать ток замыкания в высоковольтной сети), указать величину удельного сопротивления грунта, а также включить расчет токов в элементах модели ЗУ (на вкладке «Расчет» окна «Параметры/Расчет»). Следует учесть, что нарисованные шинопроводы должны быть соединены с ЗУ в точке предполагаемого замыкания.

После расчета необходимо вызвать меню расчета напряжения магнитного поля (F7), где указать координаты точки расчета, радиус области расчета и величину разбиения. Значение координаты «Z» должно соответствовать высоте установки оборудования над поверхностью земли. Пример полученной эпюры напряженности кратковременного магнитного поля приведен на Рис. 3-49.

С помощью курсора можно посмотреть величину кратковременного магнитного поля в любой точке области расчета, выраженную в А/м.

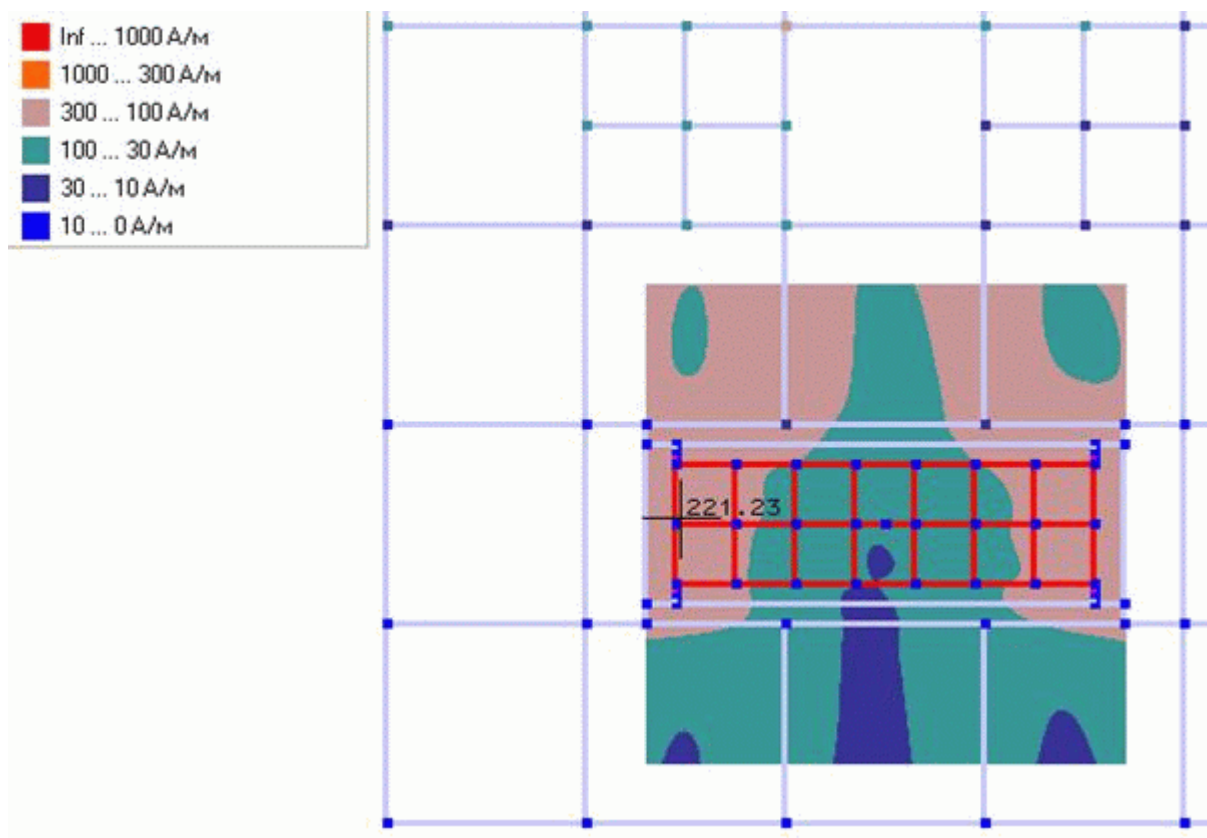


Рис. 3-49. Результат расчета величины кратковременного магнитного поля.

3.3.8. Расчет импульсных разностей потенциалов при протекании ВЧ-токов

Для расчета импульсных разностей потенциалов при протекании ВЧ-токов в случае КЗ в сетях 110÷750 кВ необходимо определить точку ввода тока (место возможного замыкания), величину и частоту тока, а также указать величину удельного сопротивления грунта.

Параметры ВЧ-составляющей тока КЗ (амплитуда тока и частота) принимаются из следующих документов:

- «Методические указания по контролю заземляющих устройств электроустановок». РД 153-34.0-20.525-00, М. СПО ОРГРЭС, 2000;
- «Методических указаний по обеспечению электромагнитной совместимости на электросетевых объектах ЕНЭС. Стандарт организации. Проект». 2007.

Для корректного расчета потенциалов на частотах выше 10 кГц необходимо провести принудительное разбиение элементов модели ЗУ (F5) в районе места замыкания. Обычно достаточно провести разбиение в радиусе 25 м от точки КЗ с шагом 1 м.

После расчета необходимо выделить точки, разность потенциалов между которыми необходимо посмотреть. Разность полученных значений для выделенных точек будет соответствовать импульсной разности потенциалов (см. Рис. 3-50). Значение выводится в строке состояния как параметр «Разность потенциалов выделенных точек».

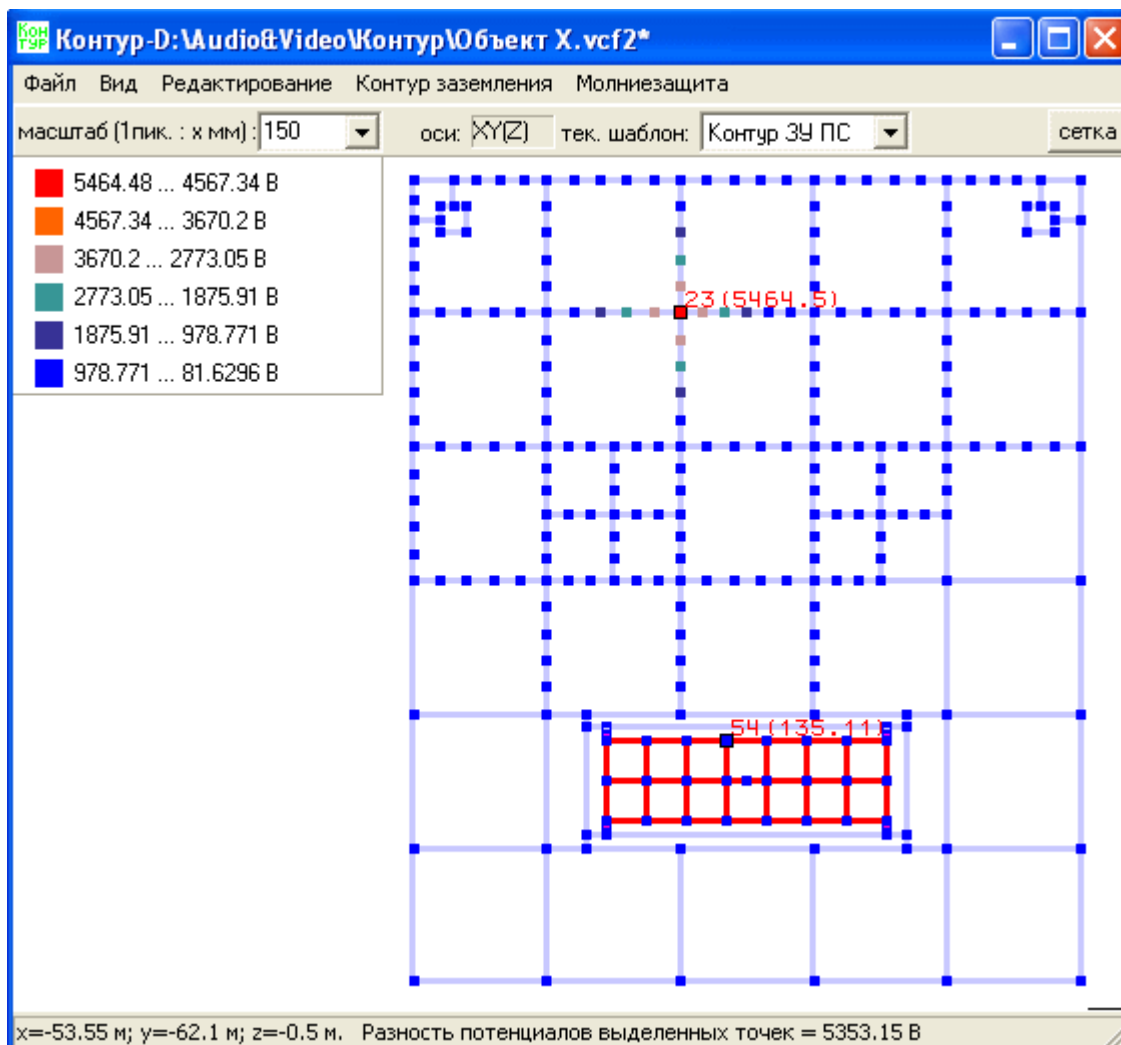


Рис. 3-50. Результат расчета разностей потенциалов при протекании ВЧ-ТОКОВ.

3.3.9. Оценка нагрева экранов вторичных цепей

Для оценки нагрева экранов вторичных цепей необходимо определить точку ввода тока, предварительно дорисовать необходимые кабели между электроаппаратом, на котором имитируется КЗ, и клеммным шкафом (или помещением ОПУ/ЗРУ), указать величину удельного сопротивления грунта, а также включить расчет токов в элементах модели ЗУ (на вкладке «Расчет» окна «Параметры/Расчет»).

После расчета необходимо выделить интересующий элемент двойным нажатием левой кнопки «мыши» и в появившемся окне (см. Рис. 3-51) посмотреть величину тока (выраженную в А), протекающего по этому элементу. Полученная величина тока может быть использована при расчете нагрева экрана вторичного кабеля. Отрицательное значение тока говорит только о направлении тока (от узла 33).

В будущих версиях программы «Контур» будут включена возможность расчета нагрева экранов вторичных цепей непосредственно в программе.

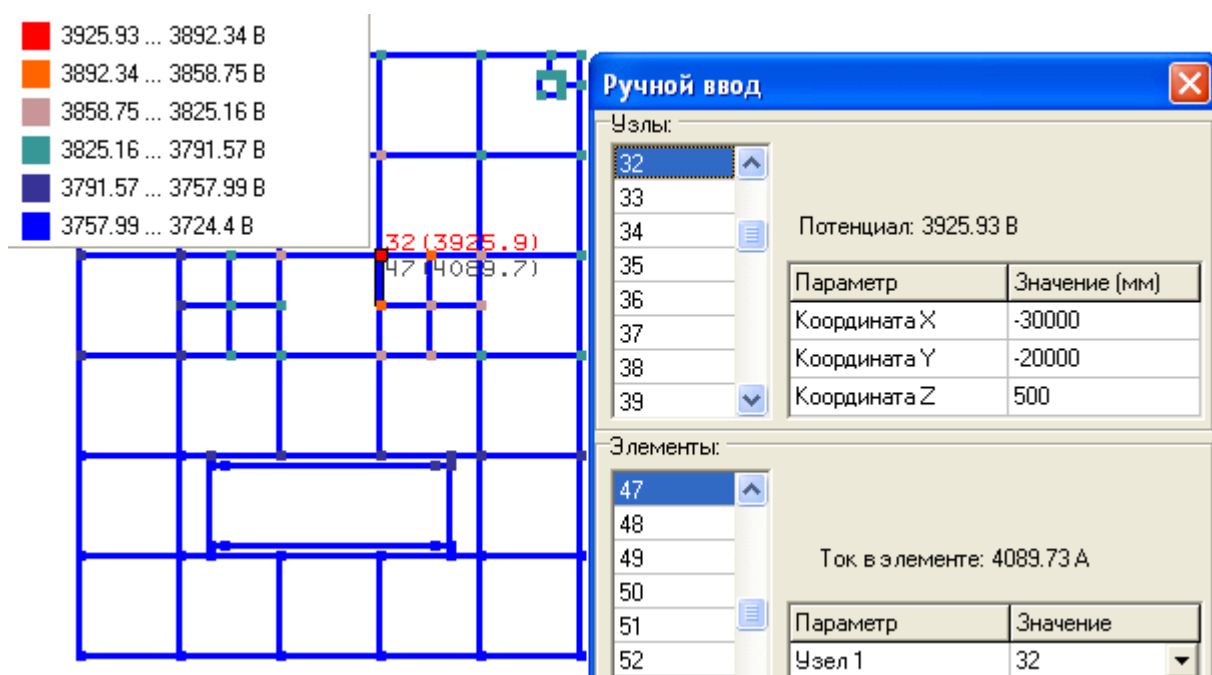


Рис. 3-51. Результат расчета тока в элементе ЗУ ПС при замыкании в высоковольтной сети.

3.3.10. Расчет импульсных разностей потенциалов при молниевом разряде

Для расчета импульсных разностей потенциалов при молниевом разряде в элементы системы молниезащиты объекта необходимо определить точку ввода тока (вершина молниеотвода, опора портала, молниеотводная сетка, грозотрос и т.п.), указать величину тока молнии и удельного сопротивления грунта. При этом необходимо на вкладке «Параметры ЗУ» окна «Параметры/Расчет» выбрать вид расчета – «Импульс».

После расчета необходимо выделить точки, разность потенциалов между которыми необходимо посмотреть. Разность полученных значений для выделенных точек будет соответствовать импульсной разности потенциалов между элементами модели ЗУ объекта (см. Рис. 3-52). Получившиеся значение выводится в строке состояния как параметр «Разность потенциалов выделенных точек».

Для корректного расчета импульсных потенциалов необходимо провести принудительное разбиение элементов модели ЗУ (F5) в районе места замыкания. Обычно достаточно провести разбиение в радиусе 25 м от точки КЗ с шагом 3 м.

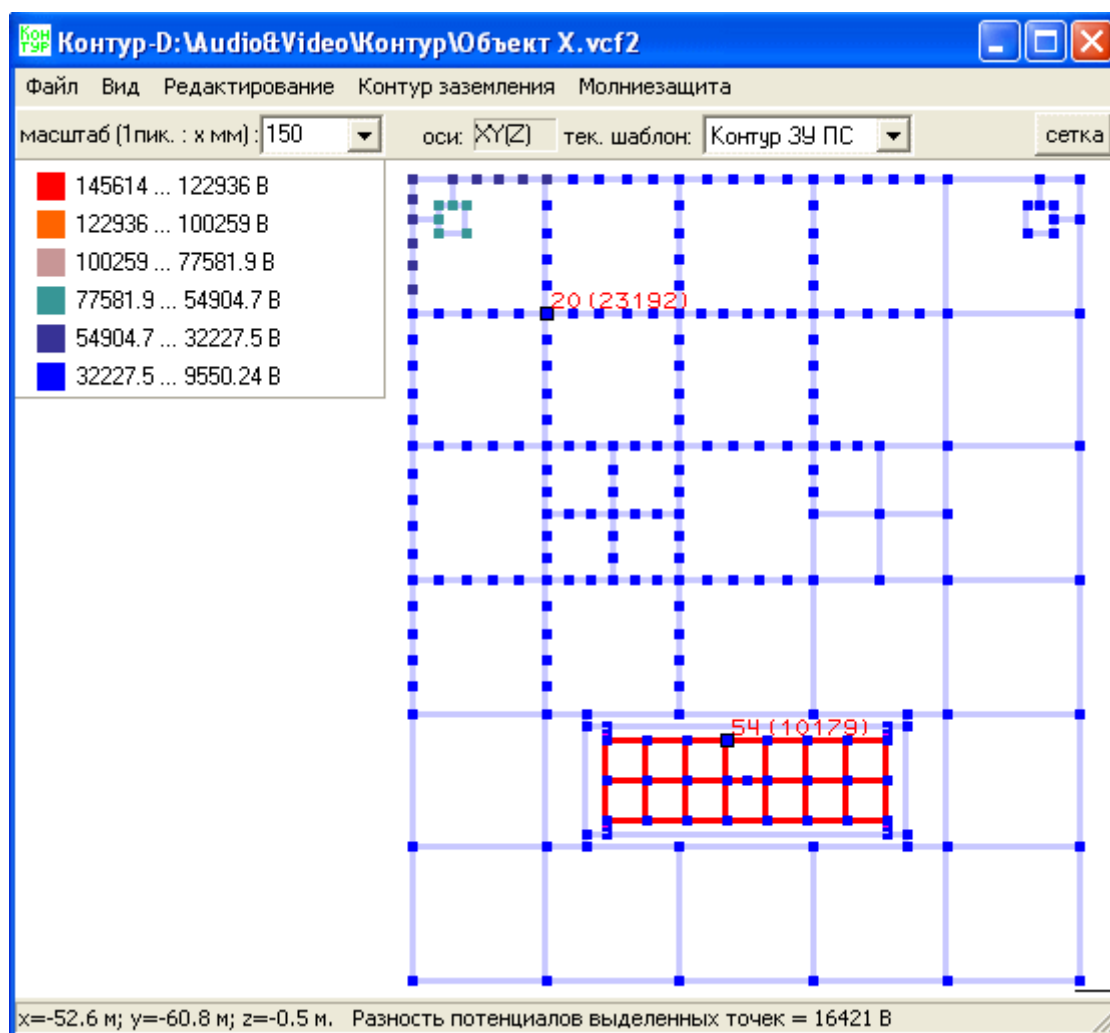


Рис. 3-52. Результат расчета импульсных разностей потенциалов при молниевом разряде.

Помимо конечных значений потенциалов и токов программа «Контур» позволяет выводить графики потенциала и тока в любых узлах и элементах расчетной модели ЗУ (см. Рис. 3-53). Для этого необходимо дважды нажать левой кнопкой «мыши» на интересующий узел или элемент. При этом откроется диалоговое окно «Ручной ввод», где будут приведены значения потенциалов для всех узлов и значения токов для всех элементов модели ЗУ. В этом же окне имеются кнопки «График» на панелях «Узлы» и «Элементы», при нажатии на которые выводятся соответствующие графики потенциала или тока. Полученные графики можно масштабировать непосредственно в открывшемся окне.

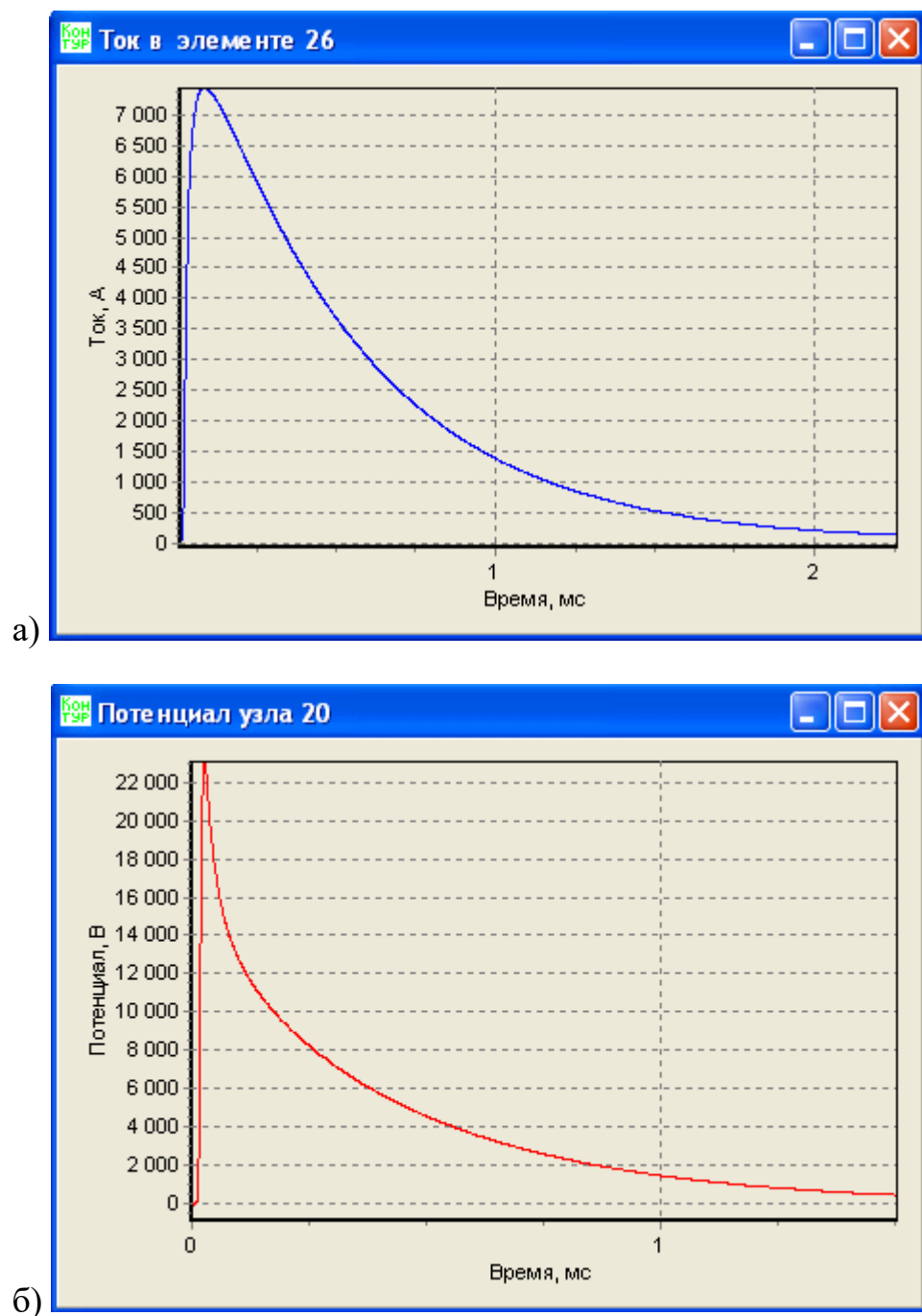


Рис. 3-53. Графики тока и напряжения в выбранном узле и соседнем элементе модели ЗУ.

3.3.11. Расчет величины импульсного магнитного поля

Для расчета величины импульсного магнитного поля необходимо определить точку ввода тока (см. Разд. 3.3.10), указать величину тока молнии и удельного сопротивления грунта. При этом необходимо на вкладке «Параметры ЗУ» окна «Параметры/Расчет» выбрать вид расчета – «Импульс», а на вкладке «Расчет» включить расчет токов в элементах модели ЗУ.

После расчета необходимо вызвать меню расчета напряжения магнитного поля (F7), где указать координаты точки расчета, радиус области расчета и величину разбиения.

Значение координаты «Z» должно соответствовать высоте установки оборудования над поверхностью земли. При расчете импульсных магнитных полей рекомендуется отметить галочкой пункт «Учитывать поле канала молнии». Пример полученной эпюры напряженности импульсного магнитного поля приведен на Рис. 3-54.

С помощью курсора можно посмотреть величину импульсного магнитного поля в любой точке области расчета, выраженную в А/м.

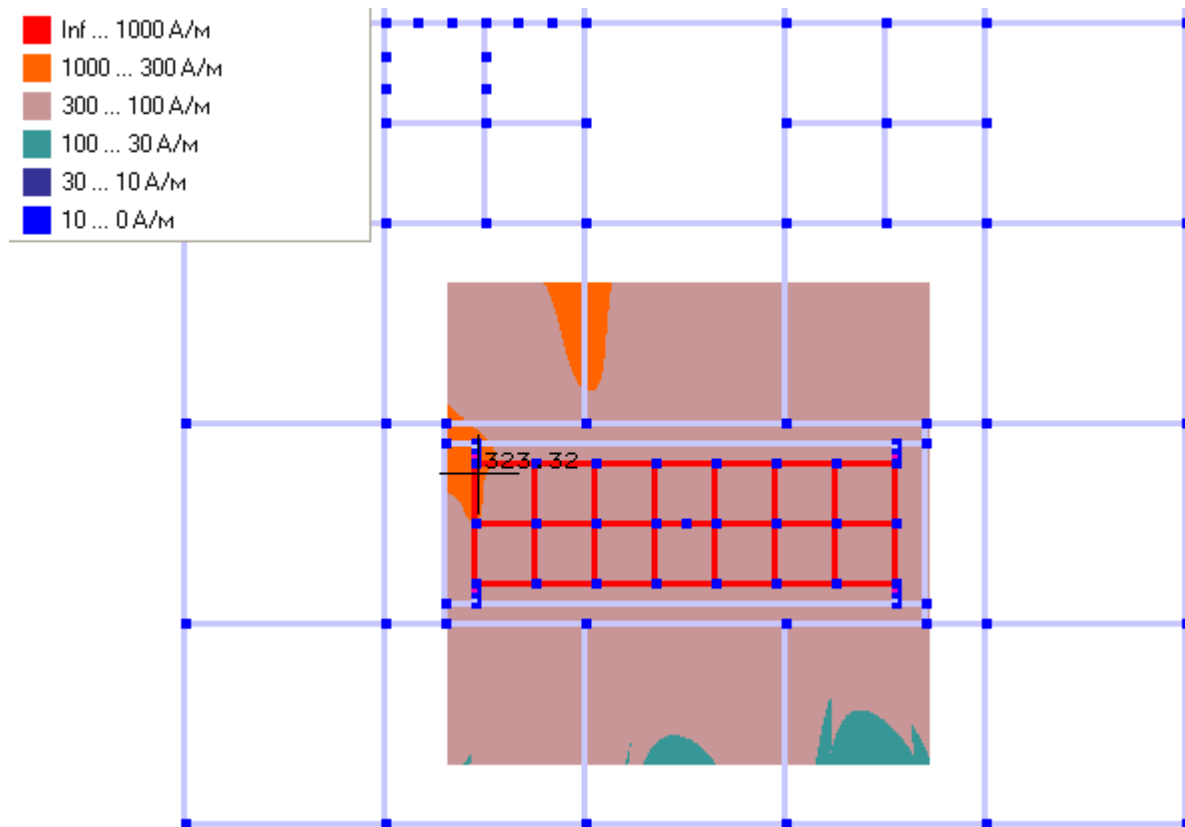


Рис. 3-54. Результат расчета величины импульсного магнитного поля.

3.3.12. Расчет модели для двухслойного грунта

В связи с тем, что строение грунта может изменяться по глубине, а также в результате промерзания верхнего слоя грунта в зимний период, значение удельного сопротивления грунта для разных глубин может различать в несколько раз. В программе «Контур» предусмотрена возможность расчета контура ЗУ для двухслойного грунта. Расчет для большего количества слоев потребует значительных временных затрат и вычислительных ресурсов. Для решения большинства задач по расчету параметров модели ЗУ является достаточным использование двухслойной модели.

Наиболее часто расчет двухслойного грунта требуется для учета сезонного промерзания грунта в зимний период при следующих расчетах:

- расчет сопротивления растеканию;
- расчет разностей потенциалов при замыканиях в высоковольтной сети;
- расчет напряжения шага и прикосновения;
- расчет импульсных разностей потенциалов при протекании ВЧ-токов.

Для расчета модели с двухслойным грунтом необходимо дополнительно указать величину удельного сопротивления нижнего слоя грунта и толщину верхнего слоя грунта.

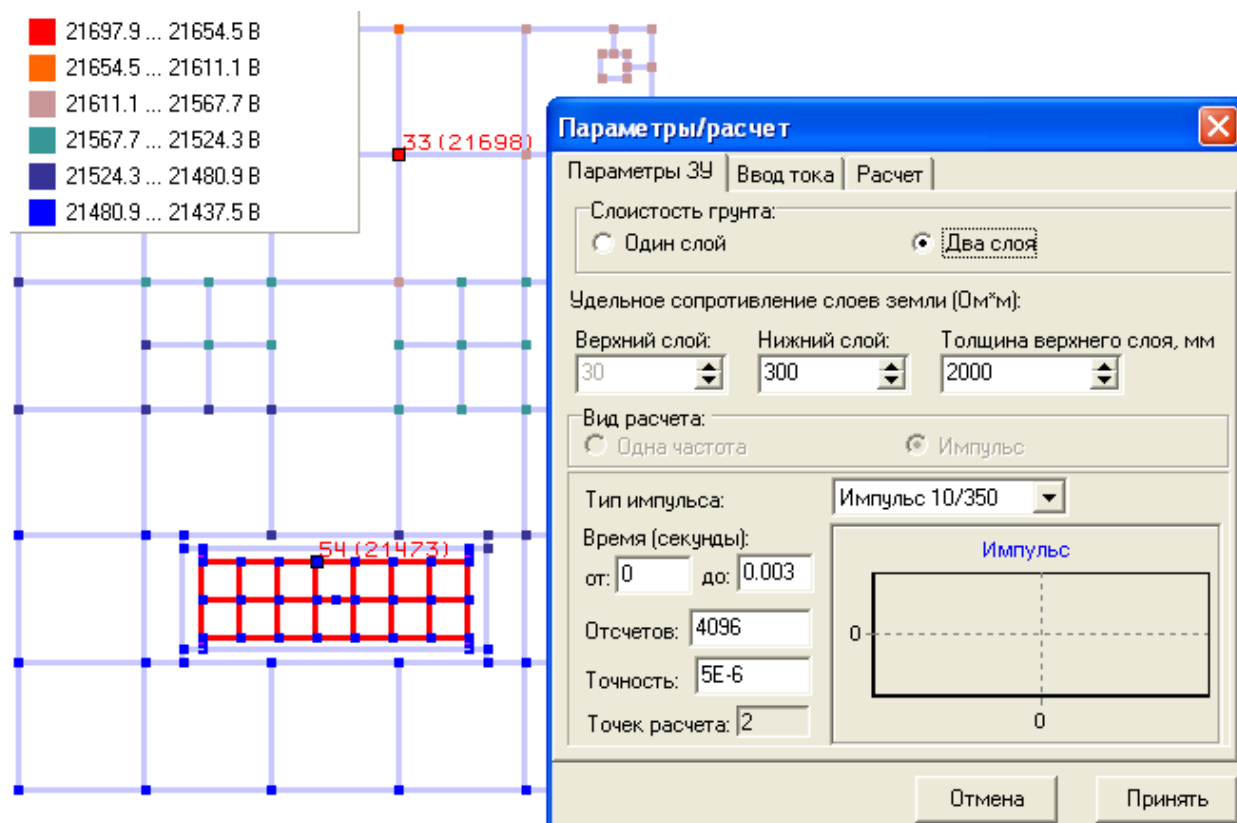


Рис. 3-55. Результат расчета разности потенциалов при замыкании в высоковольтной сети Двухслойный грунт.

Пример расчета параметров заземляющего устройства подстанции

П.Б.1 Исходные данные для расчетов.

Исходные данные для проведения расчетов характеристик заземляющего устройства, напряжений и токов промышленной частоты, воздействующих на контрольные кабели и вторичное оборудование, приведены в таблице П.Б.1.

Таблица П.Б.1 - Исходные данные для расчетов

№ п/п	Наименование	Значение	Примечание
1	Эквивалентные значения удельного сопротивления грунта ρ , приведенные к двухслойной модели, с учетом наиболее неблагоприятных климатических условий.	Верхний слой: $\rho_1 = 200 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Нижний слой: $\rho_2 = 40 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Глубина раздела слоев: $h = 1,4 \text{ м}$.	Указанные значения удельного сопротивления грунта ρ определены на основании «Справки о геологическом строении и гидрогеологических условиях участка...». В качестве наиболее неблагоприятных климатических условий принято промерзания грунта в зимний период.
2	Расчетные значения тока однофазного короткого замыкания $I_{\text{кз}}$ Значения токов приняты с учетом перспективы развития энергосистемы на 10 лет.		Время отключения КЗ принято равным 0,1 с (время работы основной защиты).
	ОРУ-110 кВ.	40кА	в нейтраль Т - 700 А
3	Расчетное значение тока двухфазного КЗ (двойного замыкания на землю): КРУ-10 кВ КРУ-6 кВ	 11,8 кА 6.1 кА	
4	План расположения зданий и сооружений на территории подстанции (компоновка объекта), трассы прокладки кабелей цепей вторичной коммутации.	На территории ПС расположены: - здание ОПУ и ЗРУ 10и6кВ; - ОРУ-110 кВ; - кабельные лотки 10 и6кВ; - силовые трансформаторы ТРДН 80000/110У1 2шт.; - трансформаторы ТДНС 16000/20У1	

		2шт.; - маслосборник; - канализационная насосная; - ДГК 6 компл.; Молниеотводы H=30м 4шт.	
6	Схемы заземляющего устройства.	Чертежи: Заземление и молниезащита.	
7	Горизонтальные проводники сетки заземлителя.	Полоса стальная сечением 60х5мм ² .	Ст.3 ГОСТ-535-2005.
8	Вертикальные заземлители.	Сталь диаметр 16 мм, длина- 5м.	Круг. Ст.3 ГОСТ-535-2005.
9	Заземляющие проводники.	Прокладку ответвительных полос заземления к электрооборудованию выполнить полосой 5х60мм ² в двух местах по месту.	
10	Проводники системы уравнивания потенциалов в помещениях здания ОПУ и ЗРУ.	Полоса стальная сечением 60х5мм ² .	Магистраль заземления прокладываются вдоль стен на уровне 0.5 м от уровня пола.
11	Тип контрольных кабелей.	КВВГэ	-
12	Естественные элементы заземляющего устройства.	Трубопроводы. Броня силовых кабелей. Экраны контрольных кабелей: эквивалентное сечение 1мм ² по меди. Металлоконструкции здания.	-
13	Система электропитания переменного тока 0,4 кВ.	TN-S.	
14	Отходящие от объекта коммуникации.	Трубопроводы Кабели: силовые, связи, телемеханики.	
15	Конструктивное выполнение заземляющего устройства подстанции.	1. На всей территории ПС выполнена сетка из продольных и поперечных горизонтальных заземлителей с неравномерным шагом из стали полосой 60х5мм ² . 2. Магистраль наружного заземления выполняются полосой 5х60мм ² , прокладываемых на глубине 0,5-0,7 м, и электродов заземления диаметром 16мм длиной 5 м, которые всверливаются в траншею. 3. Для защиты от заноса высоких потенциалов по	

		подземным коммуникациям (трубопроводы и т. п.) их необходимо при входе в здание присоединить к контуру заземления, в том числе и кабели с металлической оболочкой, не имеющие изоляционного покрытия. 4. Для снижения напряжения прикосновения у рабочих мест выполнить подсыпку щебня слоем толщиной 0,1-0,2 м. 5. Внешняя ограда не присоединяется к ЗУ ПС. Внешнее ограждение следует заземлять с помощью вертикальных заземлителей глубиной 2-3 м, установленных у стоек ограды по всему ее периметру через 50 м. 6. Для снижения выноса потенциала по металлическим трубопроводам и кабелям, выходящим за предела заземляющего контура выполнять их заземление в 2-3 местах за территорией подстанции через 80-100 метров. Кабели применять бронированные.
--	--	---

П.Б.2 Проверка выбора сечения элементов заземляющих устройств по допустимой температуре нагрева.

Допустимые токи короткого замыкания для элементов заземляющих устройств определяют, исходя из допустимой (по ПУЭ п.1.7.114 не выше 400⁰С) температуре нагрева, по формуле:

$$I_{\text{доп}} = \frac{S}{S_{\text{доп}} q},$$

где S – поперечное сечение проводника или экрана кабеля, мм²;

S_{доп} – допустимое сечение для тока в 1 кА продолжительностью воздействия 1 секунда;

q – коэффициент, учитывающий продолжительность воздействия тока

$$q = \begin{cases} \sqrt{t + 0,09}, & t < 1 \text{ с} \\ 0,8\sqrt{t}, & t > 1 \text{ с} \end{cases}.$$

Значения S_{доп} приведены в таблице П.Б.2.

Таблица П.Б.2 -Допустимое сечение S_{доп} для проводников при токе 1 кА длительностью 1 с.

Тип проводника	S _{доп} , мм ² /кА
Горизонтальный стальной заземлитель	14,0
Заземляющий проводник из стали, подсоединенный к аппарату	16,5
Арматура железобетона	30,3

Заземляющие проводники (не мене двух сечением 60х5мм²) удовлетворяют требованию по их допустимому нагреву до 400⁰С при КЗ на землю, при времени отключения КЗ не более 0,7сек.

Горизонтальные заземлители удовлетворяют требованию по их допустимому нагреву до 400⁰С, при времени отключения КЗ не более 0,7сек.

При расчетах учитывалось, что заземляющие проводники присоединяется непосредственно к магистрали заземления, т.е. по заземляющим проводникам протекает полный ток КЗ, и после него разделяется на две части.

Выводы

При выбранном сечении заземляющих проводников и заземлителей обеспечивается нагрев проводников ЗУ ниже допустимого значения, при времени отключения КЗ не более 0,7сек.

П.Б.3 Расчет сопротивления заземляющего устройства, напряжения на заземляющем устройстве, напряжений прикосновения и шага.

В соответствии с ПУЭ п.1.7.88 заземляющее устройство ПС выполнено с соблюдением требований, предъявляемых к сопротивлению ЗУ. При этом должны быть выполнены требования п.1.7.89 и п.1.7.90 и 1.7.92-1.7.93.

Общее сопротивление искусственного и естественного заземлений подстанции в любое время года должно быть не более 0,25 Ом (при токе КЗ 40кА напряжение на ЗУ не превышает 10 кВ по п.1.7.89). В противном случае должны быть установлены дополнительные вертикальные заземлители.

Так как, ток КЗ на землю составляет 40 кА, то необходимо выполнить проверку соблюдения условий электробезопасности, провести расчет напряжений прикосновения по п.1.7.91 ПУЭ.

Для проекта ЗУ проводились расчеты сопротивления ЗУ, напряжений прикосновения и шага при однофазном КЗ на ОРУ-110 кВ и ближнем КЗ на землю на отходящих линиях, двойном замыкании на землю (двухфазное КЗ) на 10 кВ, 6 кВ.

Расчет напряжений прикосновения и шага проводились при помощи программы ОРУ-М. Расчетное значение сопротивления ЗУ ПС не превышает 0,27 Ом, без учета отходящих коммуникаций и 0,22 Ом с учетом отходящих коммуникаций. Наибольшее расчетное значение напряжения на ЗУ при КЗ на землю на ОРУ – 110 кВ не превысит 10 кВ.

Для проверки выполнения условий электробезопасности выполнялся расчет напряжения прикосновения и шага (см. ПУЭ п.1.7.91). В соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.038 напряжение прикосновения и шага не должно превышать 500В на всей территории и 65В на рабочих местах. Время отключения КЗ основной защитой менее 0,1 с, а резервной - более 1с.

В результате расчетов получено, что напряжение прикосновения (шага) на всей территории ПС не превысит 400 В, а на рабочих местах (при выполнении подсыпки щебнем толщиной 0,2м) – 65В.

В помещениях здания ОПУ и ЗРУ-10 кВ, электробезопасность обеспечивается системой уравнивания потенциалов. При КЗ разность потенциалов на ЗУ в помещениях зданий ОПУ, ЗРУ не превышает 65В.

Выводы

1. Расчетное значение сопротивления ЗУ ПС не превышает 0,27 Ом, без учета отходящих коммуникаций и 0,22 Ом с учетом отходящих коммуникаций. Наибольшее расчетное значение напряжения на ЗУ при КЗ на землю на ОРУ-110 кВ не превысит 9 кВ. Так как напряжение на ЗУ превышает 5 кВ, необходимо применять волоконно-оптические линии связи или принимать меры по защите проводных линий связи, отходящих от ПС. Для снижения выноса потенциала по металлическим трубопроводам и кабелям, выходящим за предела заземляющего контура выполнять их заземление в 2-3 местах за территорией подстанции через 80-100 метров. Кабели применять бронированные.

2. Напряжение прикосновения (шага) на всей территории ПС не превысит 400В, а на рабочих местах (при выполнении подсыпки щебнем толщиной 0,2м) – 65В.

В помещениях здания ОПУ и ЗРУ-10 кВ, электробезопасность обеспечивается системой уравнивания потенциалов. При КЗ разность потенциалов на ЗУ в помещениях зданий ОПУ, ЗРУ не превышает 65В.

Заземляющее устройство ПС соответствует требованиям обеспечения электробезопасности персонала. Напряжение прикосновения и шага при КЗ не превышает допустимых значений.

П.Б.4. Расчет распределения напряжений и токов промышленной частоты по элементам заземляющего устройства.

Проводились расчеты распределения напряжений и токов по ЗУ и экранам контрольных кабелей (типа КВВГэ) при однофазном КЗ в первичных цепях 110 кВ.

Наибольшее напряжение промышленной частоты на кабеле или устройстве при всех режимах не превысит 1,0 кВ.

Наибольшее значение тока промышленной частоты в экранах кабелей (типа КВВГэ), проложенных от ОРУ до РЩ, составит 500А (превышает допустимое значение для кабелей типа КВВГэ – 350А, время отключения КЗ 0,1 с).

Выводы.

1. Наибольшее напряжение промышленной частоты на кабеле или устройстве при всех режимах не превысит 1,0 кВ (допустимое значение не более 2 кВ).

2. Наибольшее значение тока промышленной частоты в экранах контрольных кабелей (типа КВВГэ) составит 500А (превышает допустимое значение для кабелей типа КВВГэ – 350А, время отключения КЗ - 0,1 с).

Необходимо уменьшить шаг ячейки сетки заземлителя в продольном направлении до 5м. Выполнить на территории, не занятой оборудованием сетку заземлителя с размерами ячейки не менее 10х10 м².

3. Условия ЭМС в отношении воздействия напряжения и токов промышленной частоты на ПС не выполнены.

П.Б.4 Расчет уровней воздействий импульсных помех при коммутациях силового оборудования и КЗ в первичных цепях.

Наибольшее расчетное значения тока высокочастотной составляющей при коротком замыкании на землю составят 950 А.

При коммутациях силового оборудования наибольшие значения амплитуды импульсных токов будут примерно в 4 раза меньше.

Наибольшие расчетные значения высокочастотных потенциалов на ЗУ при коротком замыкании на землю на шинах не превысят 8 кВ.

С учетом коэффициента затухания (не менее 6) уровень импульсных помех при коротких замыканиях и коммутациях из-за подъема потенциала на ЗУ не превысят 1,5 кВ.

Выводы.

Уровень импульсных помех при коммутациях и коротких замыканиях не превысят 1,5 кВ.

П.Б.5 Расчет уровней воздействий импульсных помех от токов молнии.

Таблица П.Б.3 - Исходные данные для расчетов

№ п/п	Наименование	Значение	Примечание
1	Эквивалентные значения удельного сопротивления грунта ρ , приведенные к двухслойной модели, с учетом наиболее неблагоприятных климатических условий.	Верхний слой: $\rho_1 = 200 \text{ Ом} \times \text{м}$. Нижний слой: $\rho_2 = 40 \text{ Ом} \times \text{м}$. Глубина раздела слоев: $h = 1,5 \text{ м}$.	-
2	План расположения	Молниезащита	

	зданий и сооружений на территории подстанции (компоновка объекта). Схема заземляющего устройства и молниезащиты.	ОРУ выполнена четырьмя прожекторными мачтами с молниеотводами. Защита от прямых ударов молнии здания ОПУ и ЗРУ 10кВ выполнена с помощью молниеприемной сетки с шагом 6х6м из проволоки толщиной не менее 6мм	
3.	Тип контрольных кабелей.	КВВГэ	
4.	Параметры тока молнии.	$I_m = 100 \text{ кА}$, $\tau_{фр} = 10 \text{ мкс.}$	В соответствии с СО 153.34.21.122-2003.

В качестве исходных данных принимается, что металлическая молниеприемная сетка на кровле присоединяется к металлоконструкциям здания. Металлоконструкции здания используются в качестве токоотводов и проводников уравнивания потенциалов, а фундамент здания - в качестве заземлителя.

Расчеты напряжения на ЗУ при ударе молнии в молниеотводы проводились при помощи программы ОРУ-М для принятых параметров тока молнии.

Импульсные потенциалы на ЗУ вблизи кабельных трасс не превысит 120 кВ при расстоянии до кабелей не менее 0,5м (допустимое значение 150 кВ – для песка с глиной средняя напряженность 300 кВ/м по табл. П.А.5). Импульсные помехи, вызванные подъемом потенциала (при ударе молнии в М2) на заземляющем устройстве составляют более 8кВ (превышают допустимое значение 4 кВ по ГОСТ Р51317.6.5-2006). Необходимо изменить схему ЗУ молниеотвода М2, установив вертикальный заземлитель длиной не менее 15м и соединить ЗУ молниеотвода с общим ЗУ через заземлители длиной не менее 20 м.

Практическое занятие № 7

Расчетов показателей качества электроэнергии и оценка влияния качества электроэнергии на работу электроприемников.

Цель: Указания содержат необходимый теоретический материал, достаточный для изучения практических вопросов по расчетам показателей качества электроэнергии и оценки влияния качества электроэнергии на работу электроприемников. Приведены примеры решения задач и варианты для выполнения контрольных работ.

1. Расчет коэффициента несинусоидальности

1.1. Вентильные преобразователи

В настоящее время самой распространенной схемой выпрямления для мощных преобразователей является трехфазная мостовая схема (схема Ларионова), представленная на рис. 1.1, *а*. Эта схема выпрямления позволяет осуществить так называемую шестифазную или шестиимпульсную схему выпрямления. Соединение последовательно или параллельно двух или нескольких выпрямительных мостов при питании их напряжением, сдвинутым на соответствующий угол, позволяет получить 12, 18, 24, 36, 48...-фазные схемы выпрямления (кратные шести). Сдвиг угла напряжения осуществляется применением соответствующих схем соединения первичных или вторичных обмоток трансформатора: Y — звезда, Δ — треугольник, Z — зигзаг, которые позволяют осуществить практически схемы любой фазности (импульсности) выпрямления.

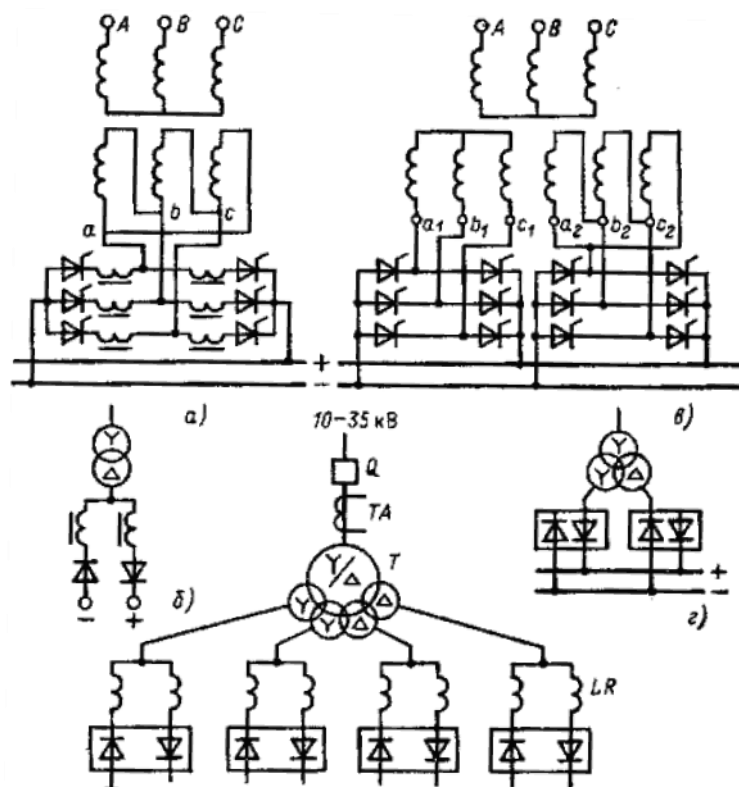


Рис. 1.1. Схемы полупроводниковых преобразовательных агрегатов:
а — агрегат до 6300 А шестифазного режима выпрямления (трехлинейная схема); б — однолинейная схема; в — трехлинейная схема агрегата 12500 А двенадцати-фазного режима выпрямления; г — однолинейная схема; д — однолинейная схема агрегата 25 000 А и его коммутационная аппаратура

Первичным является появление в питающей сети коммутационных искажений напряжения, а гармонический анализ их позволяет выявить наличие высших гармоник напряжения. Порядок высших гармоник определяется формулой $n = mk \pm 1$, где m — число фаз выпрямления; $k=0, 1, 2, 3, \dots$ — последовательный ряд натуральных чисел.

Для шестифазной системы напряжения в кривой питающего напряжения имеются высшие гармоники следующего порядка, называемые каноническими: $n=5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, \dots$; для 12-фазной схемы $n=11, 13, 23, 25, 35, 37, \dots$; для 24-фазной схемы $n=23, 25, 47, 49, 71, 73$ и т. д.

Методика расчета коэффициента несинусоидальности напряжения k_U основывается на вычислении в любой точке питающей сети действующих значений коммутационных искажений напряжения, что равносильно учету всех высших гармоник. Следовательно, для определения k_U при работе вентильных преобразователей нет необходимости определять уровни отдельных гармоник. При этом удастся избежать ошибки, возникающей при учете только определенного числа высших гармоник.

Методика позволяет вычислять k_U в любой точке питающей сети, используя параметры, полученные при вычислении токов КЗ, и основывается на следующих допущениях: проводимости элементов питающей сети

считаются неемкостными. При этом допущении ошибка в расчете не превышает 10—15%. Предполагается, что в узлах сети, расположенных в непосредственной близости от вентильных преобразователей, отсутствуют БК, предназначенные для компенсации реактивной мощности; не учитываются аномальные гармоники.

Коэффициент несинусоидальности напряжения питающей сети определяется по формуле [2]

$$k_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_n^2}}{U_{ном}} 100 \quad (1.1)$$

Общий коэффициент несинусоидальности питающей сети при работе вентильных преобразователей может быть определен по формуле [2]

$$k_u = 100 \cdot x_c \sqrt{\frac{0,955 \cdot \sin \varphi}{x_c + x_{пр}} - 0,91} \quad (1.2)$$

где $x_c = \frac{S_{пр}}{S_{кз,6}}$ - эквивалентное сопротивление системы в

относительных единицах, приведенное к мощности преобразователя $S_{пр}$, т. е. сопротивление от условной точки сети бесконечной мощности до точки сети, в которой определяется k_U ; $S_{кз}$ — мощность КЗ в точке, в которой определяется k_U ; $x_{пр}$ — индуктивное сопротивление цепи преобразователя в относительных единицах, приведенное к $S_{пр}$, т. е. сопротивление от точки возникновения коммутационных КЗ до точки, в которой определяется k_U .

Формула (1.3) справедлива для преобразователей с любой последовательностью чередования фаз.

Кроме коэффициента несинусоидальности ГОСТ нормирует коэффициенты n-ой гармонической составляющей. Согласно [4]

$$k_{U(n)} = \frac{U_n}{U_{\text{ном}}} 100, \% \quad (1.3)$$

При определении k_U особое внимание следует обращать на $x_{\text{пр}}$. Чаще всего требуется определять k_U на шинах питания мощных тиристорных преобразователей. Под преобразователем подразумеваются выпрямительный мост (или их группа) и питающий понижающий трансформатор.

В этом случае $x_{\text{пр}}$ равно сопротивлению преобразовательного трансформатора и определяется по формуле [2]

$$x_{\text{пр}} = \frac{u_{k\%}}{100} \left(1 + \frac{k_p}{4}\right) \frac{S_{\text{пр}}}{S_{\text{ном,Т}}} \quad (1.4)$$

где $S_{\text{ном,Т}}$ — номинальная мощность преобразовательного трансформатора; k_p — коэффициент расщепления обмоток этого трансформатора; $u_k\%$ — сквозное напряжение КЗ трансформатора, приведенное к полной номинальной мощности трансформатора.

Для двухобмоточных трансформаторов, применяемых в шестифазных (трехфазных мостовых) схемах выпрямления, $k_p = 0$, трехобмоточных трансформаторов, применяемых в преобразователях, выполненных по двенадцатифазной схеме, в общем виде

$$k_p = \frac{u_{k(\text{НН1}-\text{НН2})}}{u_k}$$

где $u_{k(\text{НН1}-\text{НН2})}$ — напряжение КЗ между расщепленными вторичными обмотками трансформатора.

В общем случае для трансформаторов с расщепленными обмотками $k_p = 0 \div 4$, если ветви низшего напряжения трансформатора имеют хорошую электромагнитную связь друг с другом, $k_p = 0$; если обмотки НН не имеют магнитной связи друг с другом или преобразователь выполнен по схеме с двумя трансформаторами, имеющими разные схемы соединения, то $K_p = 4$.

Действующее значение высшей гармоники напряжения в любой точке питающей сети при работе преобразователя с любой последовательностью чередования фаз выпрямления может быть определено по формуле [2]

$$U_n = \frac{m}{\pi \cdot n} U_{\text{ном}} \frac{x_c}{x_c + x_{\text{пр}}} \sin \varphi \cdot \sin(n \cdot \gamma) \quad (1.5)$$

где $\gamma = \frac{3(x_c + x_{\text{пр}})}{m \cdot \sin \varphi}$ - угол коммутации, рад.

Действующее значение тока любой гармоники в цепи преобразователя определяется из выражения [2]

$$I_n = \frac{m}{\sqrt{3}\pi} \frac{S_{\text{пр}}}{U_{\text{ном}}(x_c + x_{\text{пр}})n^2} \sin \varphi \cdot \sin(n \cdot \gamma) \quad (1.6)$$

При работе группы вентильных преобразователей порядок расчета k_U следующий. По приведенным формулам определяются уровни высших гармоник напряжения для каждого преобразователя.

Одинаковые гармоники напряжения всех преобразователей геометрически суммируются $U_{n\Sigma} = \sum_{i=2}^p U_{ni}$ Затем определяется коэффициент несинусоидальности:

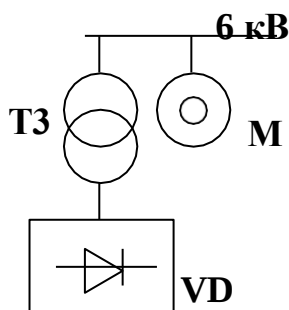
$$k_{U\Sigma} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^p U_{n\Sigma}^2}}{U_{\text{ном}}} 100$$

Особое внимание необходимо обращать на количество учитываемых гармоник, чтобы избежать ошибки в вычислении k_U . Чем больше количество преобразователей и фаз выпрямления, тем большее количество гармоник необходимо учитывать. Предлагается следующая эмпирическая формула:

$$p = n_{\text{max}} = 4qm + 1, \quad (1.7)$$

где n_{max} — наибольшая гармоника; q — число работающих преобразователей; m — число фаз выпрямления.

Пример 1. Для вентильного выпрямителя рассчитать коэффициенты n -ой гармонической составляющей напряжения и коэффициент несинусоидальности на шинах 6 кВ.



Исходные данные:

С: $S_{\text{кз},6} = 150 \text{ МВА}$

ТЗ: $S_{\text{ТЗ}} = 10 \text{ МВА}$; $U_{\text{ном}} = 6 \text{ кВ}$; $u_{\text{к},\%} = 10,5\%$

VD: $S_{\text{пр}} = 10 \text{ МВА}$; $\cos \varphi = 0,8$; $m = 6$

М: $P_{\text{М}} = 220 \text{ кВт}$; $\cos \varphi = 0,9$; $K_{\text{М}} = 1,2$; $K_{\text{I}} = 5,1$

Решение: Считаем сопротивление преобразователя по формуле (1.4)

$$x_{\text{пр}} = \frac{u_{\text{к},\%}}{100} \left(1 + \frac{k_p}{4}\right) \frac{S_{\text{пр}}}{S_{\text{ТЗ}}} = \frac{10,5}{100} \left(1 + \frac{0}{4}\right) \frac{10}{150} = 0,066$$

где k_p — коэффициент расщепления обмоток (для двухобмоточного

трансформатора равен 0)

Сопротивление системы

$$x_c = \frac{S_{\text{пр}}}{S_{\text{кз},6}} = \frac{10}{150} = 0,067$$

Коэффициент несинусоидальности по упрощенной формуле (1.2)

$$k_u = 100 \cdot x_c \sqrt{\frac{0,955 \cdot \sin \varphi}{x_c + x_{\text{пр}}}} - 0,91 = 100 \cdot 0,067 \sqrt{\frac{0,955 \cdot 0,6}{0,067 + 0,066}} - 0,91 = 12\%$$

Согласно [1] допустимый коэффициент несинусоидальности для напряжения 6 кВ составляет 5%. Так как расчетный коэффициент больше допустимого, необходима установка фильтрующих устройств.

Согласно [2] для вентильных преобразователей необходимо учитывать в расчетах только 5, 7, 11, 13 гармоники.

Угол коммутации в радианах

$$\gamma = \frac{3(x_c + x_{\text{пр}})}{m \cdot \sin \varphi} = \frac{3(0,067 + 0,066)}{6 \cdot 0,6} = 0,11 \text{ рад}$$

где m – число фаз преобразователя.

Напряжения высших гармоник и коэффициенты n -ной гармонической составляющей по (1.5) и (1.3)

$U_n = \frac{m}{\pi \cdot n} U_{\text{ном}} \frac{x_c}{x_c + x_{\text{пр}}} \sin \varphi \cdot \sin(n \cdot \gamma), [\text{kB}]$	$k_{U(n)} = \frac{U_n}{U_{\text{ном}}} 100, [\%]$
$U_5 = \frac{6}{\pi \cdot 5} 6 \frac{0,067}{0,067 + 0,066} 0,6 \cdot \sin(5 \cdot 0,11) = 0,36 \text{ kB}$	$k_{U(5)} = \frac{0,36}{6} 100 = 6\%$
$U_7 = \frac{6}{\pi \cdot 7} 6 \frac{0,067}{0,067 + 0,066} 0,6 \cdot \sin(7 \cdot 0,11) = 0,35 \text{ kB}$	$k_{U(7)} = \frac{0,35}{6} 100 = 5,8\%$
$U_{11} = \frac{6}{\pi \cdot 11} 6 \frac{0,067}{0,067 + 0,066} 0,6 \cdot \sin(11 \cdot 0,11) = 0,29 \text{ kB}$	$k_{U(11)} = \frac{0,29}{6} 100 = 4,8\%$
$U_{13} = \frac{6}{\pi \cdot 13} 6 \frac{0,067}{0,067 + 0,066} 0,6 \cdot \sin(13 \cdot 0,11) = 0,26 \text{ kB}$	$k_{U(13)} = \frac{0,26}{6} 100 = 4,3\%$

1.2. Дуговые сталеплавильные печи

Искажения питающего тока и напряжения при работе дуговых сталеплавильных печей возникают за счет нелинейной характеристики дуги и за счет нелинейной характеристики печного трансформатора, работающего при повышенных значениях магнитной индукции. Уровень высших гармоник тока при работе дуговых сталеплавильных печей сравнительно невелик, особенно по сравнению с высшими гармониками, генерируемыми

вентильными преобразователями. Однако с ними следует считаться, так как мощность дуговых печей постоянно растет.

На основании экспериментальных исследований [2] получено соотношение для определения максимальных значений уровней отдельных гармоник тока при работе дуговых печей.

$$I_n = \frac{I_T}{n^2} \quad (1.8)$$

где I_T — ток печного трансформатора в расчетном режиме (для расчета максимальных значений гармоник надо брать в расчет номинальный ток печного трансформатора); $n=2, 3, 4, 5\ldots$ — номер соответствующей гармоники. Из соотношения видно, что достаточно в расчетах учитывать только до 7-й гармоники, так как остальные гармоники малы.

Для группы одинаковых дуговых сталеплавильных печей

$$I_{n,r} = I_n \sqrt[4]{N} \quad (1.9)$$

где N — число печей, одновременно работающих в режиме расплавления.

Для группы печей разной мощности

$$I_{n,r} = I_{n,max} \sqrt{\sum_{i=1}^N S_{n,Ti} / S_{n,Tmax}} \quad (1.10)$$

где $S_{n,Ti}$ — мощность i -го печного трансформатора; $S_{n,Tmax}$ — наибольшая мощность трансформатора в группе дуговых печей; $I_{n,max}$ — ток n -ой гармоники печного трансформатора наибольшей мощности; N — общее число работающих печей.

Для определения k_U в соответствующей точке сети необходимо определить уровни напряжения отдельных гармоник, генерируемых ДСП. Фазное напряжение гармоники в расчетной точке питающей сети находится из выражения

$$U_n = \frac{\sqrt{3} I_n n U_{ном}^2}{S_K} \quad (1.11)$$

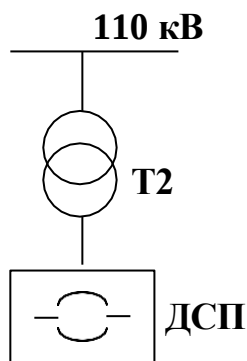
где I_n — действующее значение фазного тока n -ой гармоники; n — порядковый номер гармоники; $U_{ном}$ — номинальное линейное напряжение в расчетной точке; S_K — мощность КЗ в расчетной точке.

Общий коэффициент несинусоидальности в расчетной точке при работе дуговых сталеплавильных печей, %,

$$k_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^7 U_n^2}}{U_{ном}} 100 \quad (1.12)$$

где $U_{ном}$ — номинальное напряжение основной частоты в расчетной точке.

Пример 2. Для дуговой сталеплавильной печи рассчитать коэффициенты n-ой гармонической составляющей напряжения и коэффициент несинусоидальности на шинах 110 кВ.



Исходные данные:

С: $S_{кз,110}=2300$ МВА

T2: $S_{T2}=60$ МВА; $U_{ном}=110$ кВ

Решение: Считаем номинальный ток печного трансформатора

$$I_T = \frac{S_{T2}}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{60}{\sqrt{3} \cdot 110} = 0,31 \text{ кА}$$

Согласно [2] в практических расчетах для дуговых сталеплавильных печей учитываются гармоники со 2-ой по 7-ю.

Токи, напряжения высших гармоник и коэффициенты n-ой гармонической составляющей напряжения рассчитываем по формулам (1.8), (1.11) и (1.3), где n – номер гармоники

$$I_n = \frac{I_T}{n^2}, [\text{кА}],$$

$$I_2 = \frac{0,31}{2^2} = 0,078 \text{ кА} \quad I_3 = \frac{0,31}{3^2} = 0,034 \text{ кА} \quad I_4 = \frac{0,31}{4^2} = 0,019 \text{ кА} \quad I_5 = \frac{0,31}{5^2} = 0,012 \text{ кА}$$

$$I_7 = \frac{0,31}{7^2} = 0,006 \text{ кА}$$

Коэффициент несинусоидальности напряжения на шинах 110 кВ

$$k_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^7 U_n^2}}{U_{\text{ном}}} 100 = \frac{\sqrt{1,42^2 + 0,93^2 + 0,7^2 + 0,55^2 + 0,49^2 + 0,38^2}}{110} 100 = 1,83\%$$

Согласно [1] допустимый коэффициент несинусоидальности для напряжения 110 кВ составляет 2%. Так как расчетный коэффициент не превышает допустимый, установка фильтрующих устройств на шины 110 кВ не требуется.

1.3. Сварочные установки

По своему воздействию на несинусоидальность питающей сети сварочные нагрузки можно разделить на две категории: установки дуговой и контактной электросварки переменного тока, установки дуговой электросварки постоянного тока.

Установки дуговой электросварки переменного тока воздействуют на питающую сеть аналогично дуговым сталеплавильным печам. Включение сварочных машин контактной электросварки производится с помощью игнитронных или тиристорных ключей, которые для плавного регулирования сварочного тока снабжаются системами фазового регулирования угла зажигания, что приводит к искажению тока высшими гармониками, уровень которых аналогичен уровню гармоник для дуговой сварки переменного тока.

В общем случае для единичной установки электросварки переменного тока токи гармоник (рекомендуется учитывать только третью и пятую гармоники [2]) равны:

$$I_n = S_{\text{ном,т}} \beta_{\text{св}} \sqrt{\text{ПВ}} / (n^2 U_{\text{ном}}) \quad (1.13)$$

где $S_{\text{ном,т}}$ — номинальная мощность трансформатора; $\beta_{\text{св}}$ — коэффициент загрузки; ПВ — продолжительность включения.

Определение токов гармоник, генерируемых установками дуговой электросварки постоянного тока, аналогично определению гармоник для вентильных преобразователей. Токи гармоник (рекомендуется учитывать только 5, 7, 11, 13-ю гармоники) единичной установки дуговой электросварки постоянного тока определяются по формуле

$$I_n = \frac{I_{\text{св}}}{n} \quad (1.14)$$

где $I_{\text{св}}$ — номинальный первичный ток установки.

Для группы установок электросварки независимо от режима работы суммарные отдельные токи гармоник определяются согласно [2]

$$I_{n,\Gamma} = \sqrt{\sum_i^N I_{ni}^2} \quad (1.15)$$

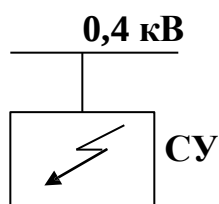
где I_{ni} — ток n -й гармоники i -й установки; N — общее число работающих установок.

Для оценки влияния сварочных нагрузок на сеть предприятия определяется общий коэффициент несинусоидальности по формуле, %,

$$k_U = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N U_{ni}^2}}{U_{\text{ном}}} 100 \quad (1.16)$$

где $U_n = \frac{\sqrt{3} I_n n U_{\text{ном}}^2}{S_K}$ - напряжение n -й гармоники.

Пример 3. Для группы сварочных установок переменного тока рассчитать коэффициенты n -ой гармонической составляющей напряжения и коэффициент несинусоидальности на шинах 0,4 кВ.



Исходные данные:

С: $S_{K3,0,4}=2$ МВА

СУ: $S_{\text{ном}}=30$ кВА; $U_{\text{ном}}=0,4$ кВ; ПВ=60%; $\beta_{\text{св}}=0,5$;
N=6

Решение: Согласно [2] в практических расчетах для сварочных установок переменного тока учитываются 3 и 5 гармоники.

Токи высших гармоник для группы сварочных установок рассчитываем по формулам (1.13) и (1.15), где n – номер гармоники

$I_n = \frac{S_{\text{ном}} \beta_{\text{св}} \sqrt{\text{ПВ}}}{n^2 U_{\text{ном}}}$	$I_{n,\Gamma} = \sqrt{\sum_{i=1}^N I_{ni}^2}$
$I_3 = \frac{30 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{0,6}}{3^2 \cdot 0,4} = 3,23 \text{ А} \quad I_5 = \frac{30 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{0,6}}{5^2 \cdot 0,4} = 1,16 \text{ А}$	$I_{3,\Gamma} = \sqrt{6 \cdot 3,23^2} = 7,91 \text{ А}$
	$I_{5,\Gamma} = \sqrt{6 \cdot 1,16^2} = 2,84 \text{ А}$

Напряжения высших гармоник и коэффициенты n -ой гармонической составляющей рассчитываем по формулам (1.11) и (1.3)

$U_n = \frac{\sqrt{3} I_n n U_{\text{ном}}^2}{S_{K3,0,4}}, [\text{кВ}]$	$k_{U(n)} = \frac{U_n}{U_{\text{ном}}} 100, [\%]$
$U_3 = \frac{\sqrt{3} \cdot 7,91 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 0,4^2}{2} = 3,29 \cdot 10^{-3} \text{ кВ}$	$k_{U(3)} = \frac{3,29 \cdot 10^{-3}}{0,4} 100 = 0,82\%$
$U_5 = \frac{\sqrt{3} \cdot 2,84 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 0,4^2}{2} = 1,97 \cdot 10^{-3} \text{ кВ}$	

$$k_{U(5)} = \frac{1,97 \cdot 10^{-3}}{0,4} 100 = 0,5\%$$

Коэффициент несинусоидальности напряжения на шинах 0,4 кВ

$$k_U = \frac{\sqrt{\sum_3^5 U_n^2}}{U_{ном}} 100 = \frac{\sqrt{0,82^2 + 0,5^2}}{0,4} 100 = 2,4\%$$

Согласно [1] допустимый коэффициент несинусоидальности для напряжения 0,4 кВ составляет 8%. Так как расчетный коэффициент не превышает допустимый, установка фильтрующих устройств на шины 0,4 кВ не требуется.

2. Расчет коэффициента несимметрии

При расчете напряжения обратной последовательности и коэффициента несимметрии однофазные нагрузки учитываются введением в схему замещения задающих токов обратной последовательности.

Модуль тока обратной последовательности, потребляемого однофазными нагрузками [4]

$$I_2 = \frac{\sqrt{3}}{6U_{ном}} \sqrt{3S_{ab}^2 + (S_{ab} - 2S_{bc})^2} \quad (2.1)$$

где S_{ab} и S_{bc} – однофазная нагрузка соответственно между фазами ab и bc.

Схема замещения сети для нахождения напряжения обратной последовательности U_2 приведена на рис.2.1 [4].

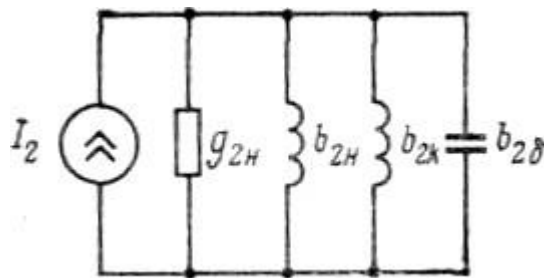


Рис. 2.1. Схема замещения сети для определения напряжения обратной последовательности. На схеме обозначено: I_2 — ток обратной последовательности несимметричной нагрузки; $b_{2к}$ и $b_{2δ}$ — проводимости короткого замыкания сети мощностью S_K и трехфазной батареи конденсаторов Q_6 (если последняя имеется); $b_{2н}$ и $g_{2н}$ — проводимость остальной нагрузки подстанции, рассматриваемой в качестве обобщенной; в относительных единицах

$$Y_{2H} = \frac{1}{0,18 + j0,24} = 2 - j2,67$$

Выражения для активных и реактивных проводимостей имеют вид:

$$b_{2K} = \frac{S_K}{U_{\text{НОМ}}^2}; \quad b_{2\delta} = \frac{Q_{\delta}}{U_{\text{НОМ}}^2}; \quad b_{2H} = \frac{2,67S_H}{U_{\text{НОМ}}^2}; \quad g_{2H} = \frac{2S_H}{U_{\text{НОМ}}^2};$$

Модуль полного сопротивления обратной последовательности $Z_{2\Sigma}$ сети после выполнения несложных преобразований представляется выражением [4]:

$$Z_{2\Sigma} = \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{\sqrt{4S_{\text{H}}^2 + (S_{\text{K}} + 2,67S_{\text{H}} - Q_6)^2}} \quad (2.2)$$

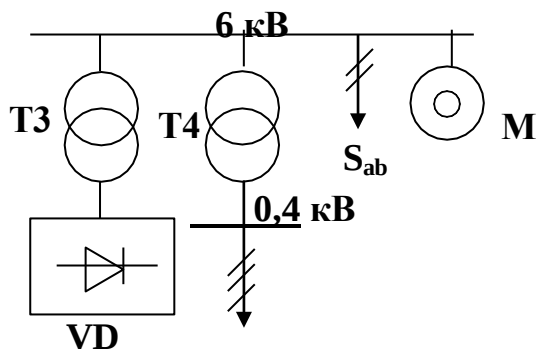
Напряжение обратной последовательности

$$U_2 = \sqrt{3}I_2 Z_{2\Sigma} \quad (2.3)$$

Коэффициент несимметрии

$$\varepsilon_U = \frac{U_2}{U_{\text{НОМ}}} 100\% \quad (2.4)$$

Пример 4. Для схемы на рисунке определить коэффициент несимметрии при подключении однофазной печи к фазам а и в.



Исходные данные:

С: $S_{\text{КЗ},6}=150$ МВА
Т4: $S_{\text{T4}}=1$ МВА; $U_{\text{НОМ}}=6$ кВ; $u_{\text{K},\%}=5,5\%$;
 $\Delta P_{\text{KЗ}}=10,5$ кВт; $\Delta P_{\text{XX}}=1,9$ кВт
VD: $S_{\text{пр}}=10$ МВА; $\cos \varphi=0,8$; $m=6$
М: $P_{\text{M}}=220$ кВт; $\cos \varphi=0,9$
Н: $S_{\text{нагр}}=1$ МВА; $S_{\text{ab}}=5,5$ МВА

Решение: Ток обратной последовательности находим по формуле (2.1)

$$I_2 = \frac{\sqrt{3}}{6U_{\text{НОМ}}} \sqrt{3S_{\text{ab}}^2 + (S_{\text{ab}} - 2S_{\text{bc}})^2} = \frac{\sqrt{3}}{6 \cdot 6} \sqrt{3 \cdot 5500^2 + (5500 - 2 \cdot 0)^2} = 530 \text{ А}$$

где S_{ab} и S_{bc} – однофазная нагрузка соответственно между фазами аb и bс, кВА.

Суммарная нагрузка на шинах 6 кВ с учетом вентильного выпрямителя

$$S_{\text{H}} = S_{\text{пр}} + S_{\text{нагр}} + S_{\text{M}} = 10 + 1 + 0,22/0,9 = 11,24 \text{ МВА}$$

где $S_{\text{пр}}$ – мощность вентильного преобразователя, МВА; $S_{\text{нагр}}$ – мощность нагрузки, МВА; S_{M} – мощность двигателя, МВА.

Модуль сопротивления обратной последовательности по (2.2)

$$Z_{2\Sigma} = \frac{U_{\text{ном}}^2}{\sqrt{4S_{\text{н}}^2 + (S_{\text{кз},6} + 2,67S_{\text{н}} - Q_6)^2}} = \frac{6^2}{\sqrt{4 \cdot 11,24^2 + (150 + 2,67 \cdot 11,24 - 0)^2}} = 0,2 \text{ Ом}$$

где $S_{\text{кз},6}$ – мощность короткого замыкания системы на шинах 6 кВ, МВА; Q_6 – мощность конденсаторной батареи (в данном случае не установлена, принимаем равной 0), Мвар.

Напряжение обратной последовательности по (2.3)

$$U_2 = \sqrt{3} I_2 Z_{2\Sigma} = \sqrt{3} \cdot 530 \cdot 0,2 = 182,17 \text{ В}$$

Коэффициент несимметрии по (2.4)

$$\varepsilon_U = \frac{U_2}{U_{\text{ном}}} 100\% = \frac{182,17}{6000} 100\% = 3\%$$

Для напряжения 6 кВ допустимый коэффициент несимметрии согласно [1] составляет 2%. Так как расчетный коэффициент несимметрии превышает допустимый, необходима установка симметрирующих устройств.

3. Влияние качества электроэнергии на работу электроприемников

3.1. Расчет дополнительных потерь при несинусоидальности напряжения

Несинусоидальность напряжения влияет на все виды электроприемников. Вызвано это не только тепловым дополнительным нагревом ЭП от высших гармоник (ВГ) тока, но и тем, что ВГ образуют составляющие прямой последовательности 1, 4, 7 и т.д.), обратной последовательности (2, 5, 8 и т.д.) и нулевой последовательности (гармоники кратные трем). В частности, токи нулевой последовательности создают дополнительное подмагничивание стали в электрических машинах, что приводит к ухудшению характеристик этих ЭП и дополнительному нагреву сердечников (статоры АД, магнитопроводы трансформаторов).

Обычно ВГ напряжения, суммируясь с основной гармоникой, способствуют повышению действующего значения напряжения на зажимах ЭП.

Высшие гармоники напряжения и тока неблагоприятно влияют на электрооборудование, системы автоматики, релейной защиты, телемеханики и связи: появляются дополнительные потери в электрических машинах, трансформаторах и сетях, ухудшаются условия работы батарей конденсаторов (БК), сокращается срок службы изоляции электрических машин и аппаратов, возрастает аварийность в кабельных сетях, ухудшается качество работы, а иногда появляются сбои в работе систем релейной защиты, автоматики, телемеханики и связи.

Высшие гармоники напряжения и тока влияют также на значения коэффициента мощности, вращающего момента электродвигателей. Однако снижение этих характеристик, даже при коэффициенте искажения формы кривой напряжения 10—15 %, оказывается весьма небольшим. Уровень дополнительных активных потерь от ВГ в основных сетях электрических систем составляет несколько процентов от потерь при синусоидальном напряжении. В сетях предприятий, крупных промышленных центров, а также сетях электрифицированного железнодорожного транспорта эти потери могут достигать 10—15 %.

Во многих случаях в электрических сетях различных напряжений с источниками гармоник КБ, по существу, не работают: они или отключаются вследствие перегрузки по току, или в короткий срок выходят из строя в результате вспучивания, а иногда и разрушения. В условиях промышленных предприятий батареи конденсаторов способствуют созданию условий резонанса токов (или близких к этому режиму) на частоте какой-либо из гармоник, что приводит к опасной перегрузке их по току. В тяговых и промышленных электросетях с преобразователями такие перегрузки зафиксированы при резонансе на гармониках 40—50-го порядка, в сетях с электродуговыми печами и сварочными установками - на гармониках 3—7-го порядка.

Особенно чувствительны к появлению ВГ конденсаторные батареи и кабели. В конденсаторах потери пропорциональны частоте $\Delta P = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta$. ВГ приводят к дополнительному нагреву конденсаторов и быстрому выходу их из строя. Ограничение по дополнительному нагреву КБ заданы допустимым увеличением действующего на его зажимах напряжения до 10 % от $U_{\text{ном}}$ и действующего значения тока до 30% от $I_{\text{ном}}$.

Кроме того, увеличение k_U приводит к старению изоляции, качество которой характеризуется $\operatorname{tg} \delta$. Работа КБ с $k_U=5\%$ в течение двух лет приводит к увеличению $\operatorname{tg} \delta$ в 2 раза.

Аналогично восприимчивы к ВГ и кабели, качество диэлектрика которых характеризуется током утечки. При $k_U=6,85\%$ за 2,5 года ток утечки возрастает на 36 %, а через 3,5 года - на 43 %.

При несинусоидальном напряжении наблюдается ускоренное старение изоляции электрических машин, трансформаторов, конденсаторов и кабелей в результате необратимых физико-химических процессов, протекающих под воздействием полей, создаваемых ВГ тока, а также повышенного нагрева токоведущих частей.

Для оценки дополнительных потерь мощности, обусловленных ВГ тока могут быть использованы следующие формулы [3]:

для асинхронных двигателей:

$$\Delta P_{\text{м,п}} = 2 \Delta P_{\text{м,ном}} K^2 \sum_I \left(k^2 \frac{1}{U^{(n)} n \sqrt{n}} \right) \quad (3.1)$$

где $\Delta P_{\text{м,ном}}$ — потери в меди статора при номинальном токе

основной частоты; K_I — кратность пускового тока при номинальном напряжении основной частоты; $K_{U(n)} = U_n / U_{\text{ном}}$ — относительное напряжение n-й гармоники.

для синхронных машин:

$$\Delta P_p = \frac{\sqrt{2}(r_2 - r_{CT})}{R_X^2 X_2^2} * P_{\text{НОМ}} \sum_{n=2}^{\infty} \frac{K_{u(n)}^2}{n\sqrt{n}} \quad (3.2)$$

где r_2 , x_2 — активное и реактивное сопротивление обратной последовательности статора СМ; r_{CT} — активное сопротивление статора; R_X коэффициент, равный 0,71 для явнополюсных машин и 0,88 — для неявнополюсных.

В статоре СМ:

$$\Delta P_{CT} = K_{CT} P_{\text{НОМ}} \sum_{n=2}^{40} \frac{K_{U(n)}^2}{n\sqrt{n}} \quad (3.3)$$

где $K_{CT} = \frac{0,47 P_{M1\text{НОМ}}}{R_X^2 X_2^2 P_{\text{НОМ}}}$ — коэффициент, учитывающий потери в меди обмотки от тока основной частоты, а также глубину проникновения тока в проводник;

для силовых трансформаторов:

$$\Delta P_{T,n} = \Delta P_{XX} \sum_{n=2}^{40} k^2 \frac{U(n)}{n\sqrt{n}} + 0,6 \frac{\Delta P_{T,\text{НОМ}}}{u_{k,\%}} \sum_{n=2}^{40} \left(k^2 \frac{U(n)}{n\sqrt{n}} \right) \quad (3.4)$$

где ΔP_{XX} , ΔP_{K3} , u_K — параметры трансформатора.

для силовых косинусных конденсаторов:

$$\Delta P_{KB} = C \omega \text{tg} \delta \sum_{n=2}^{40} U_n^2 n, \quad (3.5)$$

где $\text{tg} \delta$ — тангенс угла диэлектрических потерь конденсатора; U_n — действующее значение напряжения n-й ВГ;

для линий электропередачи:

$$\Delta P = 3 \sum_{n=2}^{40} I_n^2 r K_{rn},$$

3.2. Влияние несимметрии напряжения

При несимметрии в трехфазных сетях появляются дополнительные потери в элементах электросетей, сокращается срок службы ламп и электрооборудования и снижаются экономические показатели его работы.

При несимметрии напряжений в электрических машинах переменного

тока возникают магнитные поля, вращающиеся не только с синхронной скоростью в направлении вращения ротора, но и в противоположном с удвоенной синхронной скоростью. В результате возникает тормозной электромагнитный момент, а также дополнительный нагрев активных частей машины, главным образом, ротора за счет токов двойной частоты.

Ток I_2 обратной последовательности [4]

$$I_2 = \frac{\sqrt{3}}{6U_{\text{ном}}} \sqrt{3S_{ab}^2 + (S_{ab} - 2S_{bc})^2} \quad (3.6)$$

где S_{ab} и S_{bc} – однофазная нагрузка соответственно между фазами ab и bc .

Этот ток создает вращающееся магнитное поле обратной последовательности, индуцируя в цепях роторов ЭДС и токи двойной частоты, что приводит к дополнительному нагреву машины.

В АД при коэффициентах обратной последовательности напряжения, встречающихся на практике ($K_{2U} \leq 0,05—0,06$), снижение вращающего момента оказывается пренебрежимо малым. Влияние несимметрии на потери в электродвигателе и, следовательно, нагрев и сокращение срока службы изоляции его проявляются в большей мере. В целом срок службы АД при $K_{2U} = 2—4 \%$ сокращается на 11 % [3].

При работе электродвигателя с номинальным вращающимся моментом и коэффициентом несимметрии напряжений $K_{2U} = 4 \%$, срок службы его сокращается примерно в 2 раза только за счет дополнительного нагрева. Если напряжение на одной из фаз будет значительно превышать номинальное значение, сокращение срока службы изоляции будет еще больше. Для обеспечения нормальных условий работы электродвигателей в этом случае необходимо снижать располагаемую мощность их, а при проектировании — увеличивать номинальную мощность электродвигателей, если не предусматриваются специальные мероприятия по симметрированию напряжений сети. Эти обстоятельства возникают, например, при проектировании электрифицированного железнодорожного транспорта, на горно-обогатительных и некоторых других промышленных предприятиях. Для расчета дополнительных потерь, вызванных несимметрией напряжения на вводах АД может быть использовано следующее выражение [4]:

$$\Delta P_{\text{АД}} = 2,41 \Delta P_{\text{м1ном}} K_I^2 \varepsilon_U^2 \quad (3.7)$$

где $\Delta P_{\text{м1ном}}$ — потери в меди статора при номинальном токе основной частоты; K_I — кратность пускового тока при номинальном напряжении основной частоты; ε_U — коэффициент несимметрии напряжения в отн. ед.

При несимметрии напряжений в синхронных машинах (СМ) наряду с возникновением дополнительных потерь и нагревом статора и ротора могут возникать опасные вибрации в результате появления знакопеременных вращающих моментов и тангенциальных сил, пульсирующих с двойной частотой сети. При значительной несимметрии вибрация может оказаться

опасной, в особенности при недостаточной прочности или наличии дефектов сварных соединений. При несимметрии токов, не превышающей 30 % опасные перенапряжения в элементах конструкций, как правило, не возникают. Снижение срока службы СД при $K_{2u} = 2 - 4$ % составляет 16 % [3].

Дополнительные потери мощности в СМ при несимметричной нагрузке вызывают появление местных (локальных) нагревов обмотки возбуждения, что приводит к необходимости снижать ток возбуждения и тем самым уменьшать значение реактивной мощности, выдаваемой в сеть. При этом может возникнуть необходимость снизить активную нагрузку генератора или момент на валу синхронного двигателя. Дополнительные потери в статоре СМ значительно меньше аналогичных потерь в обмотке ротора, поэтому ими обычно пренебрегают

$$\Delta P_{\text{СМ}} = \Delta P_{\text{Дном}} \frac{U_2^2}{Z_{2\text{СМ}}^2}, \quad (3.8)$$

где $\Delta P_{\text{Дном}} = 3I_{\text{НОМ}}^2 r_{2\text{P}}$ — дополнительные потери в СМ при токе обратной последовательности, равном номинальному; $r_{2\text{P}}$ — активное сопротивление обратной последовательности обмотки ротора; $Z_{2\text{СМ}}$ — полное сопротивление обратной последовательности СМ.

Несимметрия напряжений не оказывает заметного влияния на работу воздушных и кабельных линий, в то же время нагрев трансформаторов и, следовательно, сокращение срока их службы могут оказаться существенными. В случае несимметрии токов трансформатора нагрев масла будет несколько меньше, чем в случае симметричной нагрузки при токе фаз, равном току наиболее загруженной фазы. Это объясняется более интенсивным охлаждением обмотки этой фазы. Такие условия имеют место в сетях 6—10—35 кВ промышленных предприятий, работающих с изолированной или компенсированной нейтралью. Расчеты показывают, что при номинальной нагрузке трансформатора и коэффициенте несимметрии токов равном 10 % срок службы изоляции трансформатора сокращается на 16 %.

Дополнительные потери в силовых трансформаторах можно оценить по формуле

$$\Delta P_{\text{Т,нс}} = \left(\Delta P_{\text{кз}} + \frac{\Delta P_{\text{хх}}}{u_{\text{к, \%}}} \right) \epsilon_{\text{U}} \quad (3.9)$$

где $\Delta P_{\text{хх}}$, $\Delta P_{\text{кз}}$, $u_{\text{к}}$ — расчетные данные трансформатора.

Срок службы трансформаторов при $K_{2u} = 2 - 4$ % сокращается на 4 % [3].

При несимметрии линейных напряжений реактивная мощность, генерируемая батареей конденсаторов, изменяется по сравнению с номи-

нальным значением $Q_{\text{НОМ}}$ на величину

$$\Delta Q_{\text{НОМ}} = Q_{\text{НОМ}} \frac{U_{\text{НОМ}}^2 - U_1^2 (1 + \varepsilon^2)}{U_{\text{НОМ}}^2} = Q_{\text{НОМ}} \frac{U_{\text{НОМ}}^2 - U_1^2}{U_{\text{НОМ}}^2}, \quad (3.10)$$

где U_1 — линейное напряжение прямой последовательности; $U_{\text{НОМ}}$ — номинальное напряжение батареи конденсаторов.

При $K_{2U} = 0,05—0,06$ значение $\Delta Q = (0,01—0,04)Q_{\text{НОМ}}$. Поскольку на практике напряжение U_1 может быть больше или меньше напряжения $U_{\text{НОМ}}$, то возможно как увеличение, так и уменьшение генерируемой реактивной мощности. В последнем случае в наиболее загруженной фазе значения тепловых потерь могут значительно превосходить номинальное значение, создавая местный перегрев изоляции, приводящий к сокращению срока ее службы на 20 % [3]

$$\Delta P_{\text{КБ}} = Q_{\text{НОМ}} \text{tg} \varepsilon_U, \quad (3.11)$$

где $Q_{\text{НОМ}}$ — номинальная мощность конденсаторной батареи (КБ); $\text{tg} \delta$ — тангенс угла диэлектрических потерь; ε_U — относительное значение коэффициента несимметрии.

Несимметрии напряжений и токов отрицательно влияет на работу рудно-термических печей, вызывая снижение их производительности, увеличение расхода электроэнергии и, тем самым, уменьшение КПД печи. Ухудшение основных показателей работы рудно-термических печей после некоторых граничных значений несимметрии, когда наблюдается резкое падение производительности и КПД печи при резком возрастании расхода электроэнергии. Последнее объясняется возникновением зон активного и пассивного хода реакции и, тем самым, неравномерностью распределения энергии по объему ванны печи. Увеличение напряжения обратной последовательности на 20 % приводит к снижению производительности рудно-термических печей на 30—40 % [3].

При появлении в 3-фазной сети 380 В напряжения нулевой последовательности ухудшаются режимы однофазных ЭП. Токи нулевой последовательности постоянно протекают через заземлители и значительно высушивают грунт, увеличивая сопротивление заземляющих устройств. Это может быть недопустимо для работы релейной защиты, из-за усиления воздействия токов нулевой последовательности на низкочастотные установки связи, устройства железнодорожных блокировок. При появлении токов обратной и нулевой последовательности увеличиваются суммарные токи в отдельных фазах сети.

3.3. Расчет снижения срока службы электрооборудования при несинусоидальности и несимметрии напряжения

При работе электрооборудования в номинальном режиме дополнительные потери от токов высших гармоник и несимметрии напряжения приводят к перегреву токоведущих частей выше допустимой температуры. К повышению температуры весьма чувствительна изоляция обмоток, срок службы которой снижается.

Согласно [4] прирост температуры от токов высших гармоник и токов обратной последовательности

$$\Delta\tau = \tau_{\text{норм}} \frac{\Delta P_{\text{н}} + \Delta P_{\text{нс}}}{\Delta P_{\text{ном}}} \quad (3.12)$$

где $\tau_{\text{норм}}$ – рабочая температура электрооборудования без воздействия токов высших гармоник и токов обратной последовательности, °С, $\Delta P_{\text{н}}$ и $\Delta P_{\text{нс}}$ – дополнительные потери соответственно от токов высших гармоник и несимметрии напряжения.

Коэффициент снижения срока службы электрооборудования под воздействием токов высших гармоник и несимметрии напряжения [4]

$$\frac{\Delta t}{t} = 0,086\Delta\tau + \frac{(0,086\Delta\tau)^2}{2} \quad (3.13)$$

Снижение срока службы электрооборудования под воздействием

токов высших гармоник и токов обратной последовательности [4]

$$\Delta t = t_{\text{норм}} \frac{\Delta t}{t} \quad (3.14)$$

где $t_{\text{норм}}$ – нормальный срок службы оборудования, лет.

Пример 5. Для схемы из примера 4 рассчитать дополнительные потери от токов высших гармоник и несимметрии напряжения в асинхронном двигателе и цеховом трансформаторе Т4, а также снижение срока службы из-за перегрева токами высших гармоник и токами обратной последовательности. Нормальный срок службы принять 20 лет. Рабочая температура 75°C.

Решение:

а) Считаем дополнительные потери и снижение срока службы для асинхронного двигателя.

Номинальный ток двигателя

$$I_{\text{м,ном}} = \frac{P_{\text{м}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi} = \frac{0,22}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,9} = 0,024 \text{ кА}$$

Активное сопротивление обмотки статора

$$R_{\text{м}} = \frac{\frac{K}{K_1^2} \frac{U^2}{S_{\text{ном}}}}{\frac{1,2}{5,1^2} \frac{6^2 \cdot 0,9}{0,22}} = 6,8 \text{ Ом}$$

Номинальные потери мощности

$$\Delta P_{\text{м,ном}} = 3 I_{\text{ном}}^2 R_{\text{м}} = 3 \cdot 24^2 \cdot 6,8 \cdot 10^{-3} = 11,74 \text{ кВт}$$

Дополнительные потери от токов высших гармоник считаем по формуле (3.1)

$$\Delta P_{\text{м,п}} = 2 \Delta P_{\text{м,ном}} K_1^2 \sum \left(k_{U(n)}^2 \frac{1}{n \sqrt{n}} \right),$$

где $k_{U(n)}$ – коэффициенты n-ной гармонической составляющей напряжения, взятые в относительных единицах. В данном случае значения выбираем из примера 1.

$$\Delta P_{\text{м,п}} = 2 \cdot 11,74 \cdot 5,1^2 \sum \left(0,06^2 \frac{1}{5\sqrt{5}} + 0,058^2 \frac{1}{7\sqrt{7}} + 0,048^2 \frac{1}{11\sqrt{11}} + 0,043^2 \frac{1}{13\sqrt{13}} \right) = 0,37 \text{ кВт}$$

Дополнительные потери от токов обратной последовательности при несимметрии напряжения считаем по (3.7)

$$\Delta P_{\text{м,нс}} = 2,41 \Delta P_{\text{м,ном}} K_1^2 \varepsilon_U^2 = 2,41 \cdot 11,74 \cdot 5,1^2 \cdot 0,03^2 = 0,66 \text{ кВт}$$

где ε_U – коэффициент несимметрии напряжения на шинах 6 кВ из примера 4, о.е.

Прирост температуры от токов высших гармоник и токов обратной

последовательности по (3.12)

$$\Delta\tau = \tau_{\text{норм}} \frac{\Delta P_{\text{м,п}} + \Delta P_{\text{м,нс}}}{\Delta P_{\text{м,ном}}} = 75 \frac{0,37 + 0,66}{11,74} = 6,58^\circ\text{C}$$

где $\tau_{\text{норм}}$ – рабочая температура двигателя без воздействия токов высших гармоник и токов обратной последовательности, $^\circ\text{C}$.

Коэффициент снижения срока службы двигателя под воздействием токов высших гармоник и токов обратной последовательности по (3.13)

$$\frac{\Delta t}{t} = 0,086\Delta\tau + \frac{(0,086\Delta\tau)^2}{2} = 0,086 \cdot 6,58 + \frac{(0,086 \cdot 6,58)^2}{2} = 0,73$$

Снижение срока службы двигателя под воздействием токов высших гармоник и токов обратной последовательности по (3.14)

$$\Delta t = t_{\text{норм}} \frac{\Delta t}{t} = 20 \cdot 0,73 = 14,6 \text{ года}$$

б) Считаем дополнительные потери и снижение срока службы для цехового трансформатора Т4.

Номинальный ток трансформатора

$$I_{\text{Т4,ном}} = \frac{S_{\text{Т4}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}} = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 6} = 0,096 \text{ кА}$$

Активное сопротивление трансформатора

$$R_{\text{Т4}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}} U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{ном}}^2} = \frac{0,0105 \cdot 6^2}{1^2} = 0,378 \text{ Ом}$$

где $\Delta P_{\text{кз}}$ – потери мощности короткого замыкания трансформатора, МВт.

Номинальные потери мощности

$$\Delta P_{\text{Т4,ном}} = \Delta P_{\text{хх}} + 3I_{\text{Т4,ном}}^2 R_{\text{Т4}} = 1,9 + 3 \cdot 96^2 \cdot 0,378 \cdot 10^{-3} = 12,35 \text{ кВт}$$

где $\Delta P_{\text{хх}}$ – потери мощности холостого хода трансформатора, кВт.

Дополнительные потери от токов высших гармоник по (3.4)

$$\Delta P_{\text{Т4,п}} = \Delta P_{\text{хх}} \sum_{U(n)} k^2 + 0,6 \frac{\Delta P_{\text{Т4,ном}}}{u_{\text{k, \%}}} \sum \left(k^2 \frac{1}{n\sqrt{n}} \right),$$

где $k_{U(n)}$ – коэффициенты n-ной гармонической составляющей напряжения, взятые в относительных единицах. В данном случае значения выбираем из примера 1.

$$+ 0,6 \cdot \frac{12,35}{0,055} \sum \left(\frac{0,06^2}{5\sqrt{5}} + \frac{0,058^2}{7\sqrt{7}} + \frac{0,048^2}{11\sqrt{11}} + \frac{0,043^2}{13\sqrt{13}} + 1 \right) = 0,103 \text{ кВт}$$

Дополнительные потери от токов обратной последовательности по (3.9)

$$\Delta P_{T4,nc} = \left(\Delta P_{xx} + \frac{\Delta P_{T4,ном}}{u_{k,\%}} \right) \epsilon_U^2 = \left(1,9 + \frac{12,35}{0,055} \right) 0,03^2 = 0,2 \text{ кВт}$$

Прирост температуры от токов высших гармоник и токов обратной последовательности по (3.12)

$$\Delta \tau = \tau_{ном} \frac{\Delta P_{T4,n} + \Delta P_{T4,nc}}{\Delta P_{T4,ном}} = 75 \frac{0,103 + 0,2}{12,35} = 1,86^\circ \text{C}$$

где $\tau_{ном}$ – рабочая температура трансформатора без воздействия токов высших гармоник и токов обратной последовательности, $^\circ\text{C}$.

Коэффициент снижения срока службы трансформатора под воздействием токов высших гармоник и токов обратной последовательности по (3.13)

$$\frac{\Delta t}{t} = 0,086\Delta\tau + \frac{(0,086\Delta\tau)^2}{2} = 0,086 \cdot 1,86 + \frac{(0,086 \cdot 1,86)^2}{2} = 0,17$$

Снижение срока службы трансформатора под воздействием токов высших гармоник и токов обратной последовательности по (3.14)

$$\Delta t = t_{\text{норм}} \frac{\Delta t}{t} = 20 \cdot 0,17 = 3,45 \text{ года}$$

Практическое занятие № 8

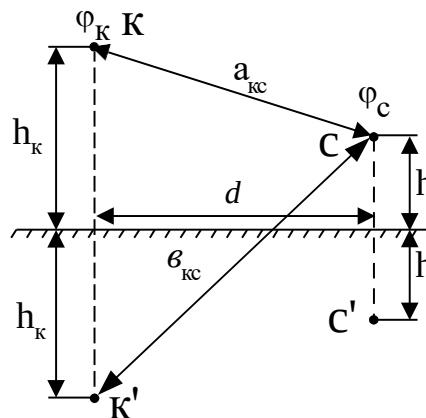
Расчет потенциалов смежных проводов и в изолированных проводах контактной сети электрическим полем влияющего провода

В качестве влияющего провода возьмем одиночный контактный провод К. Заданы: потенциал контактного провода φ_K , радиусы проводов, расстояния между проводами, расчетная схема, представленная на рис. 5.5. Требуется найти потенциал смежного провода φ_C . Потенциалы φ_K , φ_C и линейные заряды проводов τ_K и τ_C будут связаны в соответствии с разд. 5.2 данного пособия следующим образом

$$\varphi_K = \tau_K \alpha_{KK} + \tau_C \alpha_{KC}, \quad (5.8)$$

$$\varphi_C = \tau_K \alpha_{CK} + \tau_C \alpha_{CC},$$

где α_{KK} и $\alpha_{CK} = \alpha_{KC}$ будут определяться по формулам (5.7) и (5.6) соответственно. Уравнения (5.8) называются уравнениями Максвелла.



Как правило, заряд смежной линии очень мал (линия связи или другие низковольтные провода) или совсем отсутствует (провод отключен от источника питания и изолирован), поэтому принимаем $\tau_C = 0$; тогда из первого уравнения системы (5.8) получаем $\tau_K = \varphi_K / \alpha_{KK}$, а из второго

уравнения

$$\varphi_C = \frac{\varphi_K \alpha_{KC}}{\alpha_{KK}}, \quad (5.9)$$

$$\alpha_{\text{КС}} = q \ln \frac{b_{\text{КС}}}{a_{\text{КС}}}, \quad \alpha_{\text{КК}} = q \frac{2h_{\text{К}}}{r_{\text{К}}}, \quad (5.10)$$

где $r_{\text{К}}$ – радиус контактного провода.

Подставив значения $\alpha_{\text{КС}}$ и $\alpha_{\text{КК}}$ в формулу (5.9), получим

$$\varphi_{\text{С}} = \varphi_{\text{К}} \frac{\ln(b_{\text{КС}} / a_{\text{КС}})}{\ln(2h_{\text{К}} / r_{\text{К}})}. \quad (5.11)$$

Далее, по данным рис. 5.5 находим

$$\begin{aligned} \ln \frac{b_{\text{КС}}}{a_{\text{КС}}} &= \ln \frac{\sqrt{d^2 + (h_{\text{К}} + h_{\text{С}})^2}}{\sqrt{d^2 + (h_{\text{К}} - h_{\text{С}})^2}} = \frac{1}{2} \ln \frac{d^2 + (h_{\text{К}} + h_{\text{С}})^2}{d^2 + (h_{\text{К}} - h_{\text{С}})^2} = \\ &= \frac{1}{2} \ln \frac{1 + 2(h_{\text{К}}h_{\text{С}})/(d^2 + h_{\text{К}}^2 + h_{\text{С}}^2)}{1 - 2(h_{\text{К}}h_{\text{С}})/(d^2 + h_{\text{К}}^2 + h_{\text{С}}^2)} = \frac{1}{2} \ln \frac{1+x}{1-x}; \end{aligned} \quad (5.12)$$

значение x очевидно из формулы (5.12), в нашем случае $x < 1$.

Логарифмическую функцию можно разложить в ряд

$$\ln \frac{b_{\text{КС}}}{a_{\text{КС}}} = \frac{1}{2} \ln \frac{1+x}{1-x} = \frac{1}{2} \cdot 2 \left(x + \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{5} + \dots \right). \quad (5.13)$$

Так как $x < 1$, то в формуле (5.13) с достаточной степенью точности можно ограничиться первым членом, то есть

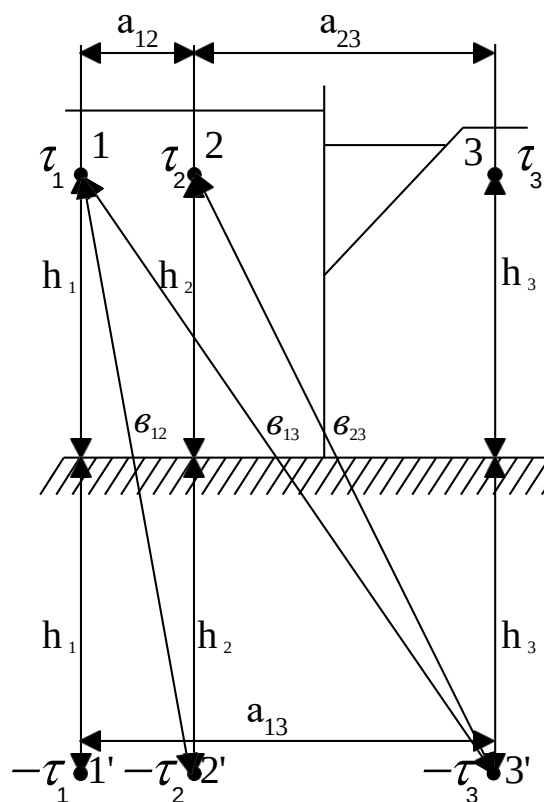
$$\ln \frac{b_{\text{КС}}}{a_{\text{КС}}} = x = \frac{2h_{\text{К}}h_{\text{С}}}{d^2 + h_{\text{К}}^2 + h_{\text{С}}^2}. \quad (5.14)$$

Обозначив $\frac{2}{\ln(2h_K / r_K)} = p$, с учетом формулы (5.14) выражение (5.11)

приведем к виду

$$\varphi_c = \varphi_K \frac{h_K \cdot h_c}{d_K^2 + h_K^2 + h_c^2} \cdot p. \quad (5.15)$$

Пример. Напряжение контактной сети $U_K = 25000$ В, $\varphi_K = U_K$; $h_K = 6,25$ м; $h_c = 6$ м; провод МФ-100, $r_K = 0,056$ м. По формуле (69) при $d = 15$ м $U_c = \varphi_c = 812$ В.



5.4. Расчет потенциалов, наведенных электрическим полем в изолированных проводах контактной сети и линии ДПР

На рис. 5.6 представлена расчетная схема для однопутного участка контактной сети с цепной подвеской (точка 3) и проводами ДПР (точки 1 и 2), расположенными с полевой стороны опор.

Для упрощения выводов трос и провод контактной сети заменяется одним

эквивалентным проводом [9], его радиус находится по формуле

$$r_3 = \sqrt[n]{n r_0 r_p^{n-1}}, \quad (5.16)$$

где n — количество проводов; r_0 — радиус одного провода; r_p — радиус окружности, по которой располагаются провода расщепленной фазы.

В нашем случае $n = 2$, $r_0 = r_{cp} = 0,0056$ м (средний радиус контактного провода и несущего троса);
 $r_p = a_{cp} / 2 = 1,6 / 2 = 0,8$ м (a_{cp} – среднее расстояние между контактным проводом и несущим тросом). После вычисления по формуле (5.16) получим $r_3 = 0,095$ м. Для системы из трех проводов, представленных на рис. 5.6 с зарядами на единицу длины τ_1 , τ_2 , τ_3 и потенциалами φ_1 , φ_2 , φ_3 , уравнения Максвелла запишутся в виде

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= \tau_1 \alpha_{11} + \tau_2 \alpha_{12} + \tau_3 \alpha_{13}; \\ \varphi_2 &= \tau_1 \alpha_{21} + \tau_2 \alpha_{22} + \tau_3 \alpha_{23}; \\ \varphi_3 &= \tau_1 \alpha_{31} + \tau_2 \alpha_{32} + \tau_3 \alpha_{33},\end{aligned}\tag{5.17}$$

где α_{kk} – собственные потенциальные коэффициенты, определяемые по формуле (5.7); α_{km} – взаимные потенциальные коэффициенты, вычисляемые по формуле (5.6). Не трудно доказать, что $\alpha_{km} = \alpha_{mk}$, т.е. $\alpha_{12} = \alpha_{21}$, $\alpha_{13} = \alpha_{31}$, $\alpha_{23} = \alpha_{32}$.

1-й случай

Линия ДПР – под напряжением, с контактного провода напряжение снято, он изолирован. Необходимо найти потенциал этого провода φ_3 . В уравнениях (5.17) $\dot{\varphi}_1 = 27$ кВ, $\dot{\varphi}_2 = 27e^{j120}$, так как $\dot{\varphi}_1$, $\dot{\varphi}_2$ – напряжения двух плеч питания тяговой подстанции, угол между которыми 120 градусов и от которых питаются провода 1 и 2 ДПР. Поскольку провод 3 отключен, $\tau_3 = 0$, с учетом этого перепишем первые два уравнения системы (5.17)

$$\varphi_1 = \tau_1 \alpha_{11} + \tau_2 \alpha_{12};\tag{5.18}$$

$$\varphi_2 = \tau_1 \alpha_{12} + \tau_2 \alpha_{22},$$

отсюда найдем неизвестные заряды τ_1 и τ_2

$$\tau_1 = \frac{\varphi_1 \alpha_{22} - \varphi_2 \alpha_{12}}{\alpha_{11} \alpha_{22} - \alpha_{12}^2}; \quad \tau_2 = \frac{\varphi_2 \alpha_{11} - \varphi_1 \alpha_{12}}{\alpha_{11} \alpha_{22} - \alpha_{12}^2}.$$

После подстановки значений τ_1, τ_2, τ_3 в последнее уравнение системы (5.17) получим

$$\dot{\varphi}_3 = \frac{\dot{\varphi}_2 (\alpha_{11} \alpha_{23} - \alpha_{12} \alpha_{13}) - \dot{\varphi}_1 (\alpha_{12} \alpha_{23} - \alpha_{13} \alpha_{22})}{\alpha_{11} \alpha_{22} - \alpha_{12}^2}. \quad (5.19)$$

Высота подвески эквивалентных проводов контактной сети и линии ДПР находится в пределах 7,5–8,5 м, примем $h_1 = h_2 = h_3 = 8$ м. При габарите опор контактной сети 3,1 м, диаметре опоры 0,5 м, будем иметь: $a_{12} = 1,6$ м; $a_{23} = 5,2$ м; $a_{13} = 6,8$ м.

Поэтому $b_{12} = \sqrt{(2 \cdot 8)^2 + 6,8^2} = 16,1$ м; $b_{23} = \sqrt{(2 \cdot 8)^2 + 5,2^2} = 16,8$ м; $b_{13} = \sqrt{(2 \cdot 8)^2 + 6,8^2} = 17,4$ м. Для линий ДПР, как правило, используют провода А-50, А-70, примем их радиусы $r_1 = r_2 = 5,7 \cdot 10^{-3}$ м, тогда по формулам (5.6) и (5.7) рассчитываем

$$\alpha_{11} = \alpha_{22} = q \ln(2 \cdot 8 / 0,0057) = 7,93q; \quad \alpha_{33} = q \ln(2 \cdot 8 / 0,095) = 5,13q;$$

$$\alpha_{12} = q \ln(16,1 / 1,6) = 2,3q; \quad \alpha_{23} = q \ln(16,8 / 5,2) = 1,17q;$$

$$\alpha_{13} = q \ln(17,4 / 6,8) = 0,94q.$$

В результате расчета по формуле (5.19) получим $\dot{\varphi}_3 = 0,75 + j3,8$ или $\varphi_3 = 3,9$ кВ.

2-й случай

Контактный провод 3 под напряжением, провода 1 и 2 отключены и изолированы, найти потенциалы проводов 1 и 2 системы ДПР. Расчетная схема (рис. 5.6) и уравнения (5.17) такие же, как для первого случая. Так как провода 1

и 2 отключены от источника питания, то $\tau_1 = 0$, $\tau_2 = 0$.

Из последнего уравнения системы (5.17) $\tau_3 = \varphi_3 / \alpha_{33}$, поэтому $\varphi_1 = \varphi_3 \alpha_{13} / \alpha_{33}$, $\varphi_2 = \varphi_3 \alpha_{23} / \alpha_{33}$ или $\varphi_1 = (27,5 \cdot 0,94) / 5,13 = 5,0$ кВ; $\varphi_2 = (27,5 \cdot 1,17) / 5,13 = 6,3$ кВ.

Рассмотрим расчет потенциалов в проводах тяговой сети двухпутного участка (рис. 5.7), для которого уравнения Максвелла предстанут в виде

$$\varphi_1 = \alpha_{11} \tau_1 + \alpha_{12} \tau_2 + \alpha_{13} \tau_3 + \alpha_{14} \tau_4;$$

$$\varphi_2 = \alpha_{12} \tau_1 + \alpha_{22} \tau_2 + \alpha_{23} \tau_3 + \alpha_{24} \tau_4 ; \quad (5.20)$$

$$\varphi_3 = \alpha_{13} \tau_1 + \alpha_{23} \tau_2 + \alpha_{33} \tau_3 + \alpha_{34} \tau_4 ;$$

$$\varphi_4 = \alpha_{14} \tau_1 + \alpha_{24} \tau_2 + \alpha_{34} \tau_3 + \alpha_{44} \tau_4 .$$

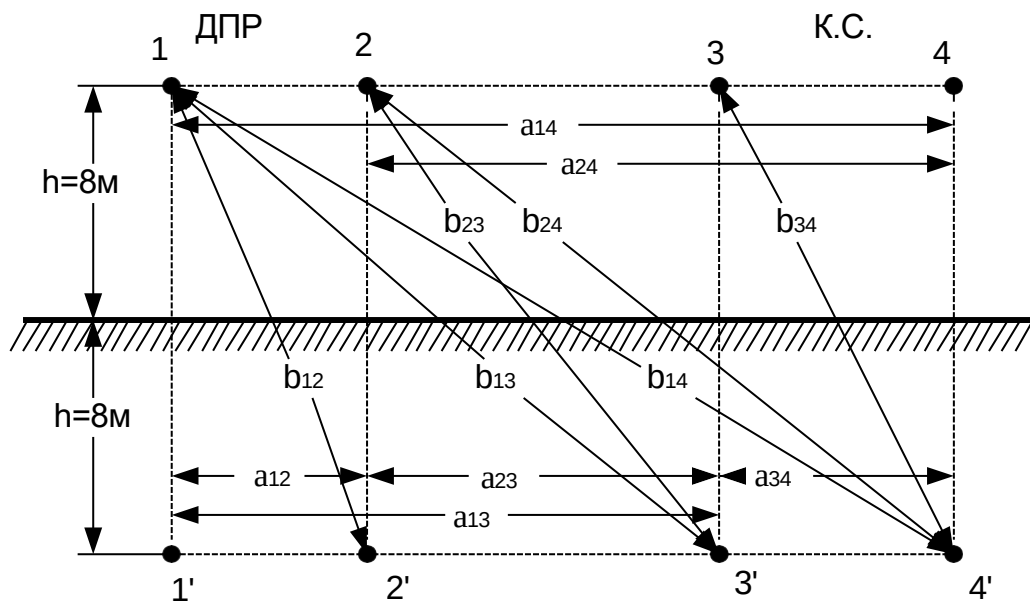


Рис. 5.7. Расчетная схема для двухпутного участка

3-й случай

Контактный провод 3 обесточен и изолирован, другой провод 4 и провода 1 и 2 системы ДПР находятся под напряжением. Задано: $\dot{\varphi}_1 = 27,5$ кВ, $\dot{\varphi}_2 = \dot{\varphi}_4 = 27,5e^{j120^\circ}$, необходимо найти $\dot{\varphi}_3$.

Так как провод 3 отключен, то $\tau_3 = 0$. Значения потенциальных коэффициентов, кроме α_{14} , α_{24} , α_{34} , такие же, как в первом случае. Найдем

значения α_{14} , α_{24} , α_{34} , для схемы, расположенной на рис. 5.7. Приняв расстояние между осями путей на перегоне $a_{34} = 4,1$ м и $h = 8$ м, находим

$$b_{14} = \sqrt{(2 \cdot 8)^2 + 10,8^2} = 19,4 \text{ м};$$

$$b_{24} = \sqrt{(2 \cdot 8)^2 + 9,3^2} = 18,5 \text{ м};$$

$$b_{34} = \sqrt{(2 \cdot 8)^2 + 4,1^2} = 16 \text{ м};$$

$$\alpha_{44} = \alpha_{33} = 5,13 \text{ q},$$

по формуле (5.6) вычисляем $\alpha_{14} = 0,58 \text{ q}$; $\alpha_{24} = 0,69 \text{ q}$; $\alpha_{34} = 1,4 \text{ q}$.

Подставив в первое, второе и четвертое системы уравнения (5.20) значения α и учитывая, что $\tau_3 = 0$, получим

$$27,5 = (7,93\tau_1 + 2,3\tau_2 + 0,58\tau_4) \text{ q};$$

$$27,5 e^{j^{120}} = (2,3\tau_1 + 7,93\tau_2 + 0,69\tau_4) \text{ q}; \quad (5.21)$$

$$27,5 e^{j^{120}} = (0,58\tau_1 + 0,69\tau_2 + 5,13\tau_4) \text{ q}.$$

Решив систему уравнений (5.21), находим значения τ_1 , τ_2 , τ_4 и подставляем эти значения в третье уравнение систем (5.20), в результате получим $\dot{\varphi}_3 = -2,9 + j8,47$, то есть $\varphi_3 = 8,9 \text{ Кв}$.

4-й случай

Провод 4 (рис. 5.7) обесточен и изолирован, это значит, что $\tau_4 = 0$. Подставляем это условие и соответствующие значения потенциальных коэффициентов α в первые три уравнения (5.20), получим

$$27,5 = (7,93\tau_1 + 2,3\tau_2 + 0,94\tau_3) q;$$

$$27,5 e^{j^{120}} = (2,3\tau_1 + 7,93\tau_2 + 1,17\tau_3) q; \quad (5.22)$$

$$27,5 e^{j^{120}} = (0,94\tau_1 + 1,17\tau_2 + 5,13\tau_3) q.$$

Решив систему уравнений (5.22) и определив значения τ_1 , τ_2 , τ_3 , подставляем их в последнее уравнение системы (5.20), после чего вычислим $\dot{\varphi}_4 = 3,15 + j7,15$, или $\varphi_4 = 7,8$ кВ.

Причиной того, что $\varphi_4 < \varphi_3$ является то, что провод 4 находится на большем расстоянии от проводов системы ДПР, чем провод 3. Более подробно примеры для схемы, представленной на рис. 5.7 рассмотрены в [7].

Практическое занятие № 9

Расчет напряженности электрического поля трехфазной высоковольтной линии.

Индукцированные напряжения от воздушных линий передач.

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Высокие напряжённости электрического поля вблизи ВЛ могут обусловить опасные электрические влияния на воздушные линии связи, находящиеся вблизи от ВЛ, также оказывать вредное воздействие на организм человека.

Экологическое влияние линий сверхвысокого напряжения на окружающую среду заключается в том, что они создают большие значения напряжённости электрического поля E даже вблизи поверхности земли. При этом величина E может существенно превосходить допустимые нормы.

Для этого рассмотрим электрическое поле, создаваемое трехфазной линией переменного тока. В качестве расчетной схемы примем такую, в которой на человека, находящегося перпендикулярно к проводам, действует вертикальная составляющая E_y (ток, протекающий через человека, создается именно этой составляющей), поэтому нам необходимо найти только E_y .

Рассмотрим электрическое поле (рис. 2.1), создаваемое трёхфазной линией переменного тока. Потенциал произвольной точки 4 рис. 2.1 будет равен сумме потенциалов, создаваемых каждым проводом и его зеркальным изображением. Примем высоту подвески всех проводов одинаковой и равной H , радиус проводов – r . Потенциал в указанной точке от провода 1 можно найти по формуле

$$\varphi_{41} = \tau q \ln \frac{b}{a_{14}}$$

аналогично от провода 2

$$\varphi_{42} = \tau q \ln \frac{b}{a_{24}}$$

от провода 3

$$\varphi_{43} = \tau_3 q \ln \frac{b}{a_{34}} \quad (2.1c)$$

Составляющая потенциала в точке 4 от собственного заряда отсутствует, так как заряд точки 4 $\tau_4 = 0$. Следовательно,

$$\varphi_4 = \varphi_{41} + \varphi_{42} + \varphi_{43} = \tau_1 q \ln \frac{b_{14}}{a_{14}} + \tau_2 q \ln \frac{b_{24}}{a_{24}} + \tau_3 q \ln \frac{b_{34}}{a_{34}} \quad (2.2)$$

где τ_1, τ_2, τ_3 — заряды проводов, зависящие от их потенциалов относительно земли.

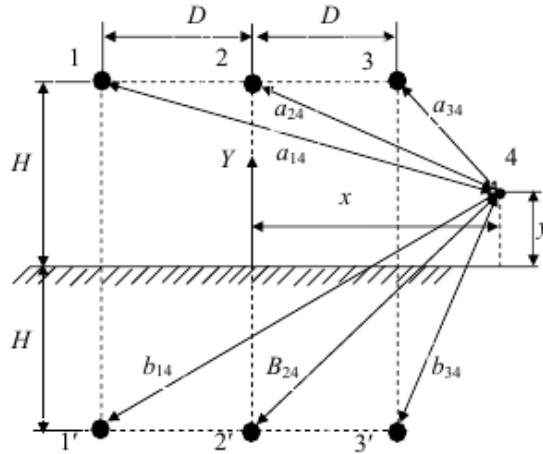


Рис. 2.1. Схема для расчета потенциала в точке 4

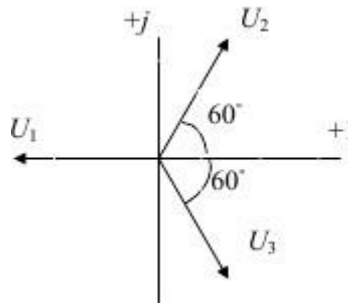


Рис. 2.2. Векторная диаграмма фазовых напряжений

Поместим точку 4 на поверхность провода 1. Получим

$$\varphi_1 = \tau_1 q \ln \frac{2H}{1} + \tau_2 q \ln \frac{b_{14}}{a_{14}} + \tau_3 q \ln \frac{b_{13}}{a_{13}}$$

Поместим точку 4 на поверхность провода 2, после чего по аналогии с формулой (2.3), т.е. имея в виду, что $\alpha_{21} = \alpha_{12}$, $b_{21} = b_{12}$ и так далее, найдём:

$$\varphi_2 = \tau_1 q \ln \frac{b_{12}}{a_{12}} + \tau_2 q \ln \frac{2H}{1} + \tau_3 q \ln \frac{b_{23}}{a_{23}}$$

Поместив точку 4 на поверхность провода 3, запишем:

$$\varphi_3 = \tau_1 q \ln \frac{b_{13}}{a_{13}} + \tau_2 q \ln \frac{b_{23}}{a_{23}} + \tau_3 q \ln \frac{2H}{1}$$

Обозначив $q \ln \frac{b_{kt}}{a_{kt}} = \alpha_{km}$, $q \ln \frac{2H}{1} = \alpha_{kk}$, имея в виду, $\alpha_{kt} = \alpha_{tk}$ сведём в одну

систему уравнения (2.2), (2.3), (2.4), (2.5).

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= \alpha_{11}\tau_1 + \alpha_{12}\tau_2 + \alpha_{13}\tau_3; \varphi_2 = \alpha_{12}\tau_1 + \alpha_{22}\tau_2 + \alpha_{23}\tau_3; \\ \varphi_3 &= \alpha_{13}\tau_1 + \alpha_{22}\tau_2 + \alpha_{33}\tau_3; \varphi_4 = \alpha_{14}\tau_1 + \alpha_{22}\tau_2 + \alpha_{34}\tau_3\end{aligned}\quad (2.6)$$

Неизвестны величины $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \varphi_4$, их значения можно рассчитать решением системы (2.6). Для упрощения решения задачи примем, что провода влияющей линии 1, 2, 3 располагаются так, что расстояния между ними одинаковы или почти одинаковы, поэтому вместо $\alpha_{12}, \alpha_{23}, \alpha_{13}$ примем их среднее значение, т. е.

$$\alpha_{12} = \frac{(\alpha_{12} + \alpha_{23} + \alpha_{13})}{3} \quad (2.7)$$

Так как высота подвески проводов принимается одинаковой, то $\alpha_{11} = \alpha_{22} = \alpha_{33}$. Потенциал проводов φ – это напряжение этих проводов относительно земли, значит $\varphi_1 = U_1, \varphi_2 = U_2, \varphi_3 = U_3$, где U – фазовое напряжение каждого провода. С учётом вышеизложенного перепишем систему (2.6):

$$\begin{aligned}U_1 &= \alpha_{11}\tau_1 + \alpha_{12}\tau_2 + \alpha_{12}\tau_3; \\ U_2 &= \alpha_{12}\tau_1 + \alpha_{11}\tau_2 + \alpha_{12}\tau_3; \\ U_3 &= \alpha_{12}\tau_1 + \alpha_{12}\tau_2 + \alpha_{11}\tau_3; \\ U_4 &= \alpha_{12}\tau_1 + \alpha_{24}\tau_2 + \alpha_{32}\tau_3\end{aligned}\quad (2.8)$$

Коэффициенты α в последнем уравнении системы не могут быть одинаковыми, так как точка 4 может находиться в любом месте.

Для определения U_4 необходимо решить систему первых трех уравнений из системы (2.8):

$$\begin{aligned}U_1 &= \alpha_{11}\tau_1 + \alpha_{12}\tau_2 + \alpha_{12}\tau_3; \\ U_2 &= \alpha_{12}\tau_1 + \alpha_{11}\tau_2 + \alpha_{12}\tau_3; \\ U_3 &= \alpha_{12}\tau_1 + \alpha_{12}\tau_2 + \alpha_{11}\tau_3;\end{aligned}\quad (2.9)$$

и получить величины τ_1, τ_2, τ_3 , затем значения этих величин подставить в

четвёртое уравнение системы (2.8). Систему уравнений (2.9) решим методом Крамера. Согласно этому методу

$$\tau_1 = \frac{\Delta\tau_1}{\Delta}, \quad \tau_2 = \frac{\Delta\tau_2}{\Delta}, \quad \tau_3 = \frac{\Delta\tau_3}{\Delta}. \quad (2.10)$$

В формулах (2.10) Δ – определитель системы (2.9), который равен

$$\Delta = \begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{12} \\ \alpha_{12} & \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{12} & \alpha_{12} & \alpha_{12} \end{vmatrix} = \alpha_{11}^3 + 2\alpha_{11}\alpha_{12}^2 - 3\alpha_{11}\alpha_{12}^2 = (\alpha_{11} - \alpha_{12})^2 \cdot (\alpha_{11} - 2\alpha_{12}) \quad (2.11)$$

Чтобы найти определитель $\Delta\tau_1$, надо в определителе, представленном в (2.11), заменить первый столбец коэффициентов значениями U_1, U_2, U_3 т. е.

$$\Delta = \begin{vmatrix} U_1 & \alpha_{12} & \alpha_{12} \\ U_2 & \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ U_3 & \alpha_{12} & \alpha_{12} \end{vmatrix} = (\alpha_{11}^2 + \alpha_{12}^2) \cdot U_1 - \alpha_{12}(\alpha_{11} - \alpha_{12}) \cdot (U_2 + U_3) \quad (2.12)$$

Для упрощения решения задачи примем, что фазовые напряжения симметричны, т. е. $U_1 + U_2 + U_3 = 0$; $U_2 + U_3 = -U_1$, поэтому

$$\Delta\tau_1 = U_1(\alpha_{11} - \alpha_{12}) \cdot (\alpha_{11} - 2\alpha_{12}) \quad (2.13)$$

Для нахождения определителя $\Delta\tau_2$ необходимо второй столбец коэффициентов в определителе (2.11) заменить величинами U_1, U_2, U_3 , после чего докажем, что

$$\Delta\tau_2 = U_2(\alpha_{11} - \alpha_{12}) \cdot (\alpha_{11} - 2\alpha_{12}) \quad (2.14)$$

Аналогично $\Delta\tau_3 = U_3(\alpha_{11} - \alpha_{12}) \cdot (\alpha_{11} - 2\alpha_{12})$. Подставляя значения τ_1, τ_2, τ_3 из формул (2.10) в последнее уравнение системы (2.12), получим с учётом формул (2.11) – (2.14):

$$\Delta\tau_2 = U_2(\alpha_{11} - \alpha_{12}) \cdot (\alpha_{11} - 2\alpha_{12}) \quad (2.14)$$

$$U_4 = \frac{(\alpha_{14}\Delta\tau_1 + \alpha_{24}\tau_2 + \alpha_{34}\tau_3)}{\Delta} = \frac{(\alpha_{12} - \alpha_{12}) \cdot (\alpha_{11} + \alpha_{12}) \cdot (\alpha_{14}U_1 + \alpha_{24}U_2 + \alpha_{34}U_3)}{(\alpha_{11} - \alpha_{12})^2 (\alpha_{11} + \alpha_{12})}$$

Окончательно определим:

$$U_4 = \frac{(\alpha_{14} \cdot U_1 + \alpha_{24} \cdot U_2 + \alpha_{34} \cdot U_3)}{\alpha_{11} - \alpha_{12}} \quad (2.15)$$

Рассмотрим применение полученной формулы для конкретной схемы расположения проводов трёхфазной ЛЭП. В дальнейшем нас будут интересовать проблемы экологического влияния линий высокого и сверхвысокого напряжений на окружающую среду, поэтому в качестве расчетной схемы примем такую, в которой провода располагаются в одной горизонтальной плоскости (рис. 2.1).

Расположим систему координат так, чтобы отсчет начинался на поверхности земли под проводом 2. Расстояние между фазами – D ; высота подвески проводов – H ; x, y – текущие координаты произвольной точки 4. Систему фазовых симметричных напряжений расположим на комплексной плоскости, как показано на рис. 2.2.

$$U_1 = -U_\phi; \quad U_2 = -U_\phi e^{j60} = U_\phi \cdot (0,5 + j0,87); \quad U_3 = U_\phi \cdot (0,5 - j0,87).$$

Согласно расчётной схеме на рис. 2.1

$$\alpha_{14} = \ln \frac{b_{14}}{a_{14}} = \ln \frac{\sqrt{(H+y)^2 + (D+x)^2}}{\sqrt{(H-y)^2 - (D+x)^2}}$$

Величину q опускаем, так как она входит во все коэффициенты α формулы (2.15) и сокращается. Аналогично получаем:

$$\alpha_{24} = \ln \frac{\sqrt{(H+y)^2 + x^2}}{\sqrt{(H-y)^2 - x^2}} \quad \alpha_{34} = \ln \frac{\sqrt{(H+y)^2 + (x-D)^2}}{\sqrt{(H-y)^2 - (x-D)^2}}.$$

С учётом вышеизложенного формула (2.15) получит вид

$$\begin{aligned} \varphi_4 = \frac{U_\phi}{\alpha_{11} - \alpha_{12}} & \left[-\alpha_{14} + (0,5 + j0,87) \cdot \alpha_{24} + (0,5 - j0,87) \cdot \alpha_{34} \right] = \frac{U_\phi}{\alpha_{11} - \alpha_{12}} \times \\ & \times \left[-\ln \frac{\sqrt{(H+y)^2 + (D+x)^2}}{\sqrt{(H-y)^2 + (D+x)^2}} + (0,5 + j0,87) \cdot \ln \frac{\sqrt{(H+y)^2 + x^2}}{\sqrt{(H-y)^2 + x^2}} + (0,5 - j0,87) \times \right. \end{aligned} \quad (2.16)$$

$$\times \ln \frac{\sqrt{(H+y)^2 + (x-D)^2}}{\sqrt{(H-y)^2 - (x-D)^2}} \Big]$$

где $\alpha_{11} = \ln \frac{2H}{1}$; α_{12} определяется по формуле (2.7), а ее составляющие

$$\alpha_{12} = \alpha_{23} = \ln \left(\frac{\sqrt{(2H)^2 + D^2}}{D} \right), \quad \alpha_{13} = \ln \left(\frac{\sqrt{(2H)^2 + 2D^2}}{2D} \right). \quad (2.17)$$

Формула (2.17) позволяет найти потенциал изолированного провода, находящегося в заданной точке с координатами x, y . Обозначим точку 4 рис. 2.1 буквой M и в формуле (2.17) заменим φ_4 на φ_M .

Тогда потенциал электрического поля трехфазной высоковольтной линии в произвольной точке M с координатами x, y определяется выражением

$$\begin{aligned} \varphi_M = \frac{U_\phi}{\alpha_{11} - \alpha_{12}} \cdot \Big[& - \ln \frac{\sqrt{(H+y)^2 + (D+x)^2}}{\sqrt{(H+y)^2 + (D+x)^2}} + (0,5 + j0,87) \times \\ & \times \ln \frac{\sqrt{(H+y)^2 + (D+x)^2}}{\sqrt{(H+y)^2 + (D+x)^2}} + (0,5 + j0,87) \cdot \ln \frac{\sqrt{(H+y)^2 + (D+x)^2}}{\sqrt{(H+y)^2 + (D+x)^2}} \end{aligned} \quad (2.18)$$

где D – межфазовое расстояние; H – высота подвески проводов; U_ϕ – фазовое напряжение линии; α_{11}, α_{12} – потенциальные коэффициенты, определяемые по формулам (2.7).

Если продифференцируем φ_M по x , то получим выражение для горизонтальной составляющей напряженности электрического поля, то есть

$$E_{M_x} = \frac{-d\varphi_M}{d_x}, \text{ аналогично вертикальная составляющая напряжённости будет}$$

$$\text{равна } E_{M_y} = \frac{-d\varphi_M}{d_y}.$$

Тогда модуль напряжённости электрического поля в точке M определится выражением $E_M = \sqrt{E_{M_x}^2 + E_{M_y}^2}$.

На человека, находящегося перпендикулярно к проводам, действует вертикальная составляющая E_y (ток, протекающий через человека, создаётся именно этой составляющей), поэтому нам необходимо найти только E_y .

Напомним, что, $\frac{\ln a}{b} = \ln a - \ln b$ — это производная от логарифма $(\ln a)' = \frac{a'}{a}$,

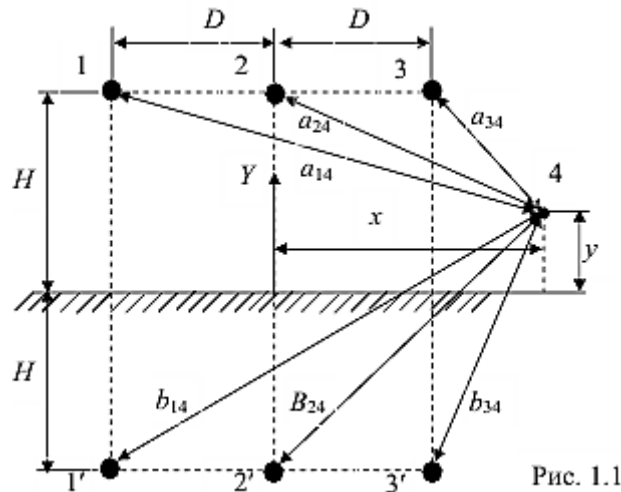
производная от квадратного корня равна производной от подкоренного выражения, деленной на удвоенный квадратный корень.

Поэтому производная $\ln \sqrt{(H+y)^2 + (D+x)^2}$ будет равна

$$\begin{aligned} \left(\ln \sqrt{(H+y)^2 + (D+x)^2} \right)' &= \frac{2(H+y)}{2\sqrt{(H+y)^2 + (D+x)^2} \cdot \sqrt{(H+y)^2 + (D+x)^2}} = \\ &= \frac{H+y}{(H+y)^2 + (D+x)^2} \end{aligned}$$

После нахождения производных от всех составляющих квадратной скобки формулы (2.18), получим (опуская знак минус):

$$\begin{aligned} E_{MY} &= \frac{U_\phi}{\alpha_{11} - \alpha_{12}} \cdot \left[- \left\{ \frac{H+y}{(H+y)^2 + (D+x)^2} + \frac{H-y}{(H-y)^2 + (D+x)^2} \right\} + (0,5 + j0,87) \times \right. \\ &\times \left[\frac{H+y}{(H+y)^2} + \frac{(H-y)}{(H-y)^2 + x^2} \right] + (0,5 + j0,87) \cdot \left[\frac{H+y}{(H+y)^2 + (D+x)^2} + \frac{H-y}{(H-y)^2 + (D-x)^2} \right] \Bigg] \quad (2.19) \end{aligned}$$



В качестве математической модели для вычисления напряженности электрического поля линии принимаем формулу:

$$\begin{aligned} E_y &= \frac{U_\phi}{\alpha_{11} - \alpha_{12}} \cdot \left[- \left\{ \frac{H+y}{(H+y)^2 + (D+x)^2} + \frac{H-y}{(H-y)^2 + (D+x)^2} \right\} + (0,5 + j0,87) \times \right. \\ &\times \left[\frac{H+y}{(H+y)^2 + x^2} + \frac{H-y}{(H-y)^2 + x^2} \right] + (0,5 + j0,87) \cdot \left[\frac{H+y}{(H+y)^2 + (D+x)^2} + \frac{H-y}{(H-y)^2 + (D-x)^2} \right] \Bigg] \quad (2.20) \end{aligned}$$

где D – межфазовое расстояние; H – высота подвески проводов; U_{ϕ} – фазовое напряжение линии; y – высота над уровнем земли точки, в которой определяется величина напряженности E_y ; α_{11}, α_{12} – потенциальные коэффициенты, определяемые по формулам:

$$\alpha_{11} = \ln \frac{2H}{1}; \quad \alpha_{12} = \alpha_{23} = \ln \left(\frac{\sqrt{(2H)^2 + D^2}}{D} \right), \quad \alpha_{13} = \ln \left(\frac{\sqrt{(2H)^2 + (2D)^2}}{2D} \right);$$

$$\alpha_{12} = \frac{(\alpha_{12} + \alpha_{23} + \alpha_{13})}{3}.$$

Более подробно теория этого материала с математическим выводом формулы 1.1 приведена в теме 2.1 опорного конспекта.

Расчёт напряжённости электрического поля вблизи линии СВН рекомендуем выполнить с помощью ПК.

Экспериментально напряжённость электрического поля можно измерить прибором ПЗ-50 (рис. 1.2), выполненным в виде малогабаритного носимого прибора с автономным питанием. Основными элементами измерителя являются: устройство отсчетное УОЗ-50 и антенны- преобразователи (АП) направленного приема. Работа измерителя основана на возбуждении в АП под воздействием измеряемого поля переменного напряжения, пропорционального напряженности поля. Переменное напряжение предварительно усиливается в АП и поступает на вход УОЗ-50, где происходит его фильтрация, дальнейшее усиление, преобразование в постоянное напряжение и индикация.

Измеритель поставляется в 3-х комплектах:

- ПЗ-50А предназначен для измерения напряженности электрического поля.
- ПЗ-50Б предназначен для измерения магнитного поля.
- ПЗ-50В совмещает функции этих комплектов.



Рис. 1.2. Измеритель ПЗ-50В Технические характеристики

Диапазон измерения напряжённости электрического поля, кВ/м	от 0,01 до 180
Пределы измерения, кВ/м	0,2, 2, 20 и 200
Диапазон измерения напряжённости магнитного поля, А/м	от 0,01 до 1800
Пределы измерения, А/м	0,2, 20, 200 и 2000
Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерения напряжённости электрического поля, %, где E_n — установленный предел измерения, E_x — измеренное значение напряжённости электрического поля, кВ/м	$(0,5 \div 0,2(E_n/E_x))$
Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерения напряжённости магнитного поля, %, где H_n — установленный предел измерения, H_x — измеренное значение напряжённости магнитного поля, А/м	$\pm (15 \div 0,2)(H_n/H_x)$,
Время непрерывной работы в автономном режиме, ч	Не менее 16
Источник питания	

Задача 4.

Исходными данными являются:

U – номинальное напряжение ВЛ [кВ];

D – ширина между фазными линиями [м];

H – высота подвеса крайних ВЛ [м];

r_0 – радиус провода ВЛ [мм];

n – число проводов расщепленной фазы.

$r_p = 0,23$ м (радиус окружности, проходящей через центры проводов).

Таблица 1.1

Номер вариант (номер последней	U , кВ	B , м	H , м	r_0 , мм	n
-----------------------------------	----------	---------	---------	------------	-----

цифры студента)					
1	110	8	8	8,8	1
2	220	10	12	9,1	1
3	230	10	16	9,6	2
4	500	12	22	10,8	3
5	1150	22	28	10,8	8
6	750	14	22	10,8	5
7	220	8	10	9,1	1
8	330	10	12	9,6	2
9	500	12	12	10,8	3
0	1150	24	22	10,8	5

По полученным данным рассчитать ширину санитарной зоны, внутри которой запрещена жилая застройка. Кроме того, учесть, что санитарными нормами определён предельно допустимый уровень напряжённости вблизи земли (в населённых пунктах 5 кВ/м, в ненаселённых пунктах 15 кВ/м, а на участках пересечения ВЛ с автодорогами 10 кВ/м).

Подготовка параметров математической модели для вычисления напряженности электрического поля линии на примере данных для линии 500 кВ и при разных значениях высоты подвеса проводов (H_1, H_2)

Исходные данные: линейное напряжение между фазами $U_1 = 500$ кВ, $U_\phi = 289$ кВ; расстояние между фазами $D = 12$ м, $H_1 = 22$ м, $H_2 = 8$ м, $y = 1,8 \approx 2$ м; радиус сечения провода АС-240 $r_0 = 10,8$ мм; количество проводов в расщепленной фазе $n = 3$, её радиус $r_p = 0,23$ м (радиус окружности, проходящей через центры проводов).

1. Определяем эквивалентный радиус фазы в соответствии с формулой

$$r_{\text{э}} = \frac{r_p}{(r_p / nr_0)^{1/n}}; \quad r_{\text{э}} = \sqrt[3]{3 \cdot 0,0108 / 0,23^2} = 0,13 \text{ м}$$

1-й случай, $H_1 = 22$ м. Находим:

$$\alpha_{11} = \ln \frac{2H}{r_{\text{э}}}; \quad \alpha_{11} = \ln \left(\frac{2 \cdot 22}{0,13} \right) = 5,82; \quad \alpha_{12} = a_{23} = \ln \left| \frac{\sqrt{(2 \cdot 22)^2 + 12^2}}{12} \right| = 1,34;$$

$$\alpha_{13} = \ln \left(\frac{\sqrt{(2 \cdot 22)^2 + (2 \cdot 12)^2}}{(2 \cdot 22)} \right) = 0,74; \quad \alpha_{12} = \ln \left(\frac{1,34 \cdot 2 + 0,84}{3} \right) = 1,44.$$

После подстановки найденных значений в формулу (2.19) получим выражение

$$E_y = \frac{289}{5,82 - 1,14} \left\{ - \left[\frac{24}{24^2 + (12+x)^2} + \frac{20}{20^2 + (12+x)^2} \right] + (0,5 + j0,87) \cdot \left[\frac{24}{24^2 + x^2} + \frac{20}{20^2 + x^2} \right] + \right. \\ \left. + (0,5 + j0,87) \times \left[\frac{24}{24^2 + (12-x)^2} + \frac{20}{20^2 + (12+x)^2} \right] \right\}.$$

Задавая значения x , определяем соответствующие им значения модуля E_y , кВ/м, результаты сводим в табл. 1.2.

Таблица 1.2

x , м	0	1	2	5	8	10	12	15	17	20	25	30
E_y при $H_1 = 22$ мм	1,4			1,8		2,5	2,7	2,9		2,7	2,3	2,0
E_y при $H_2 = 8$ м	12,8	12,3	9,7	7,8	9,4	12,8	14,4	12,5	9,7	6,3	3,2	1,9

2-й случай, $H_2 = 8$ м.

Потенциальные коэффициенты находим аналогично первому случаю:

$$a_{11} = \ln \left(\frac{2 \cdot 8}{0,13} \right) = 4,8; \quad a_{12} = a_{23} = \ln \left[\frac{\sqrt{(2 \cdot 8)^2 + 12^2}}{12} \right] = 0,51;$$

$$a_{13} = \ln \left[\frac{\sqrt{(2 \cdot 8)^2 + (2 \cdot 12)^2}}{(2 \cdot 12)} \right] = 0,18; \quad \alpha_{12} = \frac{(0,51 \cdot 2 + 0,18)}{3} = 0,4$$

Подставим найденные значения в формулу (1.1), получим выражение

$$E_y = \frac{289}{4,8 - 0,4} \left\{ - \left[\frac{10}{10^2 + (12+x)^2} + \frac{6}{6^2 + (12+x)^2} \right] + (0,5 + j0,87) \times \right. \\ \left. \times \left[\frac{10}{10^2 + x^2} + \frac{6}{6^2 + x^2} \right] + (0,5 + j0,87) \cdot \left[\frac{10}{10^2 + (12-x)^2} + \frac{6}{6^2 + (12+x)^2} \right] \right\} \quad (1.2)$$

Подставляя в формулу (1.1) значения x , находим соответствующие им

значения E_y и заносим их в табл. 1.2. По данным табл. 1.2 строим графики (рис. 1.3) зависимости E от x для $H_1 = 22$ м (кривая 1) и $H_2 = 8$ (кривая 2).

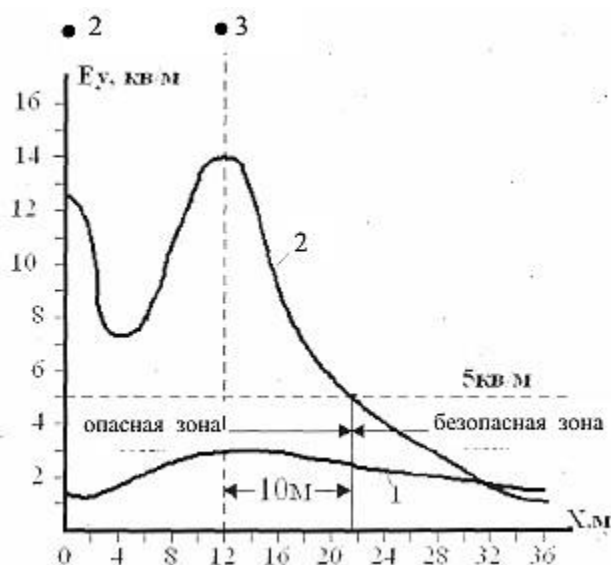


Рис. 1.3

Проведя на этом рисунке горизонталь на уровне 5 кВ/м (допустимое значение напряженности поля), определяем безопасную зону для людей. Безопасная зона при $H_2 = 8$ находится на расстоянии 10 м от крайней фазы. Под опорой ($H_1 = 22$ м) опасная зона отсутствует, так как вся кривая E лежит ниже 5 кВ/м.

Кривые E_y при $x < 0$ симметричны кривым при $x > 0$, поэтому не приводятся.

Задача 3

Для воздушной линии (ВЛ) известно (табл. 3.1) линейное напряжение между фазами U . Высота подвеса крайних фаз ВЛ равна H . Ширина воздушной линии D . Высота подвеса средней фазы с центром, расположенным на линии, делящей отрезок $2D$ на равные части, отличается от H на величину ΔH ; радиус сечения провода r_0 ; количество проводов в расщепленной фазе n .

Требуется рассчитать и построить поперечный профиль распределения напряжённости электрического поля $E(x)$ на уровне от земли 1,8 м. По полученным данным соответственно рассчитать ширину санитарной зоны, внутри которой запрещена жилая застройка. Кроме того, учесть, что

санитарными нормами определен предельно допустимый уровень напряженности вблизи земли (в населенных пунктах 5 кВ/м, в ненаселенных пунктах 15 кВ/м, а на участках пересечения ВЛ с автодорогами 10 кВ/м.

Форма 3.1

Показатель	Цифры шифра студента и исходные данные										Используемая цифра шифра студента
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
Линейное напряжение U , кВ	220	330	500	750	1150	220	330	500	750	1150	последняя
D , м	10	10	12	14	22	10	14	16	18	24	последняя
H , м	10	12	14	22	28	11	13	16	18	26	последняя
ΔH , м	1	1	2	2,5	3	1	1,5	2	3	3,5	последняя
n	1	1	2	3	8	1	2	3	4	10	последняя
r_0 , мм	8,8	9,1	9,6	10,8	10,8	8,8	9,2	9,8	10,8	11	предпоследняя

Методические указания

Перед решением задачи рекомендуем изучить материал опорного конспекта (параграф 2.1.1). Для решения задачи необходимо вычислить r по формуле:

$$r_3 = \frac{r_p}{\left(\frac{r_p}{nr_0} \right)^{\frac{1}{n}}}$$

где n – проводов в расщепленной фазе; r_p – радиус окружности, проходящей через центры сечений проводов расщепленной фазы, расположенных в вершинах правильного n – угольника; r – радиус сечения провода.

Действующее значение напряжённости равно

$$E_n(x) = U \frac{DH \sqrt{A_1^2(x) - A_1(x)B_1(x) + B_1^2(x)}}{(F^2 - G^2)((H + \Delta H)^2 + (D + x)^2)},$$

$$\text{где } F = \ln \frac{2 \sqrt{H[H + \Delta H][(\Delta H)^2 + D^2]}}{r_3 \sqrt{(2H + \Delta H)^2 + D^2}}; \quad G = 0.5 \ln \frac{2[(\Delta H)^2 + D^2](H + \Delta H) \sqrt{H^2 + D^2}}{Dr_3[(2H + \Delta H)^2 + D^2]}$$

Значения $A_1(x)$ и $B_1(x)$ найдём по формулам

$$A_1(x) = Fg_3(x) + Gg_4(x);$$

$$B_1(x) = Gg_3(x) + Gg_4(x),$$

$$\text{где } g_3(x) = \frac{D + 2x + [(H^2 + H\Delta H - x^2)\Delta H] / DH}{H^2 + (2D + x)^2};$$

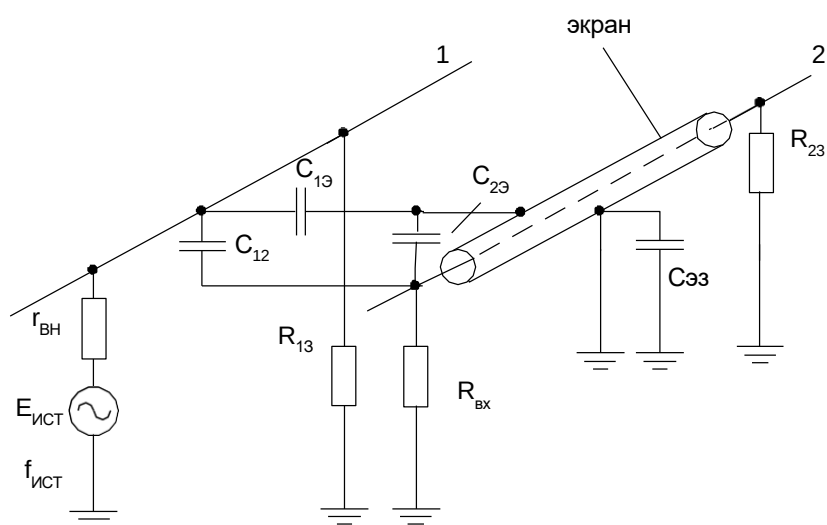
$$g_4(x) = \frac{3D + 2x + [(2D + x)^2 - H^2 - H\Delta H]\Delta H / DH}{H^2 + (2D + x)^2}$$

Найдём значения натуральных логарифмов F и G по формулам (3.1)

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

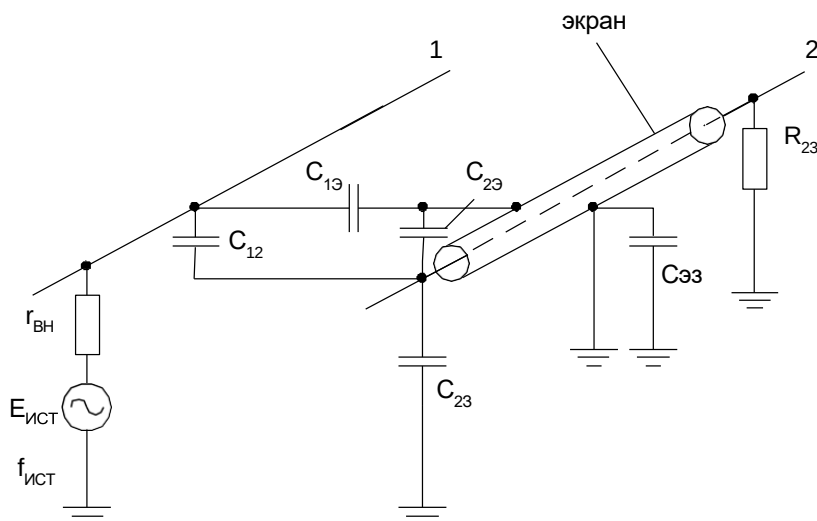
Вариант 1

1. Что понимается под электромагнитной совместимостью электротехнических средств?
2. Шумы в электроустановках, индуцированные магнитным полем.
3. Для значений элементов схемы замещения, представленных в табл. 3, определить величину наведенных шумов в цепи рецептора (напряжение между проводником 2 и «землей»). Напряжение шумов выразить через параметры элементов схемы замещения в виде $U=f(E_{\text{ист}}, f_{\text{ист}}, r_{\text{вн}}, R_{\text{ик}}, C_{\text{ик}})$.



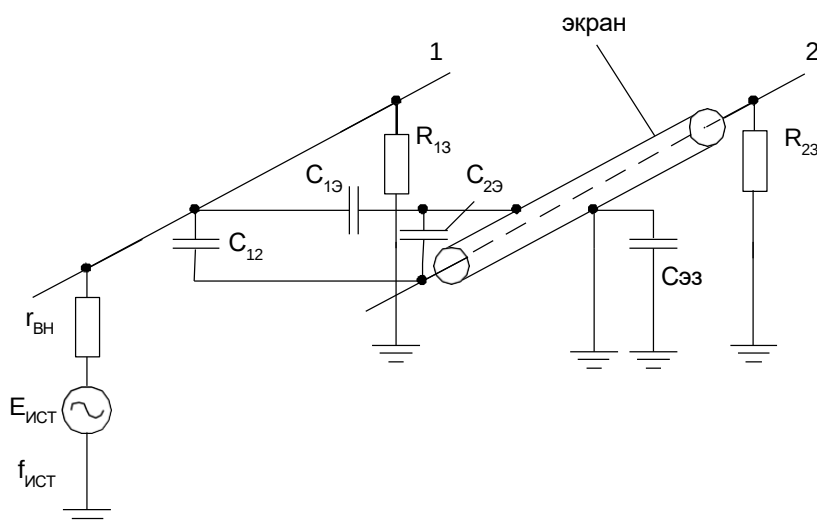
Вариант 2

1. Что называется электромагнитной помехой?
2. Магнитная связь между экраном и заключенным в него проводником.
3. Для значений элементов схемы замещения, представленных в табл. 3, определить величину наведенных шумов в цепи рецептора (напряжение между проводником 2 и «землей»). Напряжение шумов выразить через параметры элементов схемы замещения в виде $U=f(E_{\text{ист}}, f_{\text{ист}}, r_{\text{вн}}, R_{\text{ик}}, C_{\text{ик}})$.



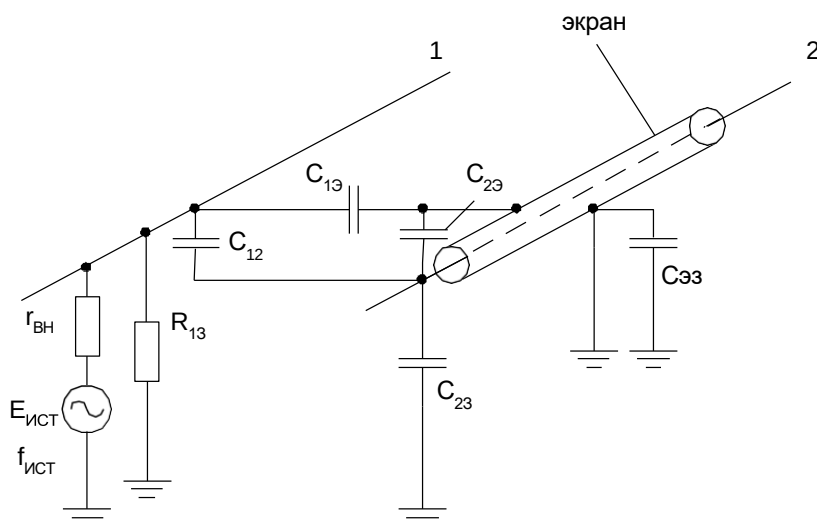
Вариант 3

1. Что называется электромагнитной обстановкой?
2. Экранирование для предотвращения излучения магнитных полей.
3. Для значений элементов схемы замещения, представленных в табл. 3, определить величину наведенных шумов в цепи рецептора (напряжение между проводником 2 и «землей»). Напряжение шумов выразить через параметры элементов схемы замещения в виде $U=f(E_{\text{ист}}, f_{\text{ист}}, r_{\text{вн}}, R_{\text{ик}}, C_{\text{ик}})$.



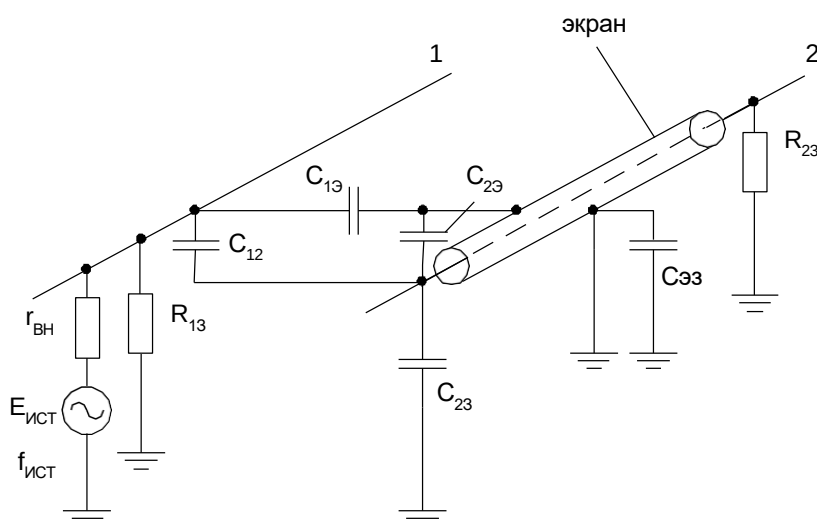
Вариант 4

1. Что называется экранированием?
2. Экранирование переменных магнитных полей.
3. Для значений элементов схемы замещения, представленных в табл. 3, определить величину наведенных шумов в цепи рецептора (напряжение между проводником 2 и «землей»). Напряжение шумов выразить через параметры элементов схемы замещения в виде $U=f(E_{\text{ист}}, f_{\text{ист}}, r_{\text{вн}}, R_{\text{ик}}, C_{\text{ик}})$.



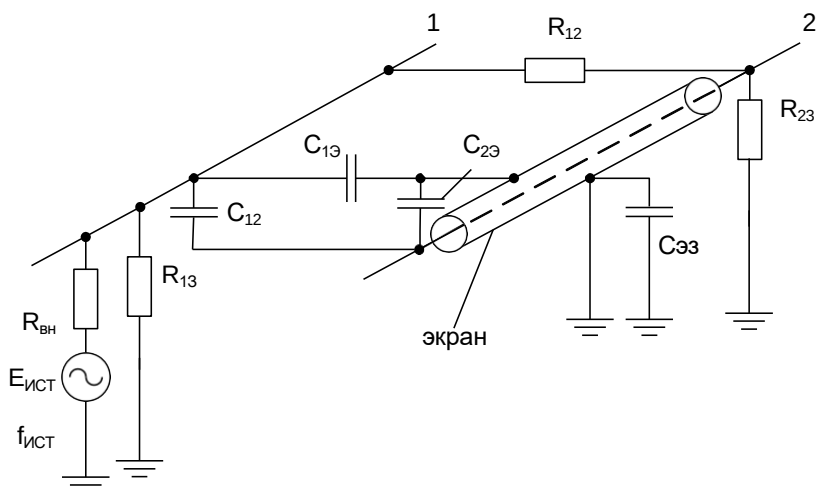
Вариант 5

1. Назвать второстепенные источники шумов и дать их краткую характеристику.
2. Влияние экрана на емкостную связь.
3. Для значений элементов схемы замещения, представленных в табл. 3, определить величину наведенных шумов в цепи рецептора (напряжение между проводником 2 и «землей»). Напряжение шумов выразить через параметры элементов схемы замещения в виде $U=f(E_{\text{ист}}, f_{\text{ист}}, r_{\text{вн}}, R_{\text{ik}}, C_{\text{ik}})$.



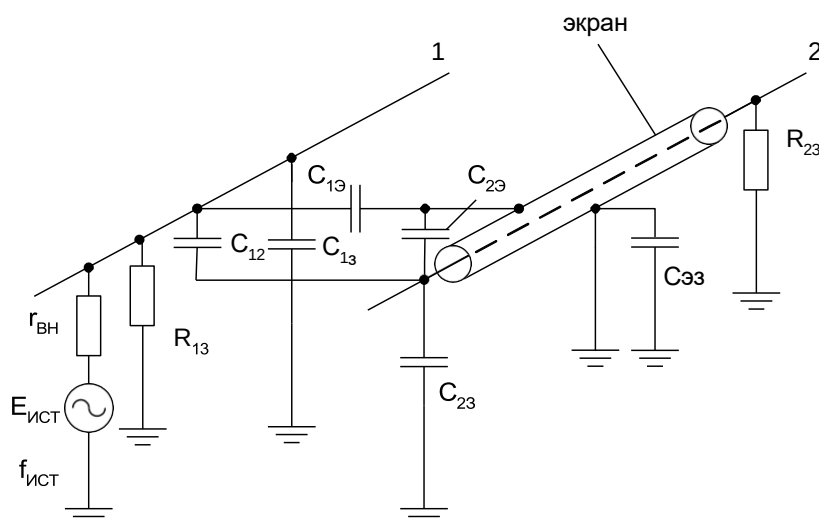
Вариант 6

1. Что называется шумами и помехами функциональных источников?
2. Экранирование электрического поля.
3. Для значений элементов схемы замещения, представленных в табл. 3, определить величину наведенных шумов в цепи рецептора (напряжение между проводником 2 и «землей»). Напряжение шумов выразить через параметры элементов схемы замещения в виде $U=f(E_{\text{ист}}, f_{\text{ист}}, r_{\text{вн}}, R_{\text{ik}}, C_{\text{ik}})$.



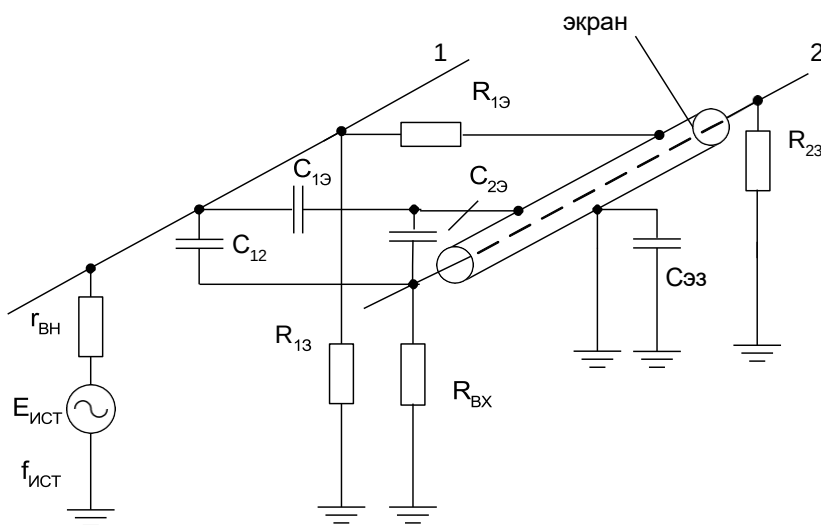
Вариант 7

1. Что называется естественной помехой?
2. Основные характеристики экранирования.
3. Для значений элементов схемы замещения, представленных в табл. 3, определить величину наведенных шумов в цепи рецептора (напряжение между проводником 2 и «землей»). Напряжение шумов выразить через параметры элементов схемы замещения в виде $U=f(E_{\text{ист}}, f_{\text{ист}}, r_{\text{вн}}, R_{\text{ик}}, C_{\text{ик}})$.



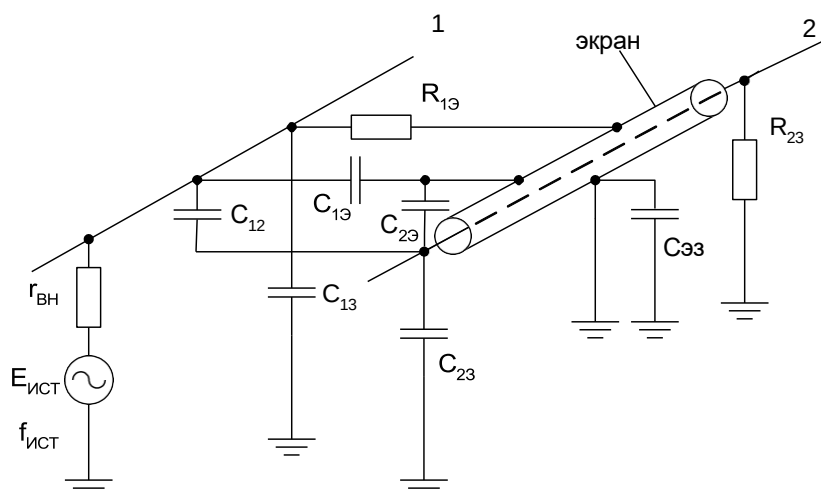
Вариант 8

1. Назвать источники электромагнитных шумов и помех.
2. Рассказать о мерах по улучшению электромагнитной обстановки.
3. Для значений элементов схемы замещения, представленных в табл. 3, определить величину наведенных шумов в цепи рецептора (напряжение между проводником 2 и «землей»). Напряжение шумов выразить через параметры элементов схемы замещения в виде $U=f(E_{\text{ист}}, f_{\text{ист}}, r_{\text{вн}}, R_{\text{ик}}, C_{\text{ик}})$.



Вариант 9

1. Что называется кондуктивными помехами?
2. Определение электромагнитной обстановки на энергообъектах.
3. Для значений элементов схемы замещения, представленных в табл. 3, определить величину наведенных шумов в цепи рецептора (напряжение между проводником 2 и «землей»). Напряжение шумов выразить через параметры элементов схемы замещения в виде $U=f(E_{\text{ист}}, f_{\text{ист}}, r_{\text{вн}}, R_{\text{ik}}, C_{\text{ik}})$.



Вариант 10

1. Что называется шумами и помехами нефункциональных источников?
2. Характеристики электромагнитной обстановки на энергообъектах.
3. Для значений элементов схемы замещения, представленных в табл. 3, определить величину наведенных шумов в цепи рецептора (напряжение между проводником 2 и «землей»). Напряжение шумов выразить через параметры элементов схемы замещения в виде $U=f(E_{\text{ист}}, f_{\text{ист}}, r_{\text{вн}}, R_{\text{ik}}, C_{\text{ik}})$.

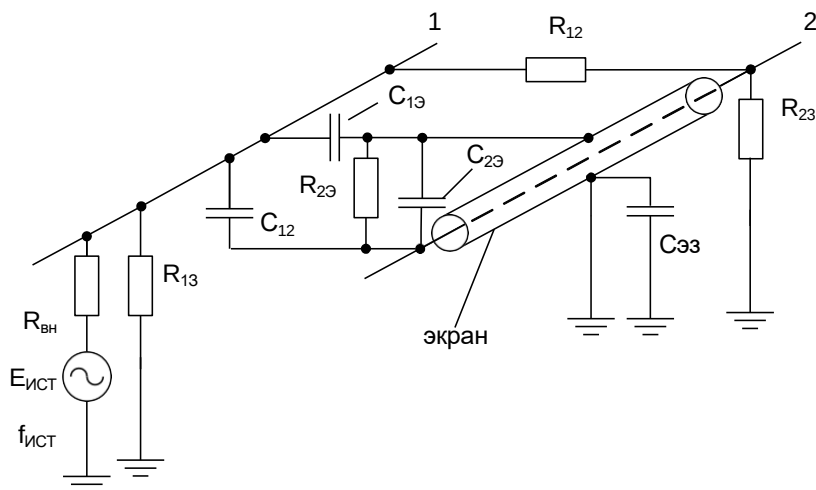


Таблица 3. Значения элементов схем замещения

[illegible]

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Охарактеризуйте природу электромагнитных влияний и пути их передачи.
2. Охарактеризуйте источники широкополосных помех.
3. Дайте характеристику источникам узкополосных помех, приведите примеры.
4. Классифицируйте окружающую среду по помехам, связанным с электромагнитным излучением.
5. Механизмы передачи помех через гальваническую связь и способы их ослабления.
6. Передача помех через емкостную и индуктивную связи и методы их ослабления.
7. Разрядные устройства в электроэнергетических установках как элементы обеспечивающие ЭМС.
8. Охарактеризуйте способы электростатического экранирования и опишите физический механизм явления.
9. Опишите способы магнитного экранирования, а так же физический механизм явления.
10. Экранирование в переменном электромагнитном поле.
11. Способы и средства измерения напряжения и тока помехи.
12. Способы и средства измерения напряженностей электрического и магнитного полей помехи.
13. Экранирующие действия оболочки кабеля.
14. Как осуществляется подавление помех, создаваемых коллекторными двигателями.
15. Воздействия электромагнитных полей на биологические организмы.
16. В чем состоит и для чего проводится спектральный анализ помех.
17. Как осуществляется обеспечение электромагнитной совместимости в лабораториях.
18. Нормы в области электромагнитной совместимости.
19. Классифицируйте окружающую среду по помехам идущим по проводам.

20. Дать понятие и привести примеры противофазных и синфазных помех, и способов их ослабления.
21. Дать понятия Земли и массы.
22. Описание электромагнитных влияний в частотной и временной областях.
23. Воздушные линии высокого напряжения как источники помех.
24. Электромагнитная связь через контур заземления.
25. Помехи в измерительных линиях.
26. L-, C-, LC- фильтры для подавления помех и их конструкции.
27. Разделительные трансформаторы как элементы обеспечивающие ЭМС.
28. Как осуществляется испытание на устойчивость к помехам.
29. Как и для чего осуществляется экранирование помещений.
30. Как осуществляется выбор материала экрана для дальней и ближней зон.
31. Уровни помех и их измерение.
32. Оценка качества электрической энергии.
33. Защита в сетях электропитания как элемент ЭМС.
34. Экспериментальное определение помехоустойчивости.
35. Снижение проникших помех средствами вычислительной техники.
36. Сетевые фильтры как элементы обеспечивающие ЭМС.
37. Материалы для изготовления экранов.
38. Идентификация механизмов связи.
39. Электромагнитные импульсы и их характеристики.
40. Передатчики связи как источники помех.
41. Борьба с проникшими помехами программными средствами.
42. Мероприятия по обеспечению электромагнитной совместимости.
43. Помехоустойчивость и стойкость к повреждению чувствительных элементов.
44. Электромагнитная совместимость в силовом оборудовании.
45. Источники широкополосных помех и их подавление.
46. Противофазные и синфазные помехи и их подавление.
47. Способы описания электромагнитных влияний.

48. Механизмы ослабления гальванических связей.
49. Представление импульсных помех в частотной и временной областях.
50. Как обеспечивается электромагнитная совместимость на предприятиях?

Список литературы

Список основной литературы.

1. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. Под ред. А.Ф. Дьякова. –М.: Энергоатомиздат. 2004 – 720 с.
2. Цицикян Г.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: Учебное пособие. - СПб.: СЗТУ, 2006. - 59 с.
3. Овсянников А.Г. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002.
4. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике/ А.Ф. Дьяков, И.П. Кужекин, Б.К. Максимов, А.Г. Темников; Под ред. А.Ф. Дьякова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009 – 455 с.
5. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: Учебное пособие/ Г.Я. Вагин, А.Б. Лоскутов, А.А. Севостьянов. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 224 с.

Список дополнительной литературы

1. Э. Хабигер. "Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике". М.: Энергоатомиздат, 1995г.- 304с.
2. Адольф Й. Шваб. "Электромагнитная совместимость". М.: Энергоатомиздат, 1998г.- 480с.
3. А.Н. Висящев. "Качество электрической энергии и электромагнитная совместимость в электроэнергетических системах". Учебное пособие. Часть 1. Иркутск, 1997г.- 187с.

4. А.Н. Висящев. "Качество электрической энергии и электромагнитная совместимость в электроэнергетических системах". Учебное пособие. Часть 2. Иркутск, 1997г.- 92с.
5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. М.: ВШ, 2001, Т.1, Т.2.
6. Журавлев Э.Н. Радиопомехи от коронирующих линий передачи. М.: Энергия, 1971.
7. Кравченко В.И. Грозозащита радиоэлектронных средств. М.: Радио и связь, 1991.
8. Князев А.Д. Элементы теории и практики электромагнитной совместимости радиоэлектронных систем. М.: Радио и связь. 1984.
9. Журнал «Технологии электромагнитной совместимости» - 2000 – 2012 гг.
10. Куликова Л.В. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. – Барнаул: АлтГТУ. 2005 – 680 с.

Комплект заданий для контрольной работы

Раздел 1. Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики. Источники электромагнитных воздействий.

Базовый уровень Задание 1 Дан импульс трапецивидной формы амплитудой U_m , длительностью τ и временем нарастания τ_k . Параметры импульса указаны в таблице 1.

Требуется:

- а) аппроксимировать тремя отрезками прямых огибающую спектральной плотности распределения амплитуд;
- б) найти эффективную ширину Π полосы частот импульса;
- в) определить огибающую спектральной плотности распределения амплитуд по прохождении импульса через канал передачи, имеющий амплитудно-частотную характеристику $A(f)_{дб}$, представленную на рисунке 4, где a коэффициент затухания;

Повышенный уровень Задание 1 г) найти амплитуду U_m , длительность τ , время нарастания τ_k , крутизну фронта U_m/τ_k импульса по данным спектральной плотности распределения амплитуд, полученной в пункте

д) Построить этот импульс в системе координат U, t .

Раздел 2. Каналы передачи электромагнитных помех и способы их ослабления

Базовый уровень Задание 2 Даны параметры плоского экрана: относительные электрическая ϵ и магнитная μ проницаемости,

проводимость σ , толщина d . Известна частота излучения f , напряженности электрического E и магнитного H полей вне экрана. Данные приведены в таблице 2.

Требуется:

а) рассчитать по методу полных сопротивлений коэффициенты затухания электромагнитного экрана в ближней зоне на расстоянии равном половине её максимального диаметра, в дальней зоне;

<i>Повышенный уровень</i>	Задание 2	определить величины напряженностей электрического и магнитного полей внутри экрана для ближней и дальней зон.
---------------------------	-----------	---

Раздел 3. Обеспечение электромагнитной совместимости на объектах электроэнергетики.

<i>Базовый уровень</i>	Задание 3	Расчет заземляющего устройства подстанции по программе «Контур». Исходные данные для проведения расчетов характеристик заземляющего устройства, напряжений и токов промышленной частоты, воздействующих на контрольные кабели и вторичное оборудование, приведены в таблице 1. 1. Создать расчетную модель ЗУ в программе «Контур». 2. Расчет сопротивления растеканию заземляющего устройства объекта. 3. Расчет сопротивления металлосвязи 4. Расчет разностей потенциалов при замыканиях в высоковольтной сети на частоте 50Гц. 5. Расчет напряжения шага и прикосновения. 6. Расчет величины постоянно действующего магнитного поля
------------------------	-----------	---

<i>Повышенный уровень</i>	Задание 3	7. Вычислить значения напряжений и токов в элементах заземляющих устройств и других проводящих коммуникациях для импульсных режимов при ударах молнии и замыканиях в высоковольтной сети. А) Расчет уровней воздействий импульсных помех при коммутациях силового оборудования и КЗ в первичных цепях. Б) Расчет уровней воздействий импульсных помех от токов молнии.
---------------------------	-----------	---

Раздел 4. Экологическое и техногенное влияние электрических и магнитных полей промышленной частоты.

<i>Базовый уровень</i>	Задание 4	Расчет напряженности электрического поля трехфазной высоковольтной линии. Требуется рассчитать и построить поперечный профиль распределения напряженности электрического поля $E(x)$ на уровне от земли 1,8 м. Исходными данными являются: U – номинальное напряжение ВЛ [кВ]; D – ширина между фазными линиями [м]; H – высота подвеса крайних ВЛ [м]; r_0 – радиус провода ВЛ [мм]; n – число проводов расщепленной фазы. $r_p = 0,23$ м (радиус окружности, проходящей через центры проводов). По полученным данным рассчитать ширину санитарной зоны, внутри которой запрещена жилая застройка. Кроме того, учесть, что санитарными нормами определен предельно допустимый уровень напряженности вблизи земли (в жилой зоне 1 кВ/м, в населенных пунктах 5 кВ/м, в ненаселенных пунктах 15
------------------------	-----------	---

кВ/м, а на участках пересечения ВЛ с автодорогами 10 кВ/м).

*Повышенный
уровень*

Задание 4

Для воздушной линии (ВЛ) известно (табл. 3.1) линейное напряжение между фазами U . Высота подвеса крайних фаз ВЛ равна H . Ширина воздушной линии D . Высота подвеса средней фазы с центром, расположенным на линии, делящей отрезок $2D$ на равные части, отличается от H на величину H ; радиус сечения провода $r > 0$; количество проводов в расщепленной фазе n . Требуется рассчитать и построить поперечный профиль распределения напряженности электрического поля $E(x)$ на уровне от земли 1,8 м. По полученным данным соответственно рассчитать ширину санитарной зоны, внутри которой запрещена жилая застройка. Кроме того, учесть, что санитарными нормами определен предельно допустимый уровень напряженности вблизи земли (в населенных пунктах 5 кВ/м, в ненаселенных пунктах 15 кВ/м, а на участках пересечения ВЛ с автодорогами 10 кВ/м)

Таблица 1 – Параметры импульсной помехи.

№ варианта	U_M , В	τ , мс	τ_K , мс	a , Дб	№ варианта	U_M , В	τ , мс	τ_K , мс	a , Дб
1	1	10	0.1	10	51	7,5	25	19	20
2	2	20	0.1	15	52	2,5	18	7	10
3	3	10	1.5	20	53	1	13	5	15
4	4	20	1.5	25	54	8	10	3	15
5	5	10	0.5	30	55	4	18	6	70
6	6	25	0.5	30	56	9	14	8	30
7	7	10	6	60	57	6,5	13	4	65
8	8	20	6	65	58	8	24	17	25
9	9	10	7	65	59	6,5	24	18	70
10	10	20	7	80	60	4,5	10	3	20
11	2.5	15	5	30	61	2,5	21	15	15
12	1.5	2	0.1	15	62	12	23	4	65
13	4.5	5	0.2	60	63	3	10	3	30
14	8.5	15	1	60	64	5,5	15	10	40
15	10.5	18	5	90	65	7	10	1	25
16	7.5	4	0.1	80	66	4	23	17	35
17	6.5	6	0.2	50	67	11,5	23	12	15
18	5.5	8	0.1	40	68	6,5	25	11	45
19	1.5	12	3	10	69	2,5	25	13	15
20	4.5	10	3	35	70	3	23	16	20
21	1.25	8	2	20	71	7,5	19	5	60
22	2.25	15	2	40	72	6	11	2	60
23	3.25	20	5	50	73	7,5	10	3	60
24	4.25	20	1	50	74	5,5	17	6	50
25	5.25	10	0	50	75	11	11	3	50
26	3.2	10	3	30	76	10	11	6	15
27	2.2	20	15	25	77	10,5	25	14	10
28	1.8	15	10	10	78	2	14	8	60
29	2.75	7	5	20	79	11	19	7	15

30	3.75	7	1	30	80	3,5	18	9	55
31	4.25	8	2	40	81	3	17	2	10
32	6.25	9	3	50	82	11,5	19	6	30
33	6.75	10	2	50	83	9,5	13	3	30
34	3.2	11	1	35	84	8	24	16	15
35	2.3	12	12	15	85	8,5	19	13	40
36	9.1	13	5	60	86	7	23	16	55
37	7.75	14	4	50	87	7,5	18	12	65
38	0.75	15	3	10	88	2,5	12	5	15
39	0.5	16	2	10	89	5,5	10	1	30
40	1.2	17	1	15	90	8,5	11	4	20
41	1.75	18	18	15	91	1,5	15	10	25
42	1.25	19	9	10	92	0,5	12	7	40
43	2.7	20	8	30	93	0,5	10	2	70
44	6.7	21	7	60	94	4	11	6	70
45	7.7	22	6	70	95	6,5	11	4	30
46	9.75	23	5	75	96	1	18	9	40
47	7.25	24	4	60	97	1	21	15	45
48	5.25	25	3	30	98	2,5	12	5	15
49	4.25	26	2	30	99	7	20	7	70
50	5	27	1	40	00	9	15	8	70

Таблица 2 – Параметры плоского экрана.

№ варианта	$\sigma \times 10^6$ См/м	μ	d мм	f МГц	$H_{ВШ}$ А/м	$E_{ВШ}$ В/м
1	0.58	1	1	0.05	-	100
2	0.105	1	3	0.006	-	100
3	0.06	1	2	0.1	-	100
4	0.026	1	1	0.5	-	50
5	0.02	200	0.5	0.2	-	100
6	0.015	1	5	0.2	-	200
7	0.58	1	2	0.1	-	50
8	0.105	1	0.5	0.1	-	50
9	0.06	1	5	0.04	-	200
10	0.026	1	1.5	0.01	-	200
11	0.015	1	2	0.1	3	-
12	0.58	1	3	0.02	5	-
13	0.105	1	4	0.015	1	-
14	0.06	1	3	0.03	0.5	-
15	0.026	100	2	0.05	2	-
16	0.015	1	1	1	4	-
17	0.58	1	0.1	0.03	2	-
18	0.105	1	0.2	0.07	5	-
19	0.06	1	0.3	0.08	3	-
20	0.026	120	0.2	0.07	1	-
21	0.02	100	0.78	0.8	3	-
22	0.002	50	1	0.045	3	-
23	0.115	1	0.075	2	2	-
24	0.58	1	0.01	0.05	1	-
25	0.105	1	0.1	1	2	-
26	0.06	1	1	1	3	-
27	0.026	100	2	0.02	1	-
28	0.2	300	0.5	0.5	1	-
29	0.015	1	0.75	0.2	2	-
30	0.002	20	0.2	0.35	4	-

31	0.58	1	0.1	1	-	10
32	0.105	1	0.2	1.5	-	30
33	0.06	1	0.25	1	-	80
34	0.026	1	0.75	0.75	-	50
35	0.02	30	1	0.01	-	150
36	0.015	1	0.8	0.075	-	30
37	0.02	80	1	0.05	-	100
38	0.58	1	1	0.03	-	150
39	0.105	1	2	0.1	-	75
40	0.06	1	5	0.8	-	60
41	0.026	1	0.3	0.75	-	50
42	0.02	40	0.55	0.065	-	75
43	0.015	1	0.2	1	-	250
44	0.002	200	1	0.75	-	200
45	0.58	1	0.8	0.9	-	75
46	0.105	1	0.01	0.8	-	50
47	0.06	1	1	0.75	-	100
48	0.026	1	2	2	-	150
49	0.02	10	0.1	1	-	100
50	0.015	1	1	3	-	120
51	0.58	200	0.3	0.75	-	50
52	0.105	1	0.55	0.065	-	75
53	0.06	1	0.2	1	-	250
54	0.026	1	1	0.75	-	200
55	0.02	200	0.8	0.9	-	75
56	0.015	1	0.01	0.8	-	50
57	0.58	1	1	0.75	-	100
58	0.105	1	2	2	-	150
59	0.06	1	0.1	1	-	100
60	0.026	1	0.3	0.08	3	-
61	0.015	1	0.2	0.07	1	-
62	0.58	1	0.78	0.8	3	-

63	0.105	1	1	0.045	3	-
64	0.06	1	0.075	2	2	-
65	0.026	100	0.01	0.05	1	-
66	0.015	1	0.1	1	2	-
67	0.58	1	1	1	3	-
68	0.105	1	2	0.1	-	50
69	0.06	1	0.5	0.1	-	50
70	0.026	120	5	0.04	-	200
71	0.02	100	1.5	0.01	-	200
72	0.002	50	2	0.1	3	-
73	0.115	1	3	0.02	5	-
74	0.58	1	4	0.015	1	-
75	0.105	1	3	0.03	0.5	-
76	0.06	1	2	0.05	2	-
77	0.026	100	1	1	4	-
78	0.2	300	0.55	0.065	-	75
79	0.015	1	0.2	0.35	4	-
80	0.002	20	0.2	1	-	250
81	0.58	1	0.1	1	-	10
82	0.105	1	0.2	2,5	-	75
83	0.06	1	0.25	2	-	40
84	0.026	1	0.75	0.75	-	50
85	0.02	30	1	0.01	-	150
86	0.015	1	0.2	1	-	250
87	0.02	80	0.1	0.03	2	-
88	0.58	1	0.2	0.07	5	-
89	0.105	1	0.3	0.08	3	-
90	0.06	1	0.2	0.07	1	-
91	0.026	1	0.78	0.8	3	-
92	0.02	40	0.075	2	2	-
93	0.015	1	0.01	0.05	1	-
94	0.002	200	0.1	1	2	-

95	0.58	1	1	1	3	-
96	0.105	1	2	0.02	1	-
97	0.06	1	0.5	0.5	1	-
98	0.026	1	0.75	0.2	2	-
99	0.02	10	0.3	0.75	-	50
00	0.015	1	0.55	0.065	-	75

Таблица 3 –Параметры линии

	Цифры шифра студента и исходные данные									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
U , кВ	220	330	500	750	1150	220	330	500	750	1150
D , м	10	10	12	14	22	10	14	16	18	24
H , м	10	12	14	22	28	11	13	16	18	26
ΔH , м	1	1	2	2.5	3	1	1.5	2	3	3.5
n	1	1	2	3	8	1	2	3	4	10
r_0 , мм	8.8	9.1	9.6	10.8	10.8	8.8	9.2	9.8	10.8	11

	Используемая цифра
U , кВ	последняя
D , м	последняя
H , м	последняя
ΔH , м	последняя
n	последняя
r_0 , мм	предпоследняя

1. Критерии оценивания компетенций

Оценка «отлично» выставляется студенту, если студент грамотно оформил работу и правильно решил задачи в расчетно-графической работе, показал взаимосвязь всех вопросов продемонстрировал умение работать с научной литературой, делать теоретические и практические выводы.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если студент, обстоятельно владеет материалом, однако допускает несущественные ошибки в расчетах, однако в целом свободно владеет материалом.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если студент, в основном владеет материалом, однако допускает существенные неточности в расчетах.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если студент, неправильно решил задачи и не может ответить на поставленные вопросы.

При проверке контрольной оцениваются также рациональность, математический и физический уровень решения задачи

2. Описание шкалы оценивания

Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55.

Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

3. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

3.1 Перечень основной литературы

1. Вагин, Г. Я. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки "Электроэнергетика" / Г. Я. Вагин, А. Б. Лоскутов, А. А. Севостьянов. – Москва : Академия, 2010. – 223, [1] с. : ил., табл. ; 22. – (Высшее профессиональное образование. Энергетика). – Библиогр.: с. 221-222. – ISBN 978-5-7695-6539-7
2. Пудовкин, А. П. Электромагнитная совместимость и помехозащищённость РЭС Электронный ресурс : Учебное пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, Т. И. Чернышова. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2013. – 92 с. – Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. – ISBN 978-5-8265-1194-7
3. Жежеленко, И. В. Электромагнитная совместимость в электрических сетях Электронный ресурс : Учебное пособие / И. В. Жежеленко, М. А. Короткевич. – Электромагнитная совместимость в электрических сетях, 2020-02-24. – Минск : Вышэйшая школа, 2012. – 197 с. – Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. – ISBN 978-985-06-2184-9

3.2 Перечень дополнительной литературы

4. Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях Электронный ресурс : практическое пособие. - Москва : Издательский дом ЭНЕРГИЯ, 2014. - 76 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. - ISBN 978-5-98908-239-1
5. Овсянников, А. Г. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике : Учебник / Овсянников А. Г. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2013. - 194 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. - ISBN 978-5-7782-2199-4
6. Ефанов, В. И. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем Электронный ресурс : Учебное пособие / В. И. Ефанов, А. А. Тихомиров. – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 228 с. – Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. – ISBN 5-86889-188-0

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГАОУ ВО «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания организации самостоятельной
работы обучающихся
по дисциплине «Электромагнитная совместимость в
электроэнергетических системах»
для студентов направления подготовки /
специальности

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль) Электроснабжение

Ставрополь 2025

Оглавление

Введение	3
1. Основные мотивы самостоятельной работы студентов	4
2. Способы самостоятельной работы при чтении учебной и научной литературы	5
3. Формы ведения записей	15
4. Как слушать и конспектировать лекции	24
5. Использование компьютера в процессе самостоятельной работы студентов	28
6. Подготовка к экзаменам и зачетам	36
Рекомендуемая литература	39

Введение

Основная задача высшего образования заключается в формировании творческой личности специалиста, способного к саморазвитию, самообразованию, инновационной деятельности. Решение этой задачи вряд ли возможно только путем передачи знаний в готовом виде от преподавателя к студенту. Для решения этой задачи в учебные планы всех специальностей включена самостоятельная работа, составляющая 50% учебного времени студента.

В связи с этим, студенту из пассивного потребителя знаний необходимо превратиться в активного их творца, умеющего сформулировать проблему, проанализировать пути ее решения, найти оптимальный результат и доказать его правильность. Происходящая в настоящее время реформа высшего образования связана по своей сути с переходом парадигмы обучения к парадигме образования. В этом плане следует признать, что самостоятельная работа студентов является не просто важной формой образовательного процесса, а должна стать его основой. Это предполагает ориентацию на активные методы овладения знаниями, развитие творческих способностей студентов, переход от поточного к индивидуализированному обучению с учетом потребностей и возможностей личности.

В широком смысле под самостоятельной работой студентов следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов как в учебной аудитории, так и вне ее, в контакте с преподавателем и в его отсутствие.

Самостоятельная работа реализуется:

1. Непосредственно в процессе аудиторных занятий – на лекциях, практических и семинарских занятиях, при выполнении лабораторных работ.
2. В контакте с преподавателем вне рамок расписания – на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих

контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении студентом учебных и творческих задач.

Границы между этими видами работ достаточно размыты, а сами виды самостоятельной работы пересекаются.

Следует с первых дней обучения в вузе приучать себя к целесообразному распределению занятий по месяцам и неделям семестра. При этом очень важна равномерная работа как основное условие успешных занятий в вузе.

Высшей ступенью обучения является приобретение навыков самостоятельной творческой работы, а творческому применению знаний нужно учиться параллельно с их приобретением.

1. Основные мотивы самостоятельной работы студентов

Активная самостоятельная работа студентов возможна только при наличии серьезной и устойчивой мотивации. Самый сильный мотивирующий фактор – подготовка к дальнейшей эффективной профессиональной деятельности. Среди внутренних факторов, способствующих активизации самостоятельной работы выделяют следующие:

1. *Полезность* выполняемой работ заключается в том, что результаты самостоятельной работы могут быть использованы на семинарских и практических занятиях, лабораторном практикуме, при подготовке публикации. Другим вариантом использования фактора полезности является активное применение результатов работы в профессиональной подготовке. Так, например, если студент получил задание на дипломную работу на одном из младших курсов, он может выполнять самостоятельные задания по ряду дисциплин гуманитарного и социально-экономического, естественно-научного и общепрофессионального циклов дисциплин, которые затем войдут в его выпускную квалификационную работу.

2. *Творческая деятельность.* Это может быть участие в научно-исследовательской, опытно-конструкторской или методической работе, проводимой на той или иной кафедре.
3. *Участие* в олимпиадах по учебным дисциплинам, конкурсам научно-исследовательских или прикладных работ и т.д.
4. *Участие* в научно – практических конференциях.
5. *Подготовка публикаций* для сборников тезисов и докладов научно-практических конференций, журналов, учебных пособий и т.д.
6. *Участие в грантовых конкурсах.*

2. Способы самостоятельной работы при чтении учебной и научной литературы

При остром недостатке времени у студентов встает вопрос об оптимизации обучения, то есть такой организации учебного процесса, которая обеспечила бы условия для продуктивного самообучения и самовоспитания. Важнейшую роль здесь играет овладение способами самостоятельной работы. Речь идет о том, что чтобы прежде всего научиться рациональному использованию времени при работе с книгой.

В этом особенно нуждаются первокурсники, которые еще недостаточно владеют навыками умственной деятельности, обеспечивающей успешное обучение.

Начинать самостоятельные занятия следует с первых же дней учебы в вузе. Первые дни семестра важны, чтобы включиться в работу, установить определенный равномерный ритм на весь семестр. Чтобы выполнить весь объем самостоятельной работы, необходимо заниматься самостоятельно по 4-5 часов ежедневно, кроме выходных дней.

Под ритмом работы понимают ежедневные занятия в одни и те же часы, при чередовании их с перерывами для отдыха. Вначале для организации ритмичной работы требуется сознательное напряжение воли, затем

принуждение снимается, возникает привычка и работа становится потребностью.

Ритмичная работа позволяет студенту заниматься много, не уставая, не снижая производительности и не перегружая себя. Для этого необходимо:

- Сменять один вид работы другим, что позволяет сохранять высокую работоспособность, поскольку при однообразных видах занятий человек утомляется больше, чем при работе разного характера.
- Заниматься несколькими предметами в один и тот же день не всегда целесообразно, поскольку при каждом переходе нужно вновь концентрировать внимание и затрачивать время.
- Умение сосредотачиваться – необходимое условие для умственного труда, иначе работа оказывается малопродуктивной и даже бесполезной.
- Начинать занятия немедленно, как только сел за стол. Следует начинать с уверенностью, что вскоре придет сосредоточенное состояние, но если внимание наступает не сразу или нарушается на время, нужно выяснить и устранить причины этого.
- Нужно научиться не прерывать внимания, пока читаемое не получит логического завершения, пока не будет пройден какой либо этап. Нередко внимание отвлекается посторонними мыслями, которые во время занятий следует решительно отгонять. Перерыв в занятиях следует приурочить к концу изучения параграфа, раздела или главы книги, так как в этом случае не будет потери времени при возобновлении работы. Умение сосредоточиться, углубиться в работу приобретается в результате практики, создающей определенные навыки.
- Повысить производительность умственного труда может порядок на рабочем месте и обстановка, благоприятствующая работе.

Большая часть самостоятельной работы студента состоит в **изучении литературы**. Одна из задач студента – научиться самостоятельно работать с книгой, а это требует определенных затрат энергии и времени. Поэтому надо научиться делать эту работу рационально, то есть необходимо учиться читать.

Как работать с учебной и научной книгой

Методы эффективной работы с книгой в целях развития интеллекта можно условно разделить на две группы:

1. Правильная организация процесса чтения
2. Повышение скорости чтения и восприятия.

В комплексе оба метода могут в 2-3 раза сократить время прочтения различных материалов.

При чтении текста мозг формирует «свою трактовку содержания» прочитанного. Происходит перекодирование сообщения на языке собственных мыслей читателя. Мозг выделяет «ядерное», сущностное значение из текста. Эффективность такой перекодировки зависит от осмысления и внимательности чтения.

Как показали эксперименты, знание и умелое применение некоторых упражнений дают возможность извлекать «ядерное» значение в тексте быстро и надежно. Эти упражнения основаны на использовании дифференциального алгоритма чтения. Центральное место в этом алгоритме занимает «блок доминанта». Это слово в переводе с латинского языка означает «господствующий, основной, главный». Что же такое доминанта применительно к тексту?

Доминанта – главная смысловая часть текста. Она выражается своими словами, на языке собственных мыслей, является результатом переработки текста, его осмысления в соответствии с индивидуальными особенностями читателя, выявления основного замысла автора.

Дифференциальный алгоритм чтения в соответствии с блоками позволяет реализовать логико-семантический анализ текста: вначале выделить ключевые слова, затем построить смысловые ряды и, наконец, выделив цепь знаний, сформулировать доминанту. Именно так и только так (по О.А. Андрееву) можно увидеть главное, действительно, проникнуть в суть вещей, явлений, излагаемых автором.

Возможны три основных способа чтения.

- Первый способ – артикуляция или проговаривание вслух (или почти вслух) того, что читаешь. Скорость такого чтения невелика.
- Второй способ – чтение про себя, при котором речевой процесс проявлен в форме внутренней речи, то есть без открытой артикуляции. Текст, при этом усваивается более эффективно. Способ в принципе допускает быстрое чтение.
- Третий, наиболее совершенный способ чтения – тоже молча, но в условиях максимального сжатия внутренней речи, при котором она проявляется в виде коротких залпов ключевых слов и смысловых рядов, адекватно отражающих смысл текста.

Итак, артикуляция замедляет процесс чтения и от нее необходимо избавиться. Однако не приведет ли сокращение артикуляции при повышении скорости чтения к снижению качества восприятия и осмысления полученной информации?

Как показали исследования психологов, иногда при чтении слова могут быть заменены наглядными представлениями, пространственными схемами. Целые группы слов – одним словом.

Быстро читающие люди обладают способностью, не проговаривая читаемый текст, сразу улавливать и фиксировать замысел автора, а затем усваивать его на уровне внутренней речи. В этом случае, несмотря на высокую скорость чтения, происходит глубокое понимание и усвоение прочитанного, так как основная идея понятна с самого начала. Задачу научиться такому чтению можно решать в два этапа. Первый предполагает

сокращение артикуляции, если она ярко выражена, второй – овладение приемами чтения, при которых текст воспринимается крупными информационными блоками.

Как известно, людей по способу восприятия и переработки информации делят на три типа: зрительный, слуховой и кинестетический. Люди зрительного типа при чтении используют код наглядных образов, тогда как люди слухового типа применяют менее производительный код речедвижений. Наблюдения за людьми, читающими быстро, показывают, что они, как правило, относятся к зрительному типу. Вот пример, как описывает О.Бальзак процесс быстрого чтения: «Впитывание мысли в процессе чтения достигло у него способности феноменальной. Взгляд его охватывал семь – восемь строчек сразу, и разум постигал смысл со скоростью, соответствующей скорости глаз. Часто одно-единственное слово позволяло ему усвоить смысл целой фразы».

Направленным обучением можно практически любого здорового человека научить в процессе чтения использовать код наглядных зрительных образов при соответствующем сокращении артикуляции.

С опорой на работу Л.Г. Одинцова «Как научиться хорошо учиться» (М., 1996) приводим следующие рекомендации по работе с книгой.

- В тексте всегда есть элементы, нахождение и использование которых позволяет извлечь требуемую информацию наиболее быстро. Например, при чтении учебника в первую очередь отыскивается наиболее важная информация данной главы, параграфа, а она часто следует после слов: в итоге, в результате, выводы и т.д.
- Попробуйте в процессе чтения мысленно заглянуть вперед, представить себе, о чем будет идти речь, к какому выводу придет автор, как далее будет строиться изложение и т.д. например, если описывается одна сторона явления, то, очевидно, далее будет

описана и другая и т.д. Это позволяет предварительно подготовиться к последующей информации.

- Хорошим упражнением по развитию навыков «предвидения» является остановка чтения в момент, когда, по вашему мнению, заканчивается какая-то часть текста. Попробуйте предугадать содержание следующей части.
- До начала чтения текста важно собрать о нем как можно больше информации, чтобы точнее представить, что можно получить из данного текста и как лучше работать с ним. Это помогут сделать название, автор, издательство, аннотация, оглавление, предисловие и заключение. Предварительное ознакомление с книгой перед настоящим чтением позволяет сберечь время и труд.

Как правило, предисловие пишется крупным специалистом в данной области, и поэтому излагаемая проблема показывается как бы целиком, в общем плане, без подробностей. А это позволяет лучше сориентироваться, начинать чтение, зная основную цель автора.

- Перед углубленным чтением любого текста (статьи, книги, конспекта, лекции перед экзаменом) сначала бегло просмотрите его целиком. При этом постарайтесь выявить основные стержневые идеи, наиболее крупные части и логику их изложения. Лишь после такого просмотра переходите к более детальному чтению.
- Перед чтением статьи или параграфа учебника попробуйте проделать следующее: прочитайте внимательно первый абзац, потом бегло просмотрите первые или последние фразы следующих абзацев (в них обычно содержится основная информация), обратите внимание на курсивы, разрядки, подзаголовочный текст и, наконец, внимательно прочтите один-два последних абзаца; постарайтесь выявить основное направление текста и его построение.
- Прочитав в тексте интересную идею, полезно остановить свое внимание на ней, прислушаться к тем мыслям, которые она у вас

вызвала, подумать о тех последствиях, которые из нее вытекают, попытаться развивать ее дальше.

- Существенно замедляют чтение регрессии – частые возвратные движения глаз, многократное повторное прочитывание материала. Возвратиться к уже прочитанному, но недостаточно хорошо понятому участку лучше всего, когда прочитан законченный смысловой фрагмент текста и сделана хотя бы попытка его осмысления, а не в процессе чтения предложения.
- Любой текст не однороден по своей информационной насыщенности. В некоторых предложениях, абзацах сконцентрировано очень много информации, например, формулируются основные положения, ведущие идеи и т.д., а другие служат лишь иллюстрацией, фоном. Таким образом, текст имеет «смысловой рельеф». Чем точнее читатель умеет определить степень важности каждого отрезка текста и приспособить к «смысловому барьеру» способ своего чтения (то есть замедлить и углубить в более важных местах и ускорять в менее важных), тем продуктивнее чтение. Постарайтесь гибко варьировать способ работы с текстом в соответствии с его «смысловым барьером».
- Чтобы чтение было эффективным, попробуйте по прочитанному всегда отвечать на 6 вопросов: *«Кто делает? Что делает? Когда? Почему? Где? Как?»*

Освойте технику быстрого чтения по специальной методике, например по книге О.А. Андреева, Л.Н. Хромова. Учитесь быстро читать (М., 1991).

Большое значение при чтении учебной и научной литературы имеет умение запоминать прочитанный материал, а для этого необходимо тренировать память. Существуют приемы, позволяющие тренировать память, которыми необходимо овладеть, что позволит повысить эффективность работы с учебной и научной литературой.

Тренировка памяти. В учебной деятельности важно не только, и не столько быстро читать, но и усваивать материал, сохранять в памяти. Память прекрасно тренируема и управляема. Однако прежде чем ее развивать, подумайте, какая именно память вам нужна: на идеи, на логику изложения материала, на схемы и формулы. Это разные виды памяти и развивать их надо по-разному.

Наблюдая за собой, выясните, как вам легче запомнить информацию – если вы ее видите, слышите или записываете. В дальнейшем постарайтесь так организовать работу, чтобы максимально использовать ведущий тип своей памяти.

Если у вас хорошая **зрительная память**, то хорошо запоминаются рисунки, расположение информации на странице, цвет и т.д. помогите себе, выделяя цветными карандашами отдельные места конспекта, обводя рамками, делая значки, пометки на полях, представляя зрительно отдельные аспекты текста.

При хорошей **слуховой памяти** лучше запоминается звучащая речь. Используйте эту особенность, выделяя интонацией, тембром голоса отдельные места текста, слушая его в записи на магнитофоне, рассуждая в слух и т.д.

В случае **памяти на движение** помогает повторная сокращенная запись запоминаемого материала, например выводов, основных положений текста, рисование таблиц, графиков, схем, а при выполнении лабораторных работ лучше все потрогать и проделать самому.

Наряду с использованием ведущего типа памяти, специально позаботьтесь и о развитии отстающих, так как при многих видах профессиональной деятельности они также могут потребоваться.

Использование приемов логического, осмысленного запоминания в несколько раз повышает продуктивность деятельности. Например, при запоминании лекции, глав учебников особенно действенным является

основные аспекты содержания, но и запомнить логику – целесообразную связь отдельных частей материала.

Постарайтесь с первого курса развивать память на то, что непосредственно касается вашей будущей профессии. Это и основной круг идей данной отрасли знаний, и методы, и наиболее интересные факты, и фамилии ведущих специалистов области и т.д. при этом лучше не ждать, что запомнится само, а специально стараться запомнить нужное.

Вообще установка на запоминание, особенно длительное, положительно сказывается на прочности и точности сохранения материала в памяти. Прикажите себе запомнить надолго, а не так как нерадивый студент, спешно «набивающий» себе голову информацией непосредственно перед экзаменом с единственной целью – удержать выученное на один – два дня.

Любая информация запоминается лучше, если в ней намечены какие-то спорные моменты – ориентиры. И как по камушкам переходят реку, так и по этим ориентирам потом легче воспроизвести содержание. При запоминании текста выделяйте «смысловые опорные пункты», которые легко запоминаются, но с которыми тесно связаны целые фрагменты материала. Это может быть крылатая фраза, яркая цитата, пример, идея и т.д.

Материал запоминается произвольно, то есть легко и без затраты специальных усилий, если он является целью какой-либо поисковой деятельности. Например, если вы задались вопросом и нашли ответ на то, что долго искали, или нашли подтверждение гипотезы, которую вы сами выдвинули, то это запоминается само собой. Отсюда вывод – организуйте свою деятельность так, чтобы предмет запоминался, являлся целью этой деятельности. Например, ищите, выделяйте в тексте наиболее важные его положения – и они запомнятся, делите текст на части, анализируйте связи между ними – и запомнится логика текста.

При повторении курса лекций, запоминая материал по отдельным темам или даже вопросам, не забывайте повторить связь между ними.

Именно тогда в голове укладывается система знаний, которая гораздо эффективнее, чем разрозненные обрывки.

В процессе развития памяти старайтесь не использовать стихийно сложившиеся мнения, механическое зазубривание, а применяйте научно обоснованные методы сознательной и рациональной организации развития памяти и поиск новых приемов.

Предпосылкой хорошей памяти являются осознание человеком своей деятельности и разграничение информации на ту, которая решающим образом помогает скорейшему достижению своих целей, и на менее существенную информацию. Начинайте любое дело с четкой и ясной формулировки его цели; определите, какая информация может оказать решающее воздействие на ее достижение, и сконцентрируйтесь на ней.

Прочному запоминанию способствует многомодельность восприятия, то есть запоминаемый текст читается, проговаривается и прослушивается. Везде, где это возможно, постарайтесь использовать три приема (слух, зрение и чувства) обработки запоминаемой информации сразу несколько органов чувств.

Не очень осмысленную вами информацию, которую, тем не менее, надо запомнить, можно удержать с помощью ассоциативных приемов мнемотехники, суть которых в том, что новое связывается с известным не прямо, а через цепочку дополнительных промежуточных ассоциаций (помните цвета спектра – «Каждый охотник желает знать, где сидит фазан»). Везде, где трудно запомнить прямо, найдите дополнительный связующий мостик. Такими «связующими» мостиками являются буквальные «узелки» на память, завязываемые многими на носовом платке. В течение дня человек неизбежно пользуется носовым платком, а там – узелок, «напоминающий», что нужно не забыть сделать определенное дело.

Память будет работать прекрасно, если наряду с имеющимися приемами вы будете придумывать все новые, адекватные различным видам

информации. Если такая работа привычна для вас, то с каждым годом память будет становиться все более мощной и продуктивной.

3. Формы ведения записей

Самостоятельная работа с книгой может быть успешной, если текст не только прочитан, но и законспектирован. Существует несколько **форм записей**, но любая форма записи не даст нужного результата, если не будет пробуждать мысли того, кто ее ведет, если отсутствует активная работа ума и формирование своих выводов из прочитанного.

Выбор формы записи зависит от индивидуальных особенностей человека, его образованности и опыта. При этом не меньшую роль играет назначение записей, то есть то, какие задачи ставит перед собой человек (для самообразования, для выступления на семинаре, для использования в будущем).

Введение записей мобилизует наряду со зрительной памятью, также и моторную память. Кроме того, у человека, систематически ведущего записи изучаемой литературы, создается свой фонд материалов для быстрого повторения и мобилизации накопленных знаний.

Все записи должны быть убористыми и компактными. Интервалы между строками должны быть достаточными, чтобы вписывать дополнения. Рекомендуется вести записи ручкой, а карандашом или ручкой другого цвета пользоваться для отметок и выделений при последующей работе. Полезно также датировать записи.

Записи могут носить различный характер: план, выписки, тезисы, аннотирование, конспектирование, реферирование.

1. План - наиболее краткая формой записи.. Это перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. План обычно раскрывает структуру произведения, логику автора, способствует лучшей ориентации в содержании.

Так, составленным планом можно воспользоваться, чтобы вспомнить прочитанное или быстро отыскать в книге нужное место. Представление об основных пунктах плана дает оглавление книги, поэтому во многих случаях наименования глав и разделов можно использовать в качестве пунктов. Составление плана приучает логически мыслить, вырабатывать умение сжато и последовательно излагать суть вопроса в письменной и устной форме.

Существует два способа составления плана: работа над ним по ходу чтения и составление плана после ознакомления с произведением. При этом план получается более последовательным и стройным.

Трудность составления плана состоит в том, что надо выяснить для себя, прежде всего, построение изучаемого текста, ход мыслей автора и лишь затем изложить содержание работы кратко и ясно. При всей своей краткости план дает представление о содержании прочитанного. Следует учесть, что форма плана не исключает цитирования отдельных мест и обобщений. Различают простой и развернутый план. В отличие от простого плана развернутый план не только содержит перечисление вопросов, но и раскрывает основные идеи произведения, может включать выдержки из него, схемы, таблицы. Планом, особенно развернутым, необходимо пользоваться при написании выступления или статьи.

В целом развернутый план дает гораздо большее представление о произведении, его основных идеях, задачах, которые в нем решаются. Он может включать положения, замечания, собственные мысли студента.

Важно знать, что составление планов помогает вырабатывать способность к отвлеченному, абстрактному мышлению, но наибольшую пользу составление плана даст подготовленным лицам, которые бывают достаточно лишь взглянуть на перечень основных вопросов, чтобы воспроизвести содержание прочитанного.

2. Тезисы – более сложная и совершенная форма записи, чем составление плана.

Это сжатое изложение основных мыслей прочитанного произведения или подготовляемого выступления. Особенностью тезисов является их утвердительный характер.

В них сосредотачивается самое главное, только выводы и обобщения, в них меньше доказательств, иллюстрации и пояснений. Тезисы не должны повторять дословно текст, но в ряде мест могут быть близки к нему, воспроизводя некоторые характерные выражения автора, важные для понимания хода его мыслей. Составление тезисов помогает глубже понять основные идеи произведения, выделить главное в нем; приучают сжато, точно и четко сформулировать свои мысли, повышает культуру речи и письма. При составлении тезисов учитывают следующее. Прежде всего, если произведение небольшое, необходимо внимательно изучать его в целом, если большое – изучать по главам и разделам. Затем, когда будут ясны основные идеи, кратко и последовательно излагать их в виде пунктов.

Различают простые и сложные, развернутые тезисы. Если записывают только утверждение чего – либо, такой тезис называют простым, а сложным тезисом будет выражение главной мысли, содержащее, кроме утверждения, еще и краткое ее доказательство.

Часто тезисы формулируются самим автором как выводы и обобщения в заключении книги или разделах книги. Нередко тезисы выделяются в тексте другим шрифтом.

Рекомендуется делать тезисные записи своими словами, причем можно записывать один абзац за другим, учитывая смысловую связь между ними. Но в большинстве случаев следует составлять сводный тезис, сложный по форме. При этом объединяется несколько утверждений, тесно связанных между собой.

Тезисы по содержанию очень близки к **конспекту**, но конспект носит более описательный характер, и его положения не столь категоричны, как в тезисах. Кроме того, конспект представляет собой более полную форму записи.

Следует отметить, что различие между формами записей условно, но в любой форме запись – важнейшая часть самостоятельной работы с книгой.

3. Выписки. Это записи текста из книги: теоретических положений, статистических данных, имеющих по мнению читателя важное значение.

Достоинство выписок состоит в точности воспроизведения текста книги, удобстве пользования записями при последующей работе, в накоплении обобщений и фактического материала. Выписки полезны для повторения, освежения в памяти прочитанного, для быстрой мобилизации своих знаний, когда необходимо в короткий срок вспомнить материал. Выписки выделяют из текста самое главное и тем самым помогают глубже понять его. Без них трудно обойтись при подготовке доклада, реферата, выступления. Выписки следует рассматривать как составную часть тезисов и конспектов.

Выписывать текст можно и по ходу чтения и после его завершения. В последнем случае надо замечать места, которые потом будут выписаны. Необходимо каждую выписку снабжать ссылкой на источник с указанием соответствующей страницы. Это нужно, чтобы в последствии можно было быстро найти в книге соответствующее место. Целесообразно выписывать из текста только такие места, в которых содержится самое главное, суть вопроса. Выписки должны быть ориентированы на изучение произведения в целом, а не отдельных мест, поскольку положения, вырванные из общего контакта, понимаются нередко совсем не так, как этого хотел автор. Иначе говоря, отдельно взятые, лишенные пояснений выдержки могут быть не поняты или поняты неправильно.

Выписки бывают дословные (цитаты) и «свободные», когда мысли автора излагаются своими словами. Следует учесть, что большие отрывки, которые трудно цитировать, целесообразнее в краткой форме переложить своими словами, но «яркие» и важные места лучше выписывать дословно. Каждую цитату следует заключать в кавычки. Если ее берут из середины

предложения, то после вводных кавычек ставят три точки. Ставят их и в конце цитаты, если из предложения опущены последние слова.

Следует знать, что какого-либо единого метода выписок, годного для всех случаев, не существует, поскольку у каждого человека свои особенности мышления и восприятия, свой подход к теме. Все это влияет на содержание и характер выписок.

Выписки рекомендуется хранить в картотеке, конвертах или папках, на которых следует обозначить общую тему.

4. Аннотация – еще одна форма записи, являющаяся кратким обобщением содержания книги. Ею удобно пользоваться, если имеется намерение вернуться к изучаемому произведению. Аннотация может быть необходима и для того, чтобы не забыть о нем.

Для составления аннотации надо сначала полностью прочитать и глубоко продумать произведение. При всей своей краткости аннотация может содержать отдельные фрагменты авторского текста, а не только оценку книги или статьи.

5. Резюме очень близко к аннотации. Это запись, являющаяся краткой оценкой прочитанного материала. Различие между ними состоит в том, что аннотация сжато характеризует произведение в целом, а резюме концентрирует внимание на его выводах, главных итогах.

6. Конспект – наиболее совершенная и наиболее сложная форма записи. Слово «конспект» происходит от латинского «conspectus», что означает «обзор, изложение». В правильно составленном конспекте обычно выделено самое основное в изучаемом тексте, сосредоточено внимание на наиболее существенном, в кратких и четких формулировках обобщены важные теоретические положения.

Конспект представляет собой относительно подробное, последовательное изложение содержания прочитанного. На первых порах целесообразно в записях ближе держаться тексту, прибегая зачастую к

прямому цитированию автора. В дальнейшем, по мере выработки навыков конспектирования, записи будут носить более свободный и сжатый характер.

Конспект книги обычно ведется в тетради. В самом начале конспекта указывается фамилия автора, полное название произведения, издательство, год и место издания. При цитировании обязательная ссылка на страницу книги. Если цитата взята из собрания сочинений, то необходимо указать соответствующий том. Следует помнить, что четкая ссылка на источник – непереносимое правило конспектирования. Если конспектируется статья, то указывается, где и когда она была напечатана.

Конспект подразделяется на части в соответствии с заранее продуманным планом. Пункты плана записываются в тексте или на полях конспекта. Писать его рекомендуется четко и разборчиво, так как небрежная запись с течением времени становится малопонятной для ее автора. Существует правило: конспект, составленный для себя, должен быть по возможности написан так, чтобы его легко прочитал и кто-либо другой.

Формы конспекта могут быть разными и зависят от его целевого назначения (изучение материала в целом или под определенным углом зрения, подготовка к докладу, выступлению на занятии и т.д.), а также от характера произведения (монография, статья, документ и т.п.). Если речь идет просто об изложении содержания работы, текст конспекта может быть сплошным, с выделением особо важных положений подчеркиванием или различными значками.

В случае, когда не ограничиваются переложением содержания, а фиксируют в конспекте и свои собственные суждения по данному вопросу или дополняют конспект соответствующими материалами их других источников, следует отводить место для такого рода записей. Рекомендуется разделить страницы тетради пополам по вертикали и в левой части вести конспект произведения, а в правой свои дополнительные записи, совмещая их по содержанию.

Конспектирование в большей мере, чем другие виды записей, помогает вырабатывать навыки правильного изложения в письменной форме важные теоретических и практических вопросов, умение четко их формулировать и ясно излагать своими словами.

Таким образом, составление конспекта требует вдумчивой работы, затраты времени и труда. Зато во время конспектирования приобретаются знания, создается фонд записей.

Конспект может быть текстуальным или тематическим. В **текстуальном конспекте** сохраняется логика и структура изучаемого произведения, а запись ведется в соответствии с расположением материала в книге. За основу тематического конспекта берется не план произведения, а содержание какой-либо темы или проблемы.

Текстуальный конспект желательно начинать после того, как вся книга прочитана и продумана, но это, к сожалению, не всегда возможно. В первую очередь необходимо составить план произведения письменно или мысленно, поскольку в соответствии с этим планом строится дальнейшая работа. Конспект включает в себя тезисы, которые составляют его основу. Но, в отличие от тезисов, конспект содержит краткую запись не только выводов, но и доказательств, вплоть до фактического материала. Иначе говоря, конспект – это расширенные тезисы, дополненные рассуждениями и доказательствами, мыслями и соображениями составителя записи.

Как правило, конспект включает в себя и выписки, но в него могут войти отдельные места, цитируемые дословно, а также факты, примеры, цифры, таблицы и схемы, взятые из книги. Следует помнить, что работа над конспектом только тогда будет творческой, когда она не ограничена текстом изучаемого произведения. Нужно дополнять конспект данными из другими источниками.

В конспекте необходимо выделять отдельные места текста в зависимости от их значимости. Можно пользоваться различными способами: подчеркиваниями, вопросительными и восклицательными знаками,

репликами, краткими оценками, писать на полях своих конспектов слова: «важно», «очень важно», «верно», «характерно».

В конспект могут помещаться диаграммы, схемы, таблицы, которые придадут ему наглядность.

Составлению **тематического конспекта** предшествует тщательное изучение всей литературы, подобранной для раскрытия данной темы. Бывает, что какая-либо тема рассматривается в нескольких главах или в разных местах книги. А в конспекте весь материал, относящийся к теме, будет сосредоточен в одном месте. В плане конспекта рекомендуется делать пометки, к каким источникам (вплоть до страницы) придется обратиться для раскрытия вопросов. Тематический конспект составляется обычно для того, чтобы глубже изучить определенный вопрос, подготовиться к докладу, лекции или выступлению на семинарском занятии. Такой конспект по содержанию приближается к реферату, докладу по избранной теме, особенно если включает и собственный вклад в изучение проблемы.

Следующим методом самостоятельной работы с книгой является **реферирование** на определенную тему. Слово реферат употребляется в двух различных значениях:

1. Краткое изложение содержания книги, научной работы;
2. Доклад за заданную тему на основе критического образа литературных источников.

7. Реферат – это один из самых сложных видов самостоятельной работы с книгой, а для этого следует овладеть более простыми приемами работы – разработкой плана, составлением тезисов и конспектов. Подготовка реферата и выступление с его изложением углубляет знания, расширяет кругозор, приучает логически, творчески мыслить, развивать культуру речи.

При просмотре литературы намечается ориентировочный план реферата, в который включается обычно 3-4 основных вопроса или раздела. Каждом из разделов формулируются подвопросы, помогающие последовательно раскрыть содержание проблемы.

В процессе изучения материала формулировки подвопросов и разделов обычно уточняются. При реферировании следует делать выписки, записывать мысли, возникающие при чтении; следует также точно записывать и определения тех понятий, которые будут использованы в реферате. Из прочитанной литературы нужно заимствовать не буквальный текст, а важнейшие мысли, идеи, теоретические положения; можно цитировать небольшие отрывки, приводить диаграммы, схемы, чертежи, но главное – высказывать собственные соображения по вопросам реферата. Приведенные выше советы следует рассматривать как примерные, предполагающие и другие подходы, поскольку у каждого человека вырабатываются свои приемы и навыки составления рефератов. Большую помощь в работе над рефератом оказывают предисловия к монографиям и сборникам. В них можно найти сведения о цели издания, а также о существующих пробелах в исследовании.

При разработке плана реферата важно учитывать, чтобы каждый его пункт раскрывал одну из сторон избранной темы, а все пункты в совокупности охватывали тему целиком. Различают несколько композиционных решений реферата: во-первых, хронологическое, когда тема раскрывается в исторической последовательности; во-вторых, описательное, при котором тема расчленяется на составные части, в целом раскрывающие определенное явление; в-третьих, аналитическое, когда тема исследуется в ее причинно-следственных связях и взаимозависимых проблемах. Важно следить за тем, чтобы каждый пункт плана был соотнесен с главной темой и не содержал повторения в других пунктах. Важными разделами реферата является вступление и заключение. Во вступлении надо обосновать актуальность темы, обозначить круг составляющих ее проблем, четко и кратко определить задачу своей работы. В заключении делаются краткие выводы, подводятся итоги. В конце реферата должен быть приложен список литературы.

В отличие от тематического конспекта реферат требует большей творческой активности, самостоятельности в обобщении изученной литературы, умения логически стройно изложить материал, оценить различные точки зрения на исследуемую проблему и высказать о ней собственное мнение. В реферате важно связать теоретические положения с практикой.

Итак, реферат – это самостоятельное произведение автора, которое должно свидетельствовать о знании литературы по данной теме, ее основной проблематике, отражать точку зрения автора реферата на эту проблематику, его умение осмысливать явления жизни на основе теоретических знаний.

При оценке реферата обычно руководствуются следующими критериями:

1. Удалось ли его автору раскрыть сущность данной проблемы;
2. Сумел ли автор показать связь рассматриваемой проблемы с жизнью;
3. Проявил ли автор самостоятельность и творческий подход в изложении реферата;
4. Можно ли считать реферат логически стройным и т.д.

4. Как слушать и конспектировать лекции

Основы знаний закладываются на лекциях, им принадлежит ведущая роль в учебном процессе. На лекциях дается самое важное, основное в изучаемой дисциплине. Основные задачи, стоящие перед лектором: помочь студентам понять основы и усвоить материал на самой лекции, дать указания на то, что требует наибольшего внимания, учить правильному мышлению и создавать ясное представление о методологии изучаемой науки.

Лекции являются эффективным видом занятий для формирования у студентов способности быстро воспринимать новые факты, идеи, обобщать их, а также самостоятельно мыслить.

Лектор излагает теоретический и практический материал, относящийся к основному курсу. Из большого числа монографий, учебников, сборников лектор выбирает самое главное, помогает усвоить логику рассуждений. Интонацией голоса и манерой изложения лектором подчеркивает наиболее существенное, выделяет главное и второстепенное.

Лектор может приводить наблюдения и факты из своего личного опыта, что придает материалу убедительность, повышает интерес к предмету лекции, способствует его усвоению.

Важно помнить, что лекция – это творческий процесс, в котором участвуют одновременно и лектор, и студенты, поэтому она требует атмосферы сотрудничества и уважительного отношения к труду лектора.

Студенту следует научиться понимать и основную идею лекции, а также, следуя за лектором, участвовать в усвоении новых мыслей. Но для этого надо быть подготовленным к восприятию очередной темы. Время, отведенное на лекцию, можно считать использованным полноценно, если студенты понимают роль лектора, задачи лекции, если работают вместе с лектором, а не бездумно ведут конспект.

Подготовленным можно считать такого студента, который, присутствуя на лекции, усвоил ее содержание, а перед лекцией припомнил материал раздела, излагаемого на ней или просмотрел свой конспект, или учебник.

Перед лекцией необходимо прочитывать конспект предыдущей лекции, а после окончания крупного раздела курса рекомендуется проработать его по конспектам и учебникам.

Для наиболее важных дисциплин, вызывающих наибольшие затруднения, рекомендуется перед каждой лекцией просматривать содержание предстоящей лекции по учебнику с тем, чтобы лучше воспринять

материал лекции. В этом случае предмет усваивается настолько, что перед экзаменом остается сделать немного для закрепления знаний.

Важно помнить, что ни одна дисциплина не может быть изучена в необходимом объеме только по конспектам. Для хорошего усвоения курса нужна систематическая работа с учебной и научной литературой, а конспект может лишь облегчить понимание и усвоение материала.

Основная задача при слушании лекции – учиться мыслить, понимать идеи, излагаемые лектором. Большую помощь при этом может оказать конспект. Передача мыслей лектора своими словами помогает сосредоточить внимание, не дает перейти на механическое конспектирование. Механическая запись лекции приносит мало пользы.

Ведение конспекта создает благоприятные условия для запоминания услышанного, т.к. в этом процессе принимают участие слух, зрение и рука. Конспектирование способствует запоминанию только в том случае, если студент понимает излагаемый материал. При механическом ведении конспекта, когда просто записываются слова лектора, присутствие на лекции превращается в бесполезную трату времени.

Некоторые студенты полагают, что при наличии учебных пособий, учебников нет необходимости вести конспект. Такие студенты нередко совершают ошибку, так как не используют конспект как средство, позволяющее активизировать свою работу на лекции или полнее и глубже усвоить ее содержание.

Определенная часть студентов считает, что конспекты лекции могут заменить учебники, поэтому они стремятся к дословной записи лекции и нередко не задумываются над ее содержанием. В результате при разборе учебного материала по механической записи требуется больше труда и времени, чем при понимании и кратком конспектировании лекции.

Конспект ведется в тетради или на отдельных листах. Записи в тетради легче оформить, их удобно брать с собой на лекцию или практические занятия. Рекомендуется в тетради оставлять поля для дополнительных

записей, замечаний и пунктов плана. Но конспектирование в тетради имеет и недостаток: в нем мало места для пополнения новыми материалами, выводами и обобщениями. В этом отношении более удобен конспект на отдельных листах (карточках). Из него нетрудно извлечь отдельную необходимую запись, конспект можно быстро пополнить листами, в которых содержатся новые выводы, обобщения, фактические данные. При подготовке выступлений, докладов легко подобрать листки из различных конспектов и свести их вместе. В результате такой работы конспект может стать тематическим.

Но вести конспект на отдельных листках или карточках более трудоемко, чем в тетради. Карточки легко рассыпать и перепутать, приходится обзаводиться ящичками для хранения карточек, возникает необходимость на каждом листке писать его порядковый номер.

Но затрата труда и времени окупается преимуществами конспектирования на карточках перед конспектом в тетради.

Рекомендуется делать такие карточки, которые помещаются в обычный почтовый конверт. Карточки удобно тасовать, менять при необходимости их последовательность, раскладывать на столе для обзора. Например, учителю истории карточки служили бы долго. Перед уроком можно взять соответствующий конверт и найти в нем материал по узловым вопросам темы, записанный еще в вузе.

При конспектировании допускается сокращение слов, но необходимо соблюдать меру. Каждый студент обычно вырабатывает свои правила сокращения. Но если они не введены в систему, то лучше их не применять, т.к. случайные сокращения ведут к тому, что спустя некоторое время конспект становится непонятным.

Следует знать, что не существует какого-либо единого, годного для всех метода конспектирования. Каждый ведет записи так, как ему представляется наиболее целесообразным и удобным. Собственный метод складывается по мере накопления опыта, но во всех случаях надо стремиться к

тому, чтобы конспективные записи были краткими и наилучшим образом содействовали глубокому усвоению изучаемого материала. Известный отечественный педагог В.А. Сухомлинский, рекомендовал учиться думать над конспектом уже на лекции и работать над записями ежедневно хотя бы в течение 2 часов. Он советовал также делить конспект на две графы: в первой кратко записывать изложенные лекции, а во второй – то, над чем надо подумать; сюда же следовало заносить узловые, главные вопросы, над которыми надо подумать постоянно, связывая с этим повседневное чтение. Он подчеркивал, что узловые вопросы предмета будут программой, на основе которой припоминается весь материал.

5. Использование компьютера в процессе самостоятельной работы студентов.

Наиболее комплексный ряд заданий, выполняемых студентом в процессе учебы в вузе, развивающих самостоятельность – это написание реферативных, курсовых и дипломных работ, выполнение которых требует применения всего спектра знаний, умений и навыков, приобретенных студентом в процессе обучения. Алгоритм, методика и формы выполнения этих работ практически одинаковы, они различаются содержанием и глубиной проработанности материала. И реферат, и курсовая, и дипломная работы должны выполняться в соответствии с действующими требованиями ГОСТов.

На современном этапе никто уже не представляет себе самостоятельную работу без использования международной информационной сети – **Интернет**. Необходимость использования Интернета возникает не только при подготовке к практическим и семинарским занятиям, но, в большей степени, при написании различных исследовательских и творческих работ. Многие современные монографии,

периодические журналы изданы только в электронном виде и с ними можно познакомиться только в Интернете.

Написание работ творческого и исследовательского характера требует знания и умения применять различные компьютерные технологии. Можно предложить следующий алгоритм работы по написанию исследовательских и творческих работ с использованием компьютера.

- Первый этап заключается в наборе материала на компьютере. Для этого необходимо, чтобы на компьютер были установлен текстовый и графический редакторы для набора текста и выполнения различных рисунков, графиков или схем. Если материал неоднородный, т.е. содержит графики, схемы, чертежи, текст, то для этих целей лучше выбрать интегрированный пакет, который позволяет совмещать различного формата файлы (например Word, PageMaker и др.). Цитаты из книг и журналов можно переснимать на сканере – удобно и быстро. Здесь как раз и понадобится база данных, которая значительно упростит работу с выбранной литературой.
- Второй этап - корректировка ошибок, недочетов. Практика показывает, что чтение с листа более привычно и корректировать удобнее файлы, имея распечатанный образец перед собой.
- Третий этап - печать начисто. Откорректированный и исправленный текст необходимо не забыть проверить на орфографию (по возможности и стилистику) перед тем как распечатать. Чертежи лучше выводить на бумагу на графопостроителе.
- Четвертый этап - рецензия специалистов, работающих в данной области.
- Пятый этап - защита курсовых или дипломных работ на кафедре или в лаборатории. Желательно использовать презентационные компьютерные программы (например, Power point) при ответе – это увеличит наглядность доклада и использовать презентационные средства типа Proxima – проектор, позволяющий выводить на экран

содержимое дисплея. Можно также использовать телевизор вместо монитора при наличии специального блока сопряжения.

Почти на всех этапах студент работает самостоятельно. За время выполнения исследования у него развиваются:

1. Навыки и методы работы с литературой: ее анализ, отбор необходимого материала.
2. Навыки и методы работы с персональным компьютером: профессиональный набор текста, выполнение рисунков и чертежей, схем и др.
3. Исследовательские навыки и др.

Поиск в Интернете.

1. Поиск информации в Интернете лучше всего начинать с работы в **Интернет-каталоге**.

Один из наиболее полных и хорошо систематизированных каталогов в русскоязычном секторе Интернета находится на сайте www.aport.ru. Есть много других Интернет-каталогов: www.yandex.ru, www.list.ru, www.rambler.ru (русскоязычные), www.altavista.com (англоязычный) и др. Выбор каталога зависит от вкусов пользователя, степени проработанности его тематической структуры, скорости доступа к ресурсам каталога и т.д.

2. Чтобы попасть на эту страничку, вам надо вписать URL(адрес) данного сайта в адресную строку вашего Интернет-обозревателя (браузера), которая находится в верхней части окна.

3. Перед вами откроется главная страница поисковой системы, например «Апорт».

4. Находим на этой странице ссылку на подкаталог «Наука и образование» и кликаем на ней мышью. Теперь мы попадаем на следующую

страницу каталога, где пользователю предлагается выбрать интересующую его рубрику.

5. Ищем на этой странице ссылку на рубрики. Кликаем на нее. Загружается следующая страница, на которой будут ссылки на подрубрики. Под списком рубрик появятся ссылки на конкретные Интернет-ресурсы. Вы выбираете интересующий вас ресурс (при этом можно пользоваться краткой аннотацией, рейтингом популярности сайта, информацией о времени его последнего обновления) и кликаете на его ссылке. Откроется новое окно браузера, в которое будет загружен выбранный вами сайт.

Помимо **тематического поиска** в любом Интернет-каталоге есть **контекстный поиск**. Попробуем по Интернет-каталогу найти **ссылки** на газету «География».

1. Набираем в окне браузера адрес любого из русскоязычных каталогов.

2. В появившемся поисковом окне набираем целиком словосочетание, например «газета География», если система может работать со словосочетаниями, или слово «газета», а потом во втором поиске «география», если такой функции в системе не предусмотрено (www.aport.ru). Не забудьте только при втором поиске напротив поискового окна поставить галочку «Искать в найденном».

3. Через несколько секунд на экране вашего компьютера появятся первые десять или двадцать ссылок на Интернет-страницы, где поисковая система нашла указанные вами слова. При необходимости после просмотра первой порции ссылок на Интернет-ресурсы можно перейти к следующим. Ссылки на них вы найдете внизу экрана.

4. Для сохранения интересующих вас Интернет-страниц достаточно кликнуть мышкой на меню «файл» (оно находится в самой верхней части браузера) и выбрать пункт «сохранить как».

5. Появится диалоговое окно, где вам нужно будет указать папку для сохранения данной страницы, вписать имя, под которым она будет сохранена

(по умолчанию страница сохраняется под тем же именем, что она имеет в Интернете).

6. Если все указано правильно, смело нажимайте на «ОК», в противном случае выбирайте «Отмену».

Часто бывает так, что всю страницу сохранять необязательно, так как интерес вызывают лишь отдельные ее элементы. Текстовая часть страницы без графики и средств мультимедиа сохраняется как файл языка HTML. Часто имеет смысл сохранять только текст, так как любые графические объекты занимают много места на дискетах и жестких дисках компьютера.

Если вам необходимо сохранить только графические элементы страницы (рисунки, фотографии и т.д.), достаточно кликнуть на интересующей вас картинке правой клавишей мыши. Появится диалоговое окно, в котором следует выбрать пункт «Сохранить рисунок как».

Следует помнить, что вы не сможете редактировать составленные в формате HTML Интернет-страницы. В случае если вам по каким-то причинам нужно **внести** в них **правку**, дополнить своими материалами, включить в готовый текстовый документ, то нужно:

1. Выделить мышью в окне браузера необходимый фрагмент текста (весь текст выделяется после нажатия на команды меню «правка» и «выделить все»);
2. Копировать его (команда «копировать» на вкладке «Правка» / «edit»);
3. Вставить в нужный текстовый файл в программе Word (команда «Вставить» / «Paste»).

Вы также можете **распечатать** нужные вам страницы:

1. Одновременно нажмите клавиши ctrl и P или выберите команду «Печать» / «Print» на вкладке «Файл».
2. Если вам не нужно распечатывать всю страницу, то вы можете распечатать ее фрагмент. Для этого вы выделяете интересующий

участок страницы мышью, а в диалоговом окне печати, указывая диапазон печати, выберите пункт «Выделенный фрагмент».

3. Если вы хотите вернуться на предыдущую страницу, достаточно кликнуть мышкой кнопку «Назад», которая находится в левом верхнем углу окна вашего браузера. Обратный шаг можно сделать, нажав на стрелку «Вперед».

Для того чтобы в следующий раз точно попасть на нужную вам страницу Интернета, совсем не обязательно переписывать ее адрес, часто громоздкий и сложный. Достаточно всего лишь добавить ссылку на страницу в папке «Избранное» (она расположена вверху экрана, на рабочей панели браузера). Если вы хотите запомнить много страниц и к тому же систематизировать их, то направляйтесь на специальный сайт www.zakladki.ru, где вы сможете сохранить гиперссылку на любую Интернет-страницу. В этом случае вы сможете работать не только со ссылками, подобранными вами, но и другими пользователями (при условии, что доступ к ним не закрыт паролем).

Использование электронной почты

Интернет предоставляет еще одну уникальную возможность – вступить в переписку с другими пользователями глобальной компьютерной сети посредством **электронной почты** (e-mail).

В настоящий момент существует много серверов (такие, как www.mail.ru, www.hotmail.ru и др.), которые дают возможность завести бесплатный электронный почтовый ящик.

Чтобы пользоваться почтовым ящиком вам надо:

1. Зарегистрироваться на этих сайтах.
2. Внимательно изучите все условия пользования своим электронным ящиком. Помните, что многие бесплатные почтовые ящики

прекращают свое существование, если клиент к ним долгое время не обращается.

3. Не забывайте также и то, что сам электронный ящик находится у вас дома лишь виртуально. На самом деле он размещен на сервере обслуживающей вас компании, которая предоставляет вам определенный участок сервера (как правило, около 5 мб).
4. Чтобы не возникало проблем с приемом и пересылкой сообщений, не забывайте регулярно чистить свой электронный почтовый ящик, уничтожая старые сообщения или пересохраняя их на жестком диске вашего компьютера.

Чтобы пользоваться **электронной почтой**, вам необходимо уметь проделывать следующие операции:

1. Вызовите программу по отправке почтовых сообщений (например «Outlook express»).
2. Если вы хотите отправить электронное сообщение, необходимо кликнуть мышкой на кнопке «Создать сообщение» или «Написать письмо».
3. Появится окно вашего письма.
4. В строке «Кому» указывается адрес электронной почты получателя. Адрес обязательно должен включать символ @.
5. Наберите с клавиатуры компьютера электронный адрес получателя вашего сообщения, например geo@1september.ru – адрес электронного почтового ящика газеты «География».
6. В строке «Копия» указываются адреса электронной почты тех адресатов, кому вы хотите послать копию данного сообщения (поле необязательно к заполнению).
7. В строке «Тема» указывается то словосочетание, которое увидит получатель вашего сообщения еще до ознакомления с его содержанием. Часто в этой строке в кратком виде формулируют основную идею послания (например, «Привет!» или «Материал к докладу» и др.).

8. После того как заполнена шапка письма, можете переходить в основное окно, где непосредственно пишете текст вашего сообщения.

По электронной почте вы можете **переслать любой файл с вашего компьютера** любому адресату.

1. При создании письма вам следует кликнуть по виртуальной кнопке «Вложить» в верхней части экрана.
2. Появится диалоговое окно, которое позволит выбрать нужный файл (или файлы) для пересылки. Вы должны знать, что прикреплять к вашему электронному сообщению можно не только текстовые файлы, но и графические, установочные и вообще любые.
3. Когда письмо готово, еще раз проверьте, верно ли указан адрес, после чего нажимаете клавишу «Отправить». Ваше сообщение отправлено.
4. Если вы по ошибке указали несуществующий адрес или электронный ящик вашего адресата по каким-нибудь причинам не работает, то ваше сообщение через несколько минут вернется обратно с уведомлением о существующих проблемах пересылки.

Для прочтения той почты, которая приходит к вам, необходимо:

1. Открыть папку «Входящие» вашей почтовой программы. Кликните мышкой на ссылке «Входящие».
2. Перед вами появится окно с обратными адресами, темами и сроками прихода всех неудаленных писем, которые пришли на ваш электронный адрес.
3. Чтобы прочесть письмо, достаточно кликнуть на его заголовке. Перед вами откроется окно с содержанием данного письма.
4. Вы можете ответить на это письмо, кликнув по ссылке «ответить». В этом случае компьютер автоматически заполнит строку с адресом, вписав туда адрес, с которого вам пришло это письмо. Весь текст исходного письма отобразится в основном окне и станет доступен для редактирования и дополнения.

5. Чтобы сохранить на своем компьютере пришедший к вам вложенный файл (письма с вложенными файлами помечены символом скрепки), надо открыть это письмо. Если вложен графический файл, он будет открыт в основном окне сообщения. В том случае, если прикрепленный файл имеет какой-либо другой формат, то, нажав на скрепку, вы можете ознакомиться с именами и форматом приложенных файлов. Эти файлы можно открыть, кликнув на них мышью, а можно сохранить, не открывая, выбрав пункт «сохранить вложения» из нисходящего списка под изображением скрепки.

При необходимости вы можете **переслать пришедшее вам письмо** другому адресату по вашему выбору, для этого надо кликнуть правой клавишей мыши по ссылке на это сообщение в окне «Входящие» и выбрать из нисходящего списка команду «Переслать».

6. Подготовка к экзаменам и зачетам

Экзаменационная сессия – очень тяжелый период работы для студентов и ответственный труд для преподавателей. Главная задача экзаменов – проверка качества усвоения содержания дисциплины.

На основе такой проверки оценивается учебная работа не только студентов, но и преподавателей: по результатам экзаменов можно судить и о качестве всего учебного процесса. При подготовке к экзамену студенты повторяют материал курсов, которые они слушали и изучали в течение семестра, обобщают полученные знания, выделяют главное в предмете, воспроизводят общую картину для того, чтобы яснее понять связь между отдельными элементами дисциплины.

Экзаменам, как правило, предшествует сдача зачетов. К экзаменам допускаются только те студенты, которые сдали зачеты.

При подготовке к экзаменам основное направление дают программы курса и конспект, которые указывают, что в курсе наиболее важно. Основной материал должен прорабатываться по учебнику, поскольку конспекта недостаточно для изучения дисциплины. Учебник должен быть проработан в течение семестра, а перед экзаменом важно сосредоточить внимание на основных, наиболее сложных разделах. Подготовку по каждому разделу следует заканчивать восстановлением в памяти его краткого содержания в логической последовательности.

До экзамена обычно проводится консультация, но она не может возместить отсутствия систематической работы в течение семестра и помочь за несколько часов освоить материал, требующийся к экзамену. На консультации студент получает лишь ответы на трудные или оставшиеся неясными вопросы. Польза от консультации будет только в том случае, если студент до нее проработает весь материал. Надо учиться задавать вопросы, вырабатывать привычку пользоваться справочниками, энциклопедиями, а не быть на иждивении у преподавателей, который не всегда может тут же, «с ходу» назвать какой-либо факт, имя, событие.

На экзамене нужно показать не только знание предмета, но и умение логически связно построить устный ответ.

Получив билет, надо вдуматься в поставленные вопросы для того, чтобы правильно понять их. Нередко студент отвечает не на тот вопрос, который поставлен, или в простом вопросе ищет скрытого смысла. Не поняв вопроса и не обдумав план ответа, не следует начинать писать. Конспект своего ответа надо рассматривать как план краткого сообщения на данную тему и составлять ответ нужно кратко. При этом необходимо показать умение выражать мысль четко и доходчиво.

Отвечать нужно спокойно, четко, продуманно, без торопливости, придерживаясь записи своего ответа.

На экзаменах студент показывает не только свои знания, но и учится владеть собой. После ответа на билет могут следовать вопросы, которые

имеют целью выяснить понимание других разделов курса, не вошедших в билет. Как правило, на них можно ответить кратко, достаточно показать знание сути вопроса. Часто студенты при ответе на дополнительные вопросы проявляют поспешность: не поняв смысла того, что у них спрашивают, начинают отвечать и нередко говорят не по сути.

Студент должен знать, что на экзамене осуществляется не только контроль и выставляется оценка, но это еще и дополнительная возможность, систематизация знаний. Если говорить о сверхзадаче экзаменатора, то она состоит в уяснении не только и не столько того, что студент выучил, сколько того, чему он научился и что останется у него после экзамена, поскольку этот остаток будет характеризовать образовательный уровень студента.

Следует помнить, что необходимым условием правильного режима работы в период экзаменационной сессии является нормальный сон, поэтому подготовка к экзаменам не должна быть в ущерб сну. Установлено, что сильное эмоциональное напряжение во время экзаменов неблагоприятно отражается на нервной системе и многие студенты из-за волнений не спят ночи перед экзаменами. Обычно в сессию студенту не до болезни, так как весь организм озабочен одним - сдать экзамены. Но это еще не значит, что последствия неправильно организованного труда и чрезмерной занятости не скажутся потом. Поэтому каждый студент помнить о важности рационального распорядка рабочего дня и о своевременности снятия или уменьшения умственного напряжения.

Рекомендуемая литература

1. Борикина Л.В., Виноградова Н.А. Пишем реферат, доклад, выпускную квалификационную работу: Учеб. пособ. М., 2000.
2. Виноградова Н.А. Методические рекомендации по выполнению письменных работ. М., 1999.
3. Гарунов М.Г., Пидкасистый П.И. Самостоятельная работа студентов. М., 1978.
4. Демидова А.К. Пособие по русскому языку: научный стиль. Оформление научной работы. М., 1991.
5. Самостоятельная познавательная деятельность студента: методическое пособие / Сост. Е.В. Гребенникова. М., 2002.
6. Соловьева Н.Н. Основы подготовки к научной деятельности и оформление ее результатов (для студентов и аспирантов). М., 2000.
7. Соловьева Н.Н. Учусь общаться: читаю, слушаю, говорю, пишу: Учеб. пособ. по культуре речи и речевому общению. М., 1996.
8. Чернилевский Д.В. Дидактические технологии в высшей школе. М., 2002.
9. Загашев И.О., Заир — Бек С.И. Критическое мышление: технологии развития. Спб, 2003.- 284 с.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГАОУ ВО «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания для самостоятельной работы
студента
по дисциплине «Электромагнитная совместимость в
электроэнергетических системах»
для студентов направления подготовки /
специальности
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Невинномысск 2026

Вопросы для собеседования

по дисциплине: Электромагнитная совместимость в электроэнергетических системах

(наименование дисциплины)

Базовый уровень

Раздел 1. Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики. Источники электромагнитных воздействий. Тема 1.1. Основные определения в области ЭМС. Электромагнитная обстановка

Знать:

1. Дайте определение электромагнитной совместимости технических средств.
2. Укажите основные цели ЭМС.
3. Дайте определение электромагнитной помехе.
4. Дайте определение электромагнитной обстановке.
5. Дайте характеристику классам по электромагнитной обстановке.
6. Какой нормативный документ регламентирует программы, применяемые для определения электромагнитных воздействий?
7. Какова область применения программ для расчетов электромагнитных воздействий, регламентированных в РФ?
8. С какой целью применяются системы 3D моделирования электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики?
9. На каких стадиях проекта применяется программное обеспечение для оценки электромагнитной обстановки?
10. Какие требования к пользователям специализированного программного обеспечения предъявляются?
11. Сформулируйте предмет и задачи дисциплины Электромагнитная совместимость в электроэнергетике.
12. Дайте понятие электромагнитной совместимости.
13. Что такое помеха? Перечислите каналы передачи помех.
14. Как определяются уровни помех? Что такое абсолютный и относительный уровень помех?
15. Перечислите основные определения, используемые в дисциплине электромагнитная совместимость в электроэнергетике.
16. Что такое помехоподавление и как его оценивают?
17. В чем разница между синфазными и противофазными помехами, идущими по проводам?

Раздел 1. Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики. Источники электромагнитных воздействий. Тема 1.2. Источники электромагнитных помех и их классификация

Знать:

1. Виды помех, создаваемых полупроводниковым преобразователем.
 - а) Импульсные
 - б) Гармоники питающего напряжения
 - в) Электростатические
 - г) Интермодуляционные
 - д) Блокирующие

2. Виды помех, создаваемых коммутациями в сети
 - а) Импульсные
 - б) Узкополосные
 - в) Непрерывные
 - г) Стационарные
 - д) Синусоидальные
3. Виды помех, в основном создаваемых радиоборудованием
 - а) Гармоники питающего напряжения
 - б) Узкополосные
 - в) Сверхширокополосные
 - г) Шумовые
 - д) Электростатические
4. Понятие 2.1.4. Виды помех, создаваемых разрядами молнии
 - а) Импульсные
 - б) Атмосферные
 - в) Шумовые
 - г) Узкополосные
 - д) Непрерывные
5. Какие электромагнитные источники помех являются функциональными источниками и нефункциональными?
6. Перечислите источники природных электромагнитных помех.
7. Укажите, какие последствия оказывают разряды молнии на технические средства.
8. Перечислите программное обеспечение, рекомендованное для расчетов электромагнитных воздействий, вызванных разрядами молнии?
9. Перечислите программное обеспечение, рекомендованное для расчетов электромагнитных воздействий, вызванных растеканием токов в заземляющих устройствах?
10. Что является исходными данными для оценки параметров заземляющих устройств с помощью программного обеспечения?

Уметь,

Владеть:

1. Какие условия включения трансформаторов на параллельную работу?
2. Поясните особенность работы параллельно работающих трансформаторов с разными коэффициентами трансформации.
3. Что произойдет, если включить на параллельную работу трансформаторы с разными группами?
4. К чему приводит несоблюдение условия равенства напряжений короткого замыкания параллельно работающих трансформаторов?
5. Каков порядок фазировки трансформаторов?

Раздел 1. Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики. Источники электромагнитных воздействий. Тема 1.3. Способы описания и представления помех, основные параметры помех. Классификация электромагнитных помех.

Знать:

1. Что понимается под электромагнитной совместимостью технических средств?
2. Что понимается под организационным обеспечением электромагнитной совместимости?
3. Что понимается под техническим обеспечением электромагнитной совместимости?

4. Перечислите виды электромагнитных помех.
5. Поясните понятия узкополосных и широкополосных электромагнитных помех.
6. Поясните понятия синфазных и противофазных электромагнитных помех.
7. Поясните понятия «земля» и «масса».
8. Поясните термины «уровень помехи» и «помехоподавление». Как для их характеристики используются относительные логарифмические масштабы?
9. Что такое децибел и непер? Как они соотносятся?
10. Как осуществляется переход представления электромагнитных помех из временной области в частотную область и наоборот?
11. Что такое спектр периодической помехи. Какой математический аппарат применяется для его получения?
12. Что такое спектральная плотность распределения амплитуд импульсной помехи?
13. Какие ЭМП называются индуктивными?
14. Какие ЭМП называются кондуктивными?
15. Как принято делить кондуктивные помехи в цепях, имеющих более одного проводника?
16. Как принято делить ЭМП на основе спектральных характеристик?
17. Какими стандартами в области ЭМС регламентированы основные виды помех?
18. Поясните понятия «функциональные» и «нефункциональные» источники электромагнитных помех
19. Поясните понятия «широкополосный» и «узкополосный» источник электромагнитных помех. Что является количественной характеристикой, данных понятий?
20. Какая характеристика называется шириной полосы энергетического спектра?
21. Как влияют дуговые печи и сварочные установки на электромагнитную обстановку?
22. Как влияют мощные выпрямители и преобразователи частоты на электромагнитную обстановку?
23. Какие технические средства определяют электромагнитную обстановку в городах?
24. Поясните физические процессы, происходящие в газоразрядных лампах и приводящие к появлению электромагнитных помех
25. Поясните физические процессы, происходящие на высоковольтных воздушных линиях и приводящие к появлению электромагнитных помех
26. Поясните физические процессы, происходящие в коллекторных электродвигателях и приводящие к появлению электромагнитных помех
27. Поясните физические процессы, происходящие в системах зажигания автомобилей и приводящие к появлению электромагнитных помех
28. Почему разряд статического электричества представляет собой источник электромагнитных помех?
29. Почему коммутация катушек индуктивности приводит к появлению электромагнитных помех?
30. Какие процессы в сетях низкого напряжения вызывают возникновение электромагнитных помех?
31. Какие процессы в сетях высокого напряжения вызывают возникновение электромагнитных помех?
32. Какие физические процессы при ударе молнии приводят к возникновению электромагнитных помех?
33. Какие физические процессы, происходящие при ядерном взрыве, вызывают появление электромагнитного импульса? Какими параметрами характеризуется электромагнитный импульс?
34. Какие классы окружающей среды выделяются при передаче электромагнитных помех по проводам?

35. Какие классы окружающей среды выделяются при передаче электромагнитных помех электромагнитным излучением?
36. Какими основными математическими функциями описываются широкополосные помехи?
37. Какими основными математическими функциями описываются узкополосные помехи?

Уметь:

Владеть:

1. Основными целями электромагнитной совместимости технических средств являются. Укажите правильный ответ:
 1. Только предотвращение нарушений функционирования технических средств при воздействии на них электромагнитных помех.
 2. Только исключение или ограничение электромагнитных помех, создаваемых техническими средствами.
 3. Только исключение неблагоприятных электромагнитных воздействий на биологические объекты или ограничения уровня таких воздействий.
 4. Только обеспечение регламентированного стандартами качества электрической энергии в электрических сетях общего назначения.
 5. Все перечисленные ответы в пунктах 1, 2, 3, 4.
2. Какой источник помех называют функциональным?
 1. Если электромагнитная помеха для источника является полезным сигналом.
 2. Если помехи носят побочный эффект в процессе работы источника.
 3. Если источник создает кондуктивные помехи.
 4. Если источник создает индуктивные помехи.
 5. Если источник создает широкополосные помехи.
3. Укажите нефункциональный источник помех.
 1. Передающие устройства радиосвязи
 2. Аппаратура, использующая цепи питания для передачи информации.
 3. Радиолокаторы.
 4. Импульсные блоки питания аппаратуры.
4. В зависимости от среды распространения ЭМП разделяются на ... Укажите правильный ответ.
 1. Низкочастотные и высокочастотные.
 2. Индуктивные и кондуктивные.
 3. Микросекундные импульсные помехи большой энергии и микросекундные импульсные помехи малой энергии.
 4. Колебательные затухающие помехи и колебательные незатухающие помехи.
5. Что является портом в оборудовании информационных технологий? Укажите неправильный ответ.
 1. Зажим.
 2. Разъем.
 3. Клемма.
 4. Стык связи
 5. Электрическая цепь внутри корпуса.
6. На основе спектральных характеристик электромагнитные помехи разделяют на... Укажите неправильный ответ.

1. Узкополосные и широкополосные. 2. Низкочастотные и высокочастотные. 3. Микросекундные импульсные и наносекундные импульсные. 4. Индуктивные и кондуктивные.

7. В целях решения общих задач помехоустойчивости технических средств стандартами в области ЭМС регламентированы следующие основные виды помех. Укажите неправильный ответ.
1. Микросекундные импульсные помехи большой энергии.
 2. Микросекундные импульсные помехи малой энергии.
 3. Радиочастотное электромагнитное поле в полосе частот от 80 до 1000 МГц.
 4. Кондуктивные помехи, наведенные радиочастотными электромагнитными полями.
 5. Кондуктивные помехи в полосе частот от 0 до 150 кГц.
8. В целях решения общих задач помехоустойчивости технических средств стандартами в области ЭМС регламентированы следующие основные виды помех. Укажите неправильный ответ.
1. Динамические изменения напряжения электропитания.
 2. Колебания напряжения электропитания.
 3. Изменения частоты питающего напряжения.
 4. Изменения коэффициента мощности.
 5. Искажения синусоидальности напряжения электропитания.
9. Какие электрические связи возникают между каналом молнии и опорами и проводами ЛЭП? Укажите правильный ответ.
1. Только емкостная. 2. Только индуктивная. 3. Только гальваническая. 4. Все связи, перечисленные ответы в пунктах 1, 2, 3.
10. С какой целью над проводами линий устанавливают тросы?
1. Для уменьшения коронного разряда. 2. Для защиты от прямых ударов молнии. 3. Для уменьшения емкостных связей между проводами линий. 4. Для обеспечения жесткости конструкции линии электропередач.
11. Какие источники помех относятся к функциональным, какие к нефункциональным? Приведите примеры.
12. Охарактеризуйте широкополосные и узкополосные источники помех.
13. Дайте классификацию окружающей среды по помехам, связанным с проводами. Приведите примеры.
14. Дайте классификацию окружающей среды по помехам, передающимся Электромагнитным излучением. Приведите примеры.
15. Как осуществляется описание помех во временной и частотной областях?
16. Что такое ЭМС-номограмма и для чего ее используют?
17. Какие математические пакеты применимы для описания помех?
18. Как с помощью ЭМС-номограммы построить огибающую спектральной плотности распределения амплитуд?
19. Как по ЭМС-номограмме построить временную развертку импульса помехи и найти его параметры?
20. Какие источники помех относятся к функциональным, какие к нефункциональным? Приведите примеры.
21. Охарактеризуйте широкополосные и узкополосные источники помех.

22. Дайте классификацию окружающей среды по помехам, связанным с проводами. Приведите примеры.
23. Дайте классификацию окружающей среды по помехам, передающимся Электромагнитным излучением. Приведите примеры.
24. Как осуществляется описание помех во временной и частотной областях.
25. Приведите пример применения математических пакетов для представления помех в частотной области.
26. Как с помощью математических пакетов произвести обратное преобразование во временную область для описания помех?
27. Как соотносятся представление помех в частотной области и ЭМС-номограмма?
28. Что такое ЭМС-номограмма и для чего ее используют?
29. Как с помощью ЭМС-номограммы построить огибающую спектральной плотности распределения амплитуд?
30. Как по ЭМС-номограмме построить временную развертку импульса помехи и найти его параметры?
31. Классификация помех по проявлению во времени.
 - а) Симметричные и несимметричные
 - б) Импульсные и непрерывные
 - в) Синусоидальные и несинусоидальные
 - г) Блокирующие и интермодуляционные
 - д) Узкополосные и широкополосные
32. Для построенной с помощью математических пакетов спектральной плоскости помехи возможно ли получение ЭМС-номограммы:
 - а) Да
 - б) Нет
33. Симметричная помеха
 - а) Симметричная относительно оси времени
 - б) Действующая между проводами
 - в) Симметричная по форме
 - г) Синусоидальная
 - д) Гармоническая
34. Несимметричная помеха
 - а) Несимметричная относительно оси времени
 - б) Действующая на проводах относительно земли
 - в) Несимметричная по форме
 - г) Несинусоидальная
 - д) Аперiodическая
35. Параметры импульсных помех
 - а) Амплитуда и частота
 - б) Амплитуда и фаза
 - в) Амплитуда, длительность, фронт
 - г) Действующее значение напряжения и тока
 - д) Период, частота и фаза
36. Параметры непрерывных помех
 - а) Амплитуда, частота, фаза
 - б) Период, длительность, скорость изменения
 - в) Амплитуда, длительность, фронт
 - г) Амплитудно-частотный спектр
 - д) Период, частота и фаза
37. Базовая величина для определения напряжения помех в децибелах.

- а) 1В
- б) 1мВ
- в) 1,42 В
- г) 1 мкВ
- д) 1 мВт

Раздел 2. Каналы передачи электромагнитных помех и способы их ослабления.

Тема 2.1. Гальваническая связь. Связь через общее полное сопротивление.

Знать:

1. Какие предъявляют требования к защитным устройствам и способам защиты от внешних электромагнитных влияний?
2. Укажите типичные значения предельных воздействий, допустимых для различных видов электронной аппаратуры.
3. На какие классы подразделяются ТС в зависимости от условий эксплуатации?

Уметь:

Владеть:

1. Поясните механизм преобразования синфазных помех в противофазные. Как определить коэффициент синфазно-противофазного преобразования?
2. Опишите физический механизм возникновения гальванической связи.
3. Опишите гальваническую связь через контур заземления.
4. Опишите гальваническую связь через цепи питания.
5. Сформулируйте способы нейтрализации гальванической связи через цепи питания.
6. Опишите использование разделительных и нейтрализующих трансформаторов для уменьшения гальванической связи.

Раздел 2. Каналы передачи электромагнитных помех и способы их ослабления.

Тема 2.2. Емкостная связь. Индуктивная связь.

Знать:

1. Какие виды возможных связей между контурами и какие виды возможных путей проникновения помех вам известны?
2. Какие существуют способы снижения гальванического влияния и проникновения электромагнитных помех из одного контура в другой?
3. Какие существуют способы снижения гальванического влияния и проникновения электромагнитных помех по цепям заземления?
4. Какие существуют способы снижения емкостного влияния и проникновения электромагнитных помех из одного контура в другой?
5. Какие существуют способы снижения емкостного влияния контуров с общим проводом системы опорного потенциала?
6. Какие существуют способы снижения емкостного влияния токовых контуров с большой емкостью относительно земли?
7. Чем опасно емкостное влияние молнии на сигнальные линии?
8. Какие существуют способы снижения индуктивного влияния и проникновения электромагнитных помех из одного контура в другой?
9. В чем состоит опасность индуктивного влияния разряда статического электричества на корпус прибора?
10. В чем состоит опасность индуктивного влияния разряда молнии в молниеотвод при наличии вблизи сигнальных линий?

11. В чем состоит опасность индуктивного влияния тока молнии на электрический контур внутри здания образованный проводами питания и сигнальными линиями при ударе молнии в молниеприемник здания?
12. При каких параметрах помехи начинают соблюдаться условия «дальнего поля»?
13. Назовите способы снижения помех от излучения электромагнитного поля.

Уметь:

Владеть:

1. Опишите физический механизм ёмкостной связи.
2. Опишите физический механизм индуктивной связи.
3. Для чего необходимо знать механизмы передачи помех?
4. Как рассчитывается ёмкостное влияние разряда молнии?
5. Как рассчитать индуктивное влияние молнии?
6. Перечислите способы нейтрализации ёмкостного влияния.
7. Перечислите способы ослабления индуктивного влияния.
8. Опишите индуктивное и ёмкостное влияния с точки зрения теории электрических цепей и с точки зрения теории электромагнитного поля.
9. Опишите область задач программы ELCUT для моделирования электрических и магнитных полей?
10. Опишите порядок расчетов индуктивностей воздушных линий и проводов с помощью программы ELCUT.
11. Опишите порядок расчетов ёмкостей воздушных линий и кабелей с помощью программы ELCUT.
12. Что является исходными данными для построения картины силовых линий электрического поля воздушной линии?
13. Возможно ли для картины электрического поля, построенного с помощью ELCUT определить уровень шума высоковольтной линии
 - а) Да
 - б) Нет
 - в) Не достаточно данных
14. Возможно ли для картины электрического поля, построенного с помощью ELCUT определить зону ОПАСНОГО электромагнитного влияния
 - а) Да
 - б) Нет
 - в) Не достаточно данных
15. Возможно ли для картины электрического поля, построенного с помощью ELCUT определить САНИТАРНУЮ зону электромагнитного влияния
 - а) Да
 - б) Нет
 - в) Не достаточно данных
16. Возможно определение с помощью ELCUT общей индуктивности высоковольтной воздушной линии с ТРАНСПОЗИЦИЕЙ
 - а) Да
 - б) Нет
17. Достаточно ли геометрических параметров линии для расчета индуктивности с помощью ELCUT
 - а) Да
 - б) Нет
18. Достаточно ли геометрических параметров линии для расчета ёмкости с помощью ELCUT
 - а) Да
 - б) Нет

19. Возможен ли расчет магнитного поля ПЕРЕМЕННОГО ТОКА с помощью ELCUT
- а) Да
 - б) Нет
20. Возможен ли расчет магнитного поля ПОСТОЯННОГО ТОКА с помощью ELCUT
- а) Да
 - б) Нет
21. Экранирующее действие экранов кабелей.
22. Как влияет на коэффициент экранирования способ заземления экрана кабеля?
23. Как влияет частота на уровень помехи, обусловленной индуктивной и ёмкостной связями?

Раздел 2. Каналы передачи электромагнитных помех и способы их ослабления. Тема 2.3. Воздействие электромагнитного излучения. Понятия ближней и дальней зон.

Знать:

1. Какова задача экранирования?
2. Чему равен коэффициент экранирования?
3. Чему равен коэффициент затухания поля?
4. Чему равно суммарное затухание поля после прохождения сквозь экран?
5. Как зависит эффективность экранирования от частоты внешнего электрического поля?

Уметь:

Владеть:

1. Опишите физический механизм связи посредством электромагнитного поля.
2. Дайте понятия дальней и ближней зон в пространстве излучателей электромагнитной энергии.
3. Что такое коэффициент экранирования, из каких компонент он складывается для электромагнитного экрана?
4. Опишите метод Щелкунова (полных сопротивлений) для расчета экранирующего действия.
5. Как находится волновое сопротивление в пространстве источника помех?
6. Как находится волновое сопротивление материала стенки экрана?
7. Как рассчитать коэффициент поглощения?
8. Как рассчитать коэффициент отражения?
9. Что такое корректирующий коэффициент, как его определить, в каких случаях им можно пренебречь?
10. Как определить напряженности полей в пространстве поглотителей, если известен коэффициент экранирования и напряженности полей на внешней стороне экрана?

Раздел 3. Обеспечение электромагнитной совместимости на объектах электроэнергетики.

Тема 3.1. Методы испытаний и сертификации элементов вторичных цепей на помехоустойчивость.

Знать:

1. Какие предъявляют требования к защитным устройствам и способам защиты от внешних электромагнитных влияний?
2. Укажите типичные значения предельных воздействий, допустимых для различных видов электронной аппаратуры.

3. На какие классы подразделяются ТС в зависимости от условий эксплуатации?
4. Дайте понятия помехоустойчивости и стойкости к повреждению чувствительных элементов?
5. Дайте понятие чувствительного к помехам элемента устройства.
6. В чем разница между статической и динамической помехоустойчивостью?
7. В чем различие между помехоустойчивостью аналоговых и цифровых устройств?
8. Как экспериментально определить помехоустойчивость?
9. Опишите основные генераторы, имитирующие помехи.
10. Каковы общие требования и классификация устройств по помехоустойчивости?

Уметь:

Владеть:

1. Укажите способы борьбы с внешними помехами в цифровой и аналоговой технике.
2. Какую топологию могут иметь заземляющие проводники?
3. Как следует выполнять заземление, если аппаратура состоит из не скольких блоков, каждый из которых имеет свой опорный узел?
4. Какова схема подключения аппаратуры, не имеющей информационных связей с другими устройствами?
5. Какова схема подключения аппаратуры, состоящей из комплекса блоков?
6. Укажите практические рекомендации по выполнению экранирования аппаратуры

Раздел 3. Обеспечение электромагнитной совместимости на объектах электроэнергетики. Тема 3.2. Определение электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики. Мероприятия по ограничению уровня помех. Знать:

1. Условия обеспечения ЭМС
 - а) Уровень помех выше уровня помехоустойчивости
 - б) Уровень помех ниже уровня помехоустойчивости
 - в) Соответствие оборудования стандартам по электробезопасности
 - г) Использование общей сети электропитания
 - д) Применение специальных кабелей
2. Цель применения средств помехозащиты а)
 - Повышение помехозащищенности б)
 - Повышение восприимчивости
 - в) Подавление помех в источнике
 - г) Снижение частоты помех
 - д) Уменьшение длительности фронта помех
3. Цель применения средств подавления помех.
 - а) Уменьшение длительности фронта помех
 - б) Увеличение частоты помех
 - в) Снижение уровня создаваемых помех
 - г) Повышение помехоустойчивости оборудования
 - д) Преобразование несимметричных помех в симметричные
4. Наиболее эффективный этап для обеспечения ЭМС в процессе создания нового оборудования
 - а) Монтаж оборудования на судне б)
 - Изготовление опытного образца в)

- Эскизное проектирование г)
- Разработка технического задания
- д) Изготовление опытного образца

Уметь,

Владеть

1. Назовите основные этапы проведения работ по определению электромагнитной обстановки на энергообъекте.
2. Перечислите исходные данные для определения ЭМО на объекте.
3. Перечислите состав работ для определения ЭМО на объекте.
4. В чем состоит воздействие на кабели систем релейной защиты технологического управления токов и напряжений промышленной частоты при однофазных коротких замыканиях?
5. Назовите работы, выполняемые при определении возможных уровней напряжений и токов воздействующих на кабели систем релейной защиты и технологического управления при однофазном коротком замыкании на землю.
6. С какими явлениями в первичных цепях связано возникновение импульсных помех в цепях вторичной коммутации?
7. Что называют имитационными испытаниями на энергообъекте?
8. Какие воздействия на элементы энергообъекта возможны при ударе молнии?
9. Как осуществляется измерение электромагнитных полей радиочастотного диапазона на энергообъектах?
10. Как осуществляется измерение электростатического потенциала тела человека на энергообъектах?
11. Как осуществляется измерение магнитных полей промышленной частоты на энергообъектах?
12. Как осуществляется измерение электрических полей промышленной частоты на энергообъектах.
13. Назовите причины появления периодических и импульсных помех в цепях питания низкого напряжения.
14. Какие виды измерений проводят в ходе определения уровней периодических и импульсных помех в цепях питания низкого напряжения?
15. Как определяется приближенно величина импульса напряженности магнитного поля при ударе молнии в молниеприемник?

Раздел 3. Обеспечение электромагнитной совместимости на объектах

электроэнергетики. Тема 3.3. Ограничение грозовых и коммутационных перенапряжений. Зонная концепция ограничения перенапряжений и помех.

Знать:

1. ЭМС вторичного оборудования и систем связи достигается при выполнении каких основных требований:
 - 1) - применение вторичного оборудования с высоким уровнем помехозащищенности;
 - 2) - применение первичного и вторичного оборудования с ограниченным уровнем эмиссии электромагнитных воздействий;
 - 3) - выполнение комплекса организационных и технических мероприятий, обеспечивающих ограничение электромагнитных воздействий;
 - 4) - выбор мощности силового трансформатора.
2. Сопротивление заземляющего устройства это –
 - 1) отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю;

- 2) отношение стекающего тока с заземлителя в землю к напряжению на заземляющем устройстве;
- 3) сумма сопротивлений всех искусственных заземлителей;
- 4) сумма сопротивлений всех искусственных и естественных заземлителей.

3. Условия обеспечения ЭМС вторичных сетей должны быть выполнены для следующих систем:

- 1) - релейной защиты;
- 2) - сетей 6-35 кВ;
- 3) - электроавтоматики: противоаварийной и автоматического регулирования;
- 4) - автоматизированной системы управления технологическим процессом;
- 5) - автоматизированной системы диспетчерского управления;
- 6) - системы сбора и передачи информации;
- 7) - автоматизированной системы контроля, учета и управления
- 8) электропотреблением;
- 9) - противопожарной системы;
- 10) - охранной сигнализации.
- 11) - видеонаблюдения;
- 12) - оперативного постоянного тока;
- 13) - электроснабжения переменным током на напряжении 0,4кВ;
- 14) - системы управления и сигнализации вспомогательного оборудования;
- 15) - связи.

4. Общими исходными данными для проведения оценки выполнения условий электромагнитной совместимости на подстанции **НЕ** являются:

- a) нормируемые параметры;
- b) электрическая оперативная схема, характеристики силового оборудования;
- c) результаты предпроектных изысканий;
- d) схема расположения оборудования с трассами прокладки кабелей цепей вторичной коммутации;
- e) расчетные значения токов однофазного короткого замыкания на каждом из РУ 110 кВ и выше;
- f) токов двухфазного замыкания на РУ 6-35 кВ;
- g) интенсивность грозовой деятельности;
- h) характеристики оборудования систем оперативного постоянного тока и переменного тока.

5. Для снижения уровня импульсных помех рекомендуется применить в исключительных случаях одно из следующих мероприятий:

- 1) изменить трассу прокладки вторичных кабелей;
- 2) изменить место размещения молниеотводов (токоотводов);
- 3) принять меры по увеличению коэффициента экранирования кабельной канализации (прокладка в кабельных каналах, металлических коробах или трубах, применение кабелей с более высоким коэффициентом экранирования);
- 4) установить во вторичных цепях устройства ограничения импульсных перенапряжений.

6. Для варистора характерно:

- 1) – малая межэлектродная емкость, способность пропускать большие импульсные токи.
- 2) – отсутствие времени запаздывания при срабатывании.
- 3) – значительная внутренняя емкость (десятки нФ).
- 4) – запаздывание срабатывания при большой крутизне фронта импульса перенапряжения (отличие динамического напряжения пробоя от статического). Возможность горения дуги после срабатывания, если напряжении сети больше напряжения горения дуги.
- 5) – отсутствие времени запаздывания при срабатывании, сравнительно малая емкость.
- 6) – ограниченный диапазон рабочих напряжений и токов.

7. Импульс 0,25/100 мкс амплитудой 25 кА для уровней защиты III—IV характерен для зоны:

- 1) 0А
- 2) 0В
- 3) 1
- 4) 2
- 5) 3

8. Наибольшее значение разности потенциалов промышленной частоты на ЗУ (между точкой КЗ (или местом заземления нейтрали АТ/Т) и местом расположения вторичного оборудования, к которому приходят кабели с РУ, которое воздействует на изоляцию кабелей и вторичного оборудования) не должно превышать

- 1) 500 В
- 2) 600 В
- 3) 1 кВ
- 4) 2 кВ
- 5) 4 кВ

**Уметь,
Владеть:**

1. Зонная концепция защиты чувствительных элементов объектов электроэнергетики. Зонная концепция защиты приемников электроэнергии от перенапряжений.
2. Зонная концепция ограничения перенапряжений. Классы УЗИП и категории электропроводки.

Раздел 3. Обеспечение электромагнитной совместимости на объектах электроэнергетики. Тема 3.4. Обеспечение электромагнитной совместимости при проектировании энергообъектов.

Знать:

1. При проектировании объектов нового строительства, технического перевооружения и реконструкции ПС 110 кВ и выше должен быть выполнен комплекс мероприятий, обеспечивающих электромагнитную совместимость устройств РЗА, ПА, АСУ ТП и связи. К основным мероприятиям НЕ относят:

- 1) - компоновочные решения объекта;
- 2) - выполнение защиты вторичных цепей и устройств от электромагнитных воздействий молнии;

- 3) - ограничение коммутации и переключения в первичных цепях;
- 4) - выбор заземляющего устройства подстанции по условиям ЭМС;
- 5) - выбор трассы прокладки кабельных каналов, типа кабельной канализации с учетом требований ЭМС;
- 6) - выполнение защиты от статического электричества и других электромагнитных воздействий.

2. Для проектирования заземляющего устройства НЕ обязательно иметь следующие исходные данные:

- 1) характеристики электрической структуры грунта (на глубину не менее 0,5 размеров диагонали ЗУ электросетевого объекта);
- 2) планы расположения зданий, сооружений, заземляемого оборудования;
- 3) схемы трасс кабелей вторичных цепей между зданиями и сооружениями, используемые марки кабелей;
- 4) параметры (материал, геометрические размеры) и расположение естественных заземлителей;
- 5) максимальные значения однофазных (двухфазных) токов коротких замыканий и токов в нейтралях силовых трансформаторов;
- 6) коэффициент грозовой активности;
- 7) места заземления нейтралей трансформаторов.

3. Определить значение импульсной помехи, передающейся на входы устройств вторичного оборудования, для чего значение потенциала на ЗУ оборудования (или потенциала на ЗУ клеммного шкафа – для соответствующих цепей) разделить на ...

- 1) длину кабеля
- 2) коэффициент ослабления
- 3) на сечение заземлителей
- 4) на периметр заземлителя

4. Рекомендуются прокладывать контрольные кабели на расстоянии до силовых кабелей выше 1 кВ не менее:

- 1) 0,25м
- 2) 0,6 м
- 3) 1,0 м
- 4) 1,2 м
- 5) 1,5 м

5. Для электросетевых объектов в соответствии с СО153-34.21.122-2003 рекомендуется, как правило, принимать уровень надежности защиты IV. Приведены Нормируемые параметры тока молнии первого положительного разряда для принятых уровней надежности защиты ...

6. Расстояния от молниеотводов (токоотводов) до места установки вторичного оборудования по условию воздействия импульсных магнитных полей следует рассчитывать с помощью компьютерной программы или приближенно по выражению:

$$L > \frac{I_M}{2\pi H_{\text{доп}} K_{\text{экр}}}$$

где L ;

I_M;

$H_{доп}$;

$K_{экр}$ -

7. Для ограничения перенапряжений во вторичных цепях используются:

- 1) разрядники
- 2) сглаживающие фильтры
- 3) варисторы
- 4) лавинные диоды
- 5) выпрямительные диоды

8. Для полупроводниковых ограничителей характерно:

- 1) – малая межэлектродная емкость, способность пропускать большие импульсные токи.
- 2) – отсутствие времени запаздывания при срабатывании.
- 3) – значительная внутренняя емкость (десятки нФ).
- 4) – запаздывание срабатывания при большой крутизне фронта импульса перенапряжения (отличие динамического напряжения пробоя от статического).
Возможность горения дуги после срабатывания, если напряжении сети больше напряжения горения дуги.
- 5) – отсутствие времени запаздывания при срабатывании, сравнительно малая емкость.
- 6) – ограниченный диапазон рабочих напряжений и токов.

Уметь,

Владеть:

1. Для обеспечения ЭМС вторичного оборудования и систем связи при разработке проекта осуществляют:

- 1) предпроектные изыскания и сбор исходных данных;
- 2) расчетную оценку уровней электромагнитных воздействий на вторичное оборудование и системы связи;
- 3) сопоставление рассчитанных уровней электромагнитных воздействий с уровнями помехоустойчивости вторичного оборудования и устройств связи;
- 4) разработку технических решений по снижению уровней электромагнитных воздействий до допустимых значений.
- 5) защиту первичных цепей от удара молнии

2. Для предотвращения обратного перекрытия с ЗУ на кабели **НЕ** рекомендуется применять одно из указанных ниже мероприятий:

- 1) снизить импульсное сопротивление ЗУ молниеотвода, прокладывая дополнительно заземлители и заземляющие проводники;
- 2) изменить трассу прокладки вторичных кабелей;
- 3) изменить место размещения молниеотводов (токоотводов);
- 4) применение кабелей с более высоким коэффициентом экранирования.

3. Для разрядника характерно:

- 1) – малая межэлектродная емкость, способность пропускать большие импульсные токи.
 - 2) – отсутствие времени запаздывания при срабатывании.
 - 3) – значительная внутренняя емкость (десятки нФ).
 - 4) – запаздывание срабатывания при большой крутизне фронта импульса перенапряжения (отличие динамического напряжения пробоя от статического). Возможность горения дуги после срабатывания, если напряжении сети больше напряжения горения дуги.
 - 5) – отсутствие времени запаздывания при срабатывании, сравнительно малая емкость.
 - 6) – ограниченный диапазон рабочих напряжений и токов.
4. Импульс 8/20 мкс амплитудой 5 кА для уровней защиты III—IV характерен для зоны:
- 1) 0А
 - 2) 0В
 - 3) 1
 - 4) 2
 - 5) 3
5. Создание требуемой ЭМО для объектов электроэнергетики нового строительства, комплексного технического перевооружения и реконструкции обеспечивается выполнением комплекса каких мероприятий?
- а) разработка технических решений по обеспечению ЭМС на стадии проекта;
 - б) реализация принятых проектных решений в конструкторской, строительной, монтажной и другой документации на стадии разработки рабочей документации;
 - с) авторский надзор за выполнением проектных решений при производстве строительно-монтажных работ;
 - д) проведение приемо-сдаточных испытаний с целью подтверждения достаточности выполненных мероприятий.
- 1) только а) и б); 2) только а), б) и д); 3) только а), б) и с);
 - 4) только б), с) и д); 5) а), б), с) и д).
6. Если напряжение на ЗУ между точкой КЗ (или местом заземления нейтрали АТ/Т) и местом расположения вторичного оборудования, к которому приходят кабели с РУ превышает допустимый уровень, то необходимо применять технические решения по выравниванию потенциалов на ЗУ. Для снижения разности потенциалов на ЗУ **НЕ** следует делать:
- 1) уменьшить шаг сетки заземлителей;
 - 2) увеличить сечение заземлителей или применить материал с большей проводимостью;
 - 3) вынести заземлитель за территорию энергообъекта;
 - 4) прокладывать в кабельных каналах дополнительные параллельные заземляющие проводники.
7. Для снижения уровня импульсных помех **НЕ** рекомендуется применить одно из следующих мероприятий:

- 1) изменить трассу прокладки вторичных кабелей;
- 2) изменить место размещения молниеотводов (токоотводов);
- 3) принять меры по увеличению коэффициента экранирования кабельной канализации (прокладка в кабельных каналах, металлических коробах или трубах, применение кабелей с более высоким коэффициентом экранирования);
- 4) ограничивать коммутации и переключения в первичных цепях;
- 5) установить во вторичных цепях устройства ограничения импульсных перенапряжений.

8. Для электросетевых объектов в соответствии с СО153-34.21.122-2003 рекомендуется, как правило, принимать уровень надежности защиты IV. Приведены Нормируемые параметры повторных импульсов тока отрицательной молнии для принятых уровней надежности защиты ...

9. Сопротивление заземляющего устройства это –

- a. отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю;
- b. отношение стекающего тока с заземлителя в землю к напряжению на заземляющем устройстве;
- c. сумма сопротивлений всех искусственных заземлителей;
- d. сумма сопротивлений всех искусственных и естественных заземлителей.

10. ЭМС вторичного оборудования и систем связи достигается при выполнении каких основных требований:

- 2) - применение вторичного оборудования с высоким уровнем помехозащищенности;
- 3) - применение первичного и вторичного оборудования с ограниченным уровнем эмиссии электромагнитных воздействий;
- 4) - выполнение комплекса организационных и технических мероприятий, обеспечивающих ограничение электромагнитных воздействий;
- 5) - выбор мощности силового трансформатора.

11. Общими исходными данными для проведения оценки выполнения условий электромагнитной совместимости на подстанции **НЕ** являются:

- a) нормируемые параметры;
- b) электрическая оперативная схема, характеристики силового оборудования;
- c) результаты предпроектных изысканий;
- d) схема расположения оборудования с трассами прокладки кабелей цепей вторичной коммутации;
- e) расчетные значения токов однофазного короткого замыкания на каждом из РУ 110 кВ и выше;
- f) токов двухфазного замыкания на РУ 6-35 кВ;
- g) интенсивность грозовой деятельности;
- h) характеристики оборудования систем оперативного постоянного тока и переменного тока.

12. Для снижения уровня импульсных помех рекомендуется применить в исключительных случаях одно из следующих мероприятий:

- 1) изменить трассу прокладки вторичных кабелей;

- 2) изменить место размещения молниеотводов (токоотводов);
- 3) принять меры по увеличению коэффициента экранирования кабельной канализации (прокладка в кабельных каналах, металлических коробах или трубах, применение кабелей с более высоким коэффициентом экранирования);
- 4) установить во вторичных цепях устройства ограничения импульсных перенапряжений.

13. Для варистора характерно:

- 1) – малая межэлектродная емкость, способность пропускать большие импульсные токи.
- 2) – отсутствие времени запаздывания при срабатывании.
- 3) – значительная внутренняя емкость (десятки нФ).
- 4) – запаздывание срабатывания при большой крутизне фронта импульса перенапряжения (отличие динамического напряжения пробоя от статического). Возможность горения дуги после срабатывания, если напряжении сети больше напряжения горения дуги.
- 5) – отсутствие времени запаздывания при срабатывании, сравнительно малая емкость.
- 6) – ограниченный диапазон рабочих напряжений и токов.

14. Импульс 0,25/100 мкс амплитудой 25 кА для уровней защиты III—IV характерен для зоны:

- 1) 0А
- 2) 0В
- 3) 1
- 4) 2
- 5) 3

15. Наибольшее значение разности потенциалов промышленной частоты на ЗУ (между точкой КЗ (или местом заземления нейтрали АТ/Т) и местом расположения вторичного оборудования, к которому приходят кабели с РУ, которое воздействует на изоляцию кабелей и вторичного оборудования) не должно превышать

- 6) 500 В
- 7) 600 В
- 8) 1 кВ
- 9) 2 кВ
- 10) 4 кВ

Раздел 4. Электромагнитная совместимость технических средств в узлах нагрузки электрических сетей. Тема 4.1. Оценка влияния качества электроэнергии на работу ТС и систем в электроэнергетике.

Знать:

1. Перечислите основные показатели качества электрической энергии (ПКЭ)
2. Какова основная причина, ухудшающая качество электрической энергии?
3. Как влияет на работу различного электрооборудования качество электрической энергии?
4. Укажите меры по улучшению качества электрической энергии.
5. Какие устройства оценки качества электроэнергии у потребителя существуют?
6. В чем состоит переход к интернету вещей?

7. Какие технологии применяются в рамках внедрения SmartGrid в области качества электроэнергии?
8. Какие показатели качества электроэнергии фиксируются SCADA-системами непрерывного интернет контроля?
9. Что представляет собой физическая часть SCADA-системы?
10. Что представляет собой программная часть SCADA-системы?
11. Чем является структурно информационно-измерительный комплекс Что представляет собой физическую часть SCADA-системы?
12. Какие протоколы должны поддерживать SCADA-системы?
13. Входят ли «умные счетчики» в систему SmartGrid?
14. Фиксируют ли «умные счетчики» показатели качества электроэнергии?
15. Должны ли «умные счетчики» поддерживать системы беспроводной связи?
16. Укажите классы напряжения для которых возможна установка «умных счетчиков».
17. Зависит ли класс точности от напряжения подключения «умных счетчиков»?
18. Класс точности прибора учета для подключения ФИЗИЧЕСКИХ ЛИЦ:
 - а) 2,0 и выше
 - б) 1,0 и выше
 - в) 0,5S и выше
19. Класс точности прибора учета для подключения ВВОДОВ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ:
 - а) 2,0 и выше
 - б) 1,0 и выше
 - в) 0,5S и выше
20. Класс точности прибора учета для подключения ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА НАПРЯЖЕНИЕ 35 кВ МОЩНОСТЬЮ ДО 670 кВт:
 - а) 2,0 и выше
 - б) 1,0 и выше
 - в) 0,5S и выше
21. Класс точности прибора учета для подключения ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА НАПРЯЖЕНИЕ СВЫШЕ 110 кВ МОЩНОСТЬЮ ДО 670 кВт:
 - а) 2,0 и выше
 - б) 1,0 и выше
 - в) 0,5S и выше
22. Класс точности прибора учета для подключения ПОТРЕБИТЕЛЕЙ МОЩНОСТЬЮ СВЫШЕ 670 кВт:
 - а) 2,0 и выше
 - б) 1,0 и выше
 - в) 0,5S и выше
23. Класс точности прибора учета для подключения ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ:
 - а) 2,0 и выше
 - б) 1,0 и выше
 - в) 0,5S и выше
24. Фиксируют ли «умные счетчики» сверхнормативные магнитные поля:
 - а) Да
 - б) Нет
 - в) Не обязательное требование к приборам учета
25. Фиксируют ли «умные счетчики» отклонения от номинального напряжения:
 - а) Да
 - б) Нет
 - в) Не обязательное требование к приборам учета

26. Фиксируют ли «умные счетчики» отклонения от номинальной частоты:
- а) Да
 - б) Нет
 - в) Не обязательное требование к приборам учета
27. Обязательны ли «умные счетчики» для установки НОВЫХ подключений:
- а) Да
 - б) Нет
 - в) Не обязательное требование к приборам учета
28. Обязательны ли «умные счетчики» для ЗАМЕНЫ счетчиков с истекшим периодом поверки:
- а) Да
 - б) Нет
 - в) Не обязательное требование к приборам учета
29. Имеют ли «умные счетчики» однофазное исполнение:
- а) Да
 - б) Нет
30. Имеют ли «умные счетчики» трехфазное исполнение:
- а) Да
 - б) Нет
31. Имеют ли «умные счетчики» интерфейс Ethernet:
- а) Да
 - б) Нет
 - в) Не обязательное требование к приборам учета
32. Имеют ли «умные счетчики» интерфейс RS-485:
- а) Да
 - б) Нет
 - в) Не обязательное требование к приборам учета
33. Осуществляют ли «умные счетчики» передачу информации в составе интеллектуальных систем учета электрической энергии:
- а) Да
 - б) Нет
 - в) Не обязательное требование к приборам учета

Уметь:

Владеть:

1. Назовите мощные нелинейные нагрузки на предприятиях.
2. В чем заключается отрицательное влияние тиристорных преобразователей на питающие электрические сети?
3. В чем заключается вредное влияние гармонических составляющих напряжений и токов на элементы электрических сетей и узлов нагрузки?
4. Когда возникает и чем опасен параллельный резонанс в системах электроснабжения?
5. Когда возникает и чем опасен последовательный резонанс в системах электроснабжения?
6. Поясните физические процессы в электрических машинах переменного тока, происходящие при несинусоидальном питающем напряжении на их зажимах.
7. Поясните физические процессы в высоковольтных линиях переменного тока, происходящие при несинусоидальном напряжении.

8. Поясните физические процессы в силовых трансформаторах, происходящие при несинусоидальном питающем напряжении на их зажимах.
9. Поясните физические процессы в силовых конденсаторах, происходящие при несинусоидальном питающем напряжении на их зажимах.
10. Как влияют высшие гармонические составляющие напряжения и тока на системы релейной защиты в нормальных режимах?
11. Как влияют высшие гармонические составляющие напряжения и тока на системы релейной защиты в аварийных режимах?
12. Как влияют высшие гармонические составляющие напряжения на электрооборудование потребителей: телевизоры, газоразрядные лампы, компьютеры, выпрямительное оборудование, преобразователи частоты?
13. Как влияют высшие гармонические составляющие напряжения на приборы измерения электрической энергии и мощности?
14. Приведите примеры схем настроенных силовых резонансных фильтров. Поясните принцип их работы.
15. Приведите пример схемы силового резонансного фильтра двойной настройки. Поясните принцип его работы.
16. Для чего применяются широкополосные фильтры? Приведите примеры схемных решений для таких фильтров.

Раздел 4. Электромагнитная совместимость технических средств в узлах нагрузки электрических сетей. Тема 4.2. Пассивные помехоподавляющие и защитные компоненты.

Знать:

1. Поясните принцип действия фильтра.
2. Что такое «коэффициент затухания» фильтра?
3. Приведите примеры схем простейших фильтров.
4. Приведите примеры возможных схем сетевых фильтров при разных соотношениях величины сопротивлений источника и приемника электромагнитных помех.
5. Приведите примеры выполнения помехозащитных конденсаторов.
6. Приведите примеры выполнения помехозащитных катушек.
7. Приведите примеры использования защитных катушек и конденсаторов от синфазных и противофазных токов помех.
8. Для чего служат сетевые фильтры?
9. В чем состоит принцип действия ограничителей перенапряжений?
10. Поясните принцип действия газонаполненного разрядника. Как выглядит его вольт-амперная характеристика?
11. Для чего служат воздушные защитные промежутки?
12. Что такое «сопровождающий ток разрядника»? Каковы мероприятия по его ликвидации?
13. Что такое варистор? Каковы его сфера применения, вольт-амперная характеристика?
14. Поясните сферу применения и принцип действия экранов.

Уметь:

Владеть:

1. Создание требуемой ЭМО для объектов электроэнергетики нового строительства, комплексного технического перевооружения и реконструкции обеспечивается выполнением комплекса каких мероприятий?
 - а) разработка технических решений по обеспечению ЭМС на стадии проекта;
 - б) реализация принятых проектных решений в конструкторской, строительной, монтажной и другой документации на стадии разработки рабочей документации;

- с) авторский надзор за выполнением проектных решений при производстве строительно-монтажных работ;
- д) проведение приемо-сдаточных испытаний с целью подтверждения достаточности выполненных мероприятий.

1) только а) и б); 2) только а), б) и д); 3) только а), б) и с);

4) только б), с) и д); 5) а), б), с) и д).

2. Если напряжение на ЗУ между точкой КЗ (или местом заземления нейтрали АТ/Т) и местом расположения вторичного оборудования, к которому приходят кабели с РУ превышает допустимый уровень, то необходимо применять технические решения по выравниванию потенциалов на ЗУ. Для снижения разности потенциалов на ЗУ **НЕ** следует делать:

- 5) уменьшить шаг сетки заземлителей;
- 6) увеличить сечение заземлителей или применить материал с большей проводимостью;
- 7) вынести заземлитель за территорию энергообъекта;
- 8) прокладывать в кабельных каналах дополнительные параллельные заземляющие проводники.

3. Для снижения уровня импульсных помех **НЕ** рекомендуется применить одно из следующих мероприятий:

- 6) изменить трассу прокладки вторичных кабелей;
- 7) изменить место размещения молниеотводов (токоотводов);
- 8) принять меры по увеличению коэффициента экранирования кабельной канализации (прокладка в кабельных каналах, металлических коробах или трубах, применение кабелей с более высоким коэффициентом экранирования);
- 9) ограничивать коммутации и переключения в первичных цепях;
- 10) установить во вторичных цепях устройства ограничения импульсных перенапряжений.

4. Для электросетевых объектов в соответствии с СО153-34.21.122-2003 рекомендуется, как правило, принимать уровень надежности защиты IV. Приведены Нормируемые параметры повторных импульсов тока отрицательной молнии для принятых уровней надежности защиты ...

5. Для обеспечения ЭМС вторичного оборудования и систем связи при разработке проекта осуществляют:

- 6) предпроектные изыскания и сбор исходных данных;
- 7) расчетную оценку уровней электромагнитных воздействий на вторичное оборудование и системы связи;
- 8) сопоставление рассчитанных уровней электромагнитных воздействий с уровнями помехоустойчивости вторичного оборудования и устройств связи;
- 9) разработку технических решений по снижению уровней электромагнитных воздействий до допустимых значений.
- 10) защиту первичных цепей от удара молнии

6. Для предотвращения обратного перекрытия с ЗУ на кабели **НЕ** рекомендуется применять одно из указанных ниже мероприятий:

- 5) снизить импульсное сопротивление ЗУ молниеотвода, прокладывая дополнительно заземлители и заземляющие проводники;
- 6) изменить трассу прокладки вторичных кабелей;
- 7) изменить место размещения молниеотводов (токоотводов);
- 8) применение кабелей с более высоким коэффициентом экранирования.

7. Для разрядника характерно:

- 7) – малая межэлектродная емкость, способность пропускать большие импульсные токи.
- 8) – отсутствие времени запаздывания при срабатывании.
- 9) – значительная внутренняя емкость (десятки нФ).
- 10) – запаздывание срабатывания при большой крутизне фронта импульса перенапряжения (отличие динамического напряжения пробоя от статического). Возможность горения дуги после срабатывания, если напряжении сети больше напряжения горения дуги.
- 11) – отсутствие времени запаздывания при срабатывании, сравнительно малая емкость.
- 12) – ограниченный диапазон рабочих напряжений и токов.

8. Импульс 8/20 мкс амплитудой 5 кА для уровней защиты III—IV характерен для зоны:

- 6) 0А
- 7) 0В
- 8) 1
- 9) 2
- 10) 3

Раздел 5. Экологическое и техногенное влияние электрических и магнитных полей промышленной частоты. Тема 4.2. Электромагнитная обстановка на рабочих местах и в быту. Влияние полей, создаваемых устройствами энергетики на биологические объекты.

Знать:

- 1. Какую роль играют электрические процессы при функционировании живых организмов?
- 2. Какие объекты являются источниками электрических и магнитных полей на объектах электроэнергетики, в промышленности, на транспорте, в быту?
- 3. В чем заключаются механизмы воздействия электрических и магнитных полей на живые организмы?
- 4. Назовите нормативные значения напряженностей электрических и магнитных полей на рабочих местах и для населения.
- 5. В чем заключается экологическое влияние коронного разряда?
- 6. В чем состоит влияния линий электропередачи на линии связи?
- 7. Укажите допустимый уровень напряженности электрического поля ВЛ внутри помещения, кВ/м.
1) 5 2) 0,5 3) 10 4) 2 5) 15.

8. Что является причиной возникновения высших гармоник? Укажите неправильный ответ.
1. Полупроводниковые преобразовательные устройства.
 2. Электроплавильные печи.
 3. Электросварочные агрегаты.
 4. Линейная нагрузка.
 5. Насыщение стали трансформаторов.
9. Укажите допустимую продолжительность пребывания человека в течение суток при напряженности электрического поля 4 кВ/м для персонала, обслуживающего установки СВН (в минутах).
- 1) 10 2) 40 3) 90 4) 180 5) Без ограничений.
10. Могут ли оказывать влияние высоковольтные линии на линии связи.
1. Да. 2. Нет. 3. Могут только при аварийных ситуациях на ВЛ.
11. Укажите допустимый уровень напряженности магнитного поля внутри жилых помещений, жилых (и приравненных к ним) зданий, А/м.
- 1) 1,6 А/м 2) 1 А/м 3) 4 А/м 4) 8 А/м 5) 80 А/м
12. Что понимают под опасным влиянием токов и напряжений промышленной частоты? Укажите правильный ответ.
1. Только то, которое создает опасность для здоровья и жизни обслуживающего персонала.
 2. Только то, которое вызывает повреждения аппаратуры и приборов.
 3. Только то, которое вызывает ложные срабатывания железнодорожной сигнализации.
 4. Все перечисленные ответы в пунктах 1, 2, 3.
13. Укажите допустимый уровень напряженности магнитного поля для нежилых помещений и территории жилой застройки, А/м.
- 1) 1,6 А/м 2) 1 А/м 3) 4 А/м 4) 8 А/м 5) 80 А/м
14. Предельно допустимый уровень ослабления геомагнитного поля в течение рабочей смены
- 1) Не нормируется 2) в 2 раза 3) в 3 раза 4) в 10 раз
15. В целях защиты населения от воздействия электрического поля, устанавливаются санитарные разрывы вдоль трассы высоковольтной линии, за пределами которых напряженность электрического поля не превышает
- 1) 5 кВ/м 2) 0,5 кВ/м 3) 10 кВ/м 4) 1 кВ/м 5) 15 кВ/м
16. Уровень определения напряженности Е и Н для ВЛ берется равным
- 1) Не нормируется 2) 1,8 м 3) уровень земли 0 м 4) 0,5 м 5) 1,5 м
17. Укажите допустимый уровень напряженности электрического поля ВЛ для не населенной местности, кВ/м.
- 1) 5 2) 10 3) 15 4) 20 5) 30.
18. С какой целью при расчете напряженности электрического поля трехфазной высоковольтной линии в схему вводят зеркальное отображение проводов.
1. Чтобы среду сделать однородной и использовать известные соотношения для однородной среды

2. Для построения векторной диаграммы.
 3. Потому, что необходимо определять только вертикальную составляющую поля E_y .
 4. Для компенсации наведенных зарядов в проводах линии.
-
19. Предельно допустимые уровни магнитного поля промышленной частоты, действующего на все тело человека в течении всей смены (8 ч)
1) 1,6 А/м 2) 1 А/м 3) 4 А/м 4) 8 А/м 5) 80 А/м
 20. Укажите допустимое напряжение прикосновения и шага $U_{\text{ш}}$, В
1) 30 2) 50 3) 65 4) 20 5) 110
 21. Укажите полный диапазон частот высокочастотных помех, создаваемых импульсами токов короны на проводах ВЛ, СВН и УВН, кГц
1) 1–10 2) 10–20 3) 20–100 4) 20–1000 5) 20–2000.
 22. Уровень определения напряженности магнитного поля внутри жилых помещений берется равным
1) Не нормируется 2) 1,8 м 3) уровень земли 0 м 4) 0,5 м 5) 1,5 м
 23. Укажите допустимый уровень напряженности электрического поля ВЛ внутри помещения, кВ/м.
1) 5 2) 0,5 3) 10 4) 2 5) 15.
 24. Предельно допустимые уровни постоянного магнитного поля, действующего на все тело человека в течении всей смены (8 ч)
1) 124 кА/м 2) 1 кА/м 3) 4 А/м 4) 8 кА/м 5) 80 А/м
 25. Предельно допустимый уровень ослабления геомагнитного поля в течение рабочей смены
1) Не нормируется 2) в 2 раза 3) в 3 раза 4) в 10 раз
 26. В целях защиты населения от воздействия электрического поля, устанавливаются санитарные разрывы вдоль трассы высоковольтной линии, за пределами которых напряженность электрического поля не превышает
1) 5 кВ/м 2) 0,5 кВ/м 3) 10 кВ/м 4) 1 кВ/м 5) 15 кВ/м
 27. Уровень определения напряженности E и H для ВЛ берется равным
1) Не нормируется 2) 1,8 м 3) уровень земли 0 м 4) 0,5 м 5) 1,5 м
 28. Укажите допустимый уровень напряженности электрического поля ВЛ для не населенной местности, кВ/м.
1) 5 2) 10 3) 15 4) 20 5) 30.

Уметь:

Владеть:

1. Что понимают под опасным влиянием токов и напряжений промышленной частоты на биологические объекты?
2. Что понимают под мешающим влиянием токов и напряжений промышленной частоты на биологические объекты?
3. Дайте алгоритм расчета напряженности электрического поля трехфазной высоковольтной линии.
4. Укажите допустимые напряженности электрического поля ВЛ.
5. Укажите отрицательные воздействия, которые приносит коронный разряд ВЛ.
6. В каких случаях возникают опасные гальванические влияния электрических сетей?
7. Что называется напряжением прикосновения $U_{пр}$?
8. Что называется напряжением шага $U_{ш}$?
9. В каких случаях возникает опасность от проводов линии связи?
10. Укажите допустимые напряжения прикосновения $U_{пр}$ и шага $U_{ш}$.
11. Укажите допустимые сопротивления заземления.
12. От чего зависит ток, протекающий через человека, коснувшегося изолированного провода ЛС?

Раздел 5. Экологическое и техногенное влияние электрических и магнитных полей промышленной частоты. Тема 5.2. Техногенное влияние электрических и магнитных полей промышленной частоты.

Знать:

1. Какая частота индуктируемых токов может возникать в сетях высокого напряжения?
2. Какое влияние оказывают импульсы токов короны на технические средства?
3. Какое влияние оказывают высшие гармоники токов и напряжений на ЛС?
4. Что вызывает электрохимическую коррозию?
5. Как воздействует электрохимическая коррозия на подземные объекты?
6. Какое влияние оказывают ВЛ на протяженные металлические сооружения?
7. К каким нежелательным последствиям приводит нарушение электромагнитной совместимости между различными подсистемами самой электроэнергетики?
8. Какое влияние оказывают электрические сети высокого напряжения?
 1. Только мешающее. 2. Только опасное. 3. Не оказывают никакого влияния. 4. Для ответа недостаточно данных.
9. Что понимают под опасным влиянием токов и напряжений промышленной частоты? Укажите правильный ответ.
 1. Только то, которое создает опасность для здоровья и жизни обслуживающего персонала. 2. Только то, которое вызывает повреждения аппаратуры и приборов. 3. Только то, которое вызывает ложные срабатывания железнодорожной сигнализации. 4. Все перечисленные ответы в пунктах 1, 2, 3.
10. С какой целью при расчете напряженности электрического поля трехфазной высоковольтной линии в схему вводят зеркальное отображение проводов.
 1. Чтобы среду сделать однородной и использовать известные соотношения для однородной среды 2. Для построения векторной диаграммы. 3. Потому, что не обходимо определять только вертикальную составляющую поля E_y . 4. Для компенсации наведенных зарядов в проводах линии.

Уметь,

Владеть:

1. Какими приборами измеряют напряженность электрического поля от электроустановок сверхвысокого напряжения?
2. Каким прибором измеряют показатели качества электроэнергии?
3. Перечислите базовые российские стандарты по методам испытаний?

Раздел 6. Нормативное и правовое обеспечение проблемы электромагнитной совместимости. Стандартизация в области ЭМС. Тема 6.1. Государственные общероссийские стандарты, касающиеся электромагнитной совместимости технических средств. Стандарты МЭК, отраслевые стандарты. Знать:

Уметь,

Владеть:

1. Понятие 7.2.1. Содержание базовых стандартов по ЭМС
 - а) Требования к оборудованию по помехоустойчивости
 - б) Требования к установке оборудования
 - в) Нормы на допустимый уровень помех
 - г) Методики испытаний
 - д) Требования к прокладке кабельных трасс
2. Понятие 7.2.2. Содержание общих стандартов (Generic) по ЭМС
 - а) Требования к оборудованию по помехоустойчивости по месту установки
 - б) Требования к установке оборудования
 - в) Нормы на допускаемый уровень создаваемых помех по месту установки
 - г) Методики испытаний
 - д) Требования к прокладке кабельных трасс
3. Понятие 7.2.3. Содержание стандартов на семейство продукции по ЭМС
 - а) Список необходимых испытаний
 - б) Критерий функционирования
 - в) Степень жесткости испытаний
 - г) Методики испытаний
 - д) Требования к монтажу продукции
4. Понятие 7.2.4. Содержание стандартов на продукцию по ЭМС
 - а) Список необходимых испытаний б) Критерий функционирования в) Степень жесткости испытаний г) Ссылки на базовые стандарты
 - д) Методики испытаний
5. Понятие 7.1.1. Смысл сертификации оборудования по параметрам ЭМС
 - а) Подтверждение соответствия стандартам по ЭМС
 - б) Проверка наличия данных по ЭМС в паспорте
 - в) Сбор данных об авариях из-за сбоев
 - г) Регистрация выпускаемых типов оборудования
 - д) Проведение расчетов по ЭМС
6. Понятие 7.1.2. Содержание Европейской директивы ЕЕС 336 1989 года
 - а) Методики испытаний оборудования
 - б) Требование введения сертификации и единых стандартов по ЭМС
 - в) Методики измерения радиопомех
 - г) Требования к оборудованию по помехоустойчивости
 - д) Требования по помехозащите
7. Понятие 7.1.3. Область деятельности 77 комитета МЭК
 - а) Разработка стандартов о помехоустойчивости б)

- Разработка стандартов о помехоэмиссии в)
 - Разработка стандартов о помеховой обстановке г)
 - Проведение испытаний по ЭМС д) Проведение сертификации по ЭМС
8. Понятие 7.1.4. Область деятельности комитета СИСПР МЭК
- а) Разработка стандартов о помехоустойчивости
 - б) Разработка стандартов о помехоэмиссии
 - в) Разработка стандартов о помеховой обстановке
 - г) Проведение испытаний по ЭМС
 - д) Проведение сертификации по ЭМС

Раздел 6. Нормативное и правовое обеспечение проблемы электромагнитной совместимости. Стандартизация в области ЭМС. Тема 6.2. Организация работ по обеспечению ЭМС.

Знать:

1. Нормативное и правовое обеспечение проблемы электромагнитной совместимости.
2. Закон Российской Федерации "О государственном регулировании в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств".
3. Государственные общероссийские стандарты, касающиеся электромагнитной совместимости технических средств.

Повышенный уровень

Раздел 1. Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики. Источники электромагнитных воздействий. Тема 1.1. . Основные определения в области ЭМС. Электромагнитная обстановка.

3. Общие понятия электромагнитной совместимости. Электромагнитная совместимость, электромагнитные влияния. Современное состояние проблемы электромагнитных помех.
4. Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики.
5. Взаимосвязь проблем качества электроэнергии и электромагнитной совместимости.

Раздел 1. Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики. Источники электромагнитных воздействий. Тема 1.2. Источники электромагнитных помех и их классификация

2. Источники электромагнитных воздействий на электрических станциях и подстанциях
3. Источники электромагнитных помех. Классификация источников помех.
4. Источники узкополосных помех. Влияние на сеть и линии электроснабжения узкополосных помех
5. Источники широкополосных импульсных помех. Источники широкополосных переходных помех.
6. ЭМ-импульс молнии и разряда статического электричества

Раздел 1. Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики. Источники электромагнитных воздействий. Тема 1.3. Способы описания и представления помех, основные параметры помех. Классификация электромагнитных помех.

1. Противофазные и синфазные помехи.
2. Классификация электромагнитной обстановки.
3. Классификация электромагнитных помех

4. Уровни электромагнитных помех. Логарифмические относительные характеристики. Абсолютный и относительный уровни. Допускаемый интервал и уровень помех.
5. Способы описания и основные параметры помех
6. Представление периодических функций времени в частотной области. Оценка, расчёт и нормирование помех. ЭМС-номограмма.

Раздел 2. Каналы передачи электромагнитных помех и способы их ослабления. Тема 2.1.

Гальваническая связь. Связь через общее полное сопротивление.

1. Каналы передачи помех. Механизмы связи.
2. Механизмы гальванической связи и способы ее ослабления.
3. Емкостная связь и способы ее ослабления.
4. Индуктивная связь и способы ее ослабления.

Раздел 2. Каналы передачи электромагнитных помех и способы их ослабления. Тема

2.2. Емкостная связь. Индуктивная связь.

1. Емкостная связь и способы ее ослабления.
2. Индуктивная связь и способы ее ослабления.
3. Связь с электромагнитным излучением ее устранение.
4. Экраны кабелей. Заземление экранов кабелей.

Раздел 3. Обеспечение электромагнитной совместимости на объектах электроэнергетики. Тема 3.4. Обеспечение электромагнитной совместимости при проектировании энергообъектов.

1. Помехоустойчивость и стойкость к повреждениям чувствительных устройств автоматизации.
2. Виды испытаний и сертификации технических средств объектов электроэнергетики на помехоустойчивость. Выбор степеней жесткости испытаний. Критерии качества функционирования технических средств при воздействии помех. (ГОСТ Р 51317.4.1–2000)
3. Уровни статической и динамической помехоустойчивости в цифровых устройствах. ЭМС устойчивость релейной защиты и автоматики. Требования по ЭМС к РЗ и А.
4. Определение ЭМО на электрических станциях и подстанциях. Методика определения ЭМО на энергообъекте. Периодичность проведения работ по определению ЭМО. (СО 34.35.311-2004)
5. Определение ЭМО на электрических станциях и подстанциях – помехи при КЗ и коммутациях силового оборудования.
6. Определение ЭМО на электрических станциях и подстанциях – воздействия ударов молнии и электромагнитных полей.
7. Пассивные помехозащитные устройства: фильтры, разрядники, разделительные трансформаторы.
8. Устройства защиты от перенапряжений: разрядники, варисторы, ограничительные диоды.
9. Экранирование статических полей. Экранирование квазистатических полей.
10. Экранирование ЭМ-волн. Электромагнитные экраны. Принципы расчета экранов.
11. Фильтрация помех. Фильтры. Классификация электрических фильтров.
12. Методы испытаний и сертификации элементов вторичных цепей на помехоустойчивость.

13. Экспериментальные исследования электромагнитных помех. Аппаратура для исследования помех. Измерение напряжения и тока помехи. Измерение напряжённостей полей помех. Измерение мощности помех. Приборы для измерения электромагнитных влияний.
14. Защита МП аппаратуры и её цепей на ПС и ЭС от вторичных проявлений молниевых разрядов.
15. Обеспечение ЭМ совместимости систем управления на подстанциях. Мероприятия по обеспечению ЭМС.
16. Заземляющие устройства электроустановок. Роль заземляющего устройства в обеспечении ЭМС.
17. Проектирование, расчет и диагностика заземляющих устройств электроустановок. Программа «Контур»

Раздел 4. Электромагнитная совместимость технических средств в узлах нагрузки электрических сетей. Тема 4.2. Пассивные помехоподавляющие и защитные компоненты.

1. Качество электроэнергии. Показатели качества электроэнергии и их влияние на потребителей электроэнергии.
2. Виновники ухудшения качества электроэнергии. Контроль качества электроэнергии.

Раздел 5. Экологическое и техногенное влияние электрических и магнитных полей промышленной частоты. Тема 4.2. Электромагнитная обстановка на рабочих местах и быту. Влияние полей, создаваемых устройствами энергетики на биологические объекты.

Знать:

1. Влияние действующих линий электропередачи на окружение. Влияние полей, создаваемых устройствами электроэнергетики на биологические объекты.
2. Влияние электромагнитных полей на здоровье людей. Зона повышенной опасности по условию электромагнитного влияния.
3. Нормы по допустимым напряжённостям электрических и магнитных полей для персонала и населения.
4. Нормы по допустимым напряжённостям электрических и магнитных полей промышленной частоты для персонала и населения.
5. Защита персонала и населения от воздействия электрических и электромагнитных полей.
6. Поля воздушных линий электропередачи. Допустимые уровни воздействия электрического и магнитного полей ВЛ.

Раздел 6. Нормативное и правовое обеспечение проблемы электромагнитной совместимости. Стандартизация в области ЭМС.

1. Нормативное и правовое обеспечение проблемы электромагнитной совместимости.
2. Закон Российской Федерации "О государственном регулировании в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств".
3. Государственные общероссийские стандарты, касающиеся электромагнитной совместимости технических средств.

Комплект разноуровневых задач (заданий)

по дисциплине Электромагнитная совместимость в электроэнергетических системах
(наименование дисциплины)

1 Задачи репродуктивного уровня

Раздел 1. Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики. Источники электромагнитных воздействий

Задача 1. Мощность: $P_{\text{дБ}} = 10 \lg \frac{P}{F_0}$, где $P_0 = 1$ пВт. Найдем выражение $P_{\text{дБ}}$ через $u_{\text{дБ}}$ и $i_{\text{дБ}}$.

Задача 2. Напряжение: $u_{\text{дБ}} = 20 \lg \frac{u_x}{u_0}$, где $u_0 = 1$ мкВ. Напряжение равно 80 дБ. Найти u_x .

Задача 3. Между децибелом и непером существуют соотношения. Найти его.

Задача 4. а) Построить функцию спектральной плотности импульса трапецевидной формы. б) Построить ЭМС-номограмму импульса.

Задача 5. Дан импульс трапецевидной формы рисунок амплитудой U_m

длительностью τ и временем нарастания τ_K . Параметры импульса указаны в таблице. Требуется:

а) аппроксимировать тремя отрезками прямых огибающую спектральной плотности распределения амплитуд;

б) найти эффективную ширину Π полосы частот импульса;

в) определить огибающую спектральной плотности распределения амплитуд по прохождении импульса через канал передачи, имеющий амплитудно-частотную характеристику $A(f)_{\text{дБ}}$, представленную на рисунке, где a коэффициент затухания в дБ;

г) найти амплитуду U_m , длительность τ , время нарастания τ_K , крутизну фронта $\frac{U_m}{\tau_K}$ импульса по данным спектральной плотности распределения амплитуд,

полученной в пункте в). Построить этот импульс в системе координат U, t .

Задача 6. Рассчитать распределение магнитного поля вокруг строчного трансформатора за время рабочего цикла. Принять магнитную проницаемость феррита равной 1000, частоту 1 кГц, токи обмоток известными, режим работы повторно-кратковременный.

Задача 7.

Рассчитать распределение напряженности электрического поля в зазоре свечи зажигания.

Принять:

Относительная диэлектрическая проницаемость воздуха $\epsilon_0 = 1$,

Относительная диэлектрическая проницаемость изолятора $\epsilon_r = 5$,

Напряжение постоянного тока $V = 15$ кВ.

Моделируется только область вблизи воздушного зазора свечи зажигания.

Остальные части свечи зажигания не рассматриваются.

Раздел 2. Каналы передачи электромагнитных помех и способы их ослабления

Задача 1. Для схемы на рис. 1. напряжение между точками 1 и 2 при длине провода 10 см, погонной индуктивности 5 мкГн/м, сопротивлении 1 мОм, токе $\Delta i = 1$ А и времени $\Delta t = 1100$ нс напряжение помехи составит?

Задача 2. Принимая радиус провода равным 5 мм и варьируя высоту провода над поверхностью земли в диапазоне от 25 см до 25 м (что эквивалентно размещению обратного провода, т.е. отражению проводника в земле, на расстоянии от 0,5 до 50 м), при $\mu = \mu_0$ определить значение индуктивности петли.

Задача 3. Определить индуктивность линии с плоскими расположенными близко друг к другу проводниками прямоугольного сечения (рис. 3.5,6) (полагая $d \ll b$ и $d \ll a$, что часто приемлемо на практике) - по выражению

$$L = \frac{2\mu_0 l}{\pi} \ln \left(1 + \frac{1}{1 + a/b} \right)$$

Задача 4. Найти максимально возможное напряжение помехи определяется по формуле:

$$u_{st \max} = R_Q C_{13} \frac{\Delta u}{\Delta t}.$$

В простейшем случае проводники диаметром D и длиной l , расположенные параллельно друг другу на расстоянии d имеют емкость связи

$$C_{13} = \frac{\pi \epsilon_0 \epsilon_r l}{\ln \left(\frac{d}{D} + \sqrt{\left(\frac{d}{D} \right)^2 - 1} \right)}.$$

Например, при $C_{13} = 100$ пф/м, $R_Q = 50$ Ом, $l = 0,1$ м и $\frac{\Delta u}{\Delta t} = 4$ В/нс.

Задача 5. В длинных заземленных с одной стороны сигнальных линиях при появлении изменяющегося во времени напряжения Δu протекает ток помехи i_{st} , обусловленный емкостями C_1 и C_2 , и вследствие несимметрии относительно земли часть синфазного напряжения Δu и преобразуется в противофазное напряжение u_{st} суммирующееся с напряжением сигнала, поступающего от источника (рис. 3.19, а). Принимая напряжение Δu изменяющимся по синусоидальному закону, например с частотой сети, можно записать выражение для напряжения помехи (рис. 3.19, б):

$$U_{st} = \frac{\Delta U}{\sqrt{1 + \frac{1}{(2\pi f C_1 R_Q)^2}}}$$

Например, при $\Delta U = 100$ В, $f = 50$ Гц, $C_1 = 2000$ пФ и $R_Q = 150$ Ом напряжение помехи составляет 9,4 мВ.

Задача 6.

Взаимная индуктивность зависит от конфигурации и размеров контуров, и для показанных на рис. 3.22, а. контуров она рассчитывается как:

$$L = \frac{2\mu_0 l}{\pi} \ln \left(1 + \frac{1}{1 + a/b} \right)$$

Погонная взаимная индуктивность в зависимости от отношения a/d может быть определена. Найти напряжение помехи при $l = 1$ м, $a/d = 0,1$ и $\Delta i / \Delta t = 1000$ А/с.

Задача 7. Разряд статического электричества на проводящий корпус прибора C (рис. 3.). В контуре, находящемся внутри прибора и удаленном от проводника с током разряда i_{ESD} на среднее расстояние r_0 , индуцируется напряжение

$$u_{st} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{al}{r_0} \frac{\Delta i}{\Delta t},$$

где l и a - длина и ширина контура соответственно.

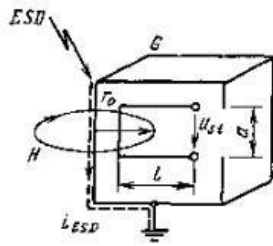


Рисунок 3.

Например, при $a = l = 1$ см, $r_0 = 5$ см и скорости изменения тока во времени 10 А/нс, возможной при разряде статического электричества, найти напряжение помехи.

Задача 7. Магнитное поле канала молнии индуцирует в контурах напряжения, которые надо определить. На рис. 4. выделены два таких контура. Первый образован проводами сигнального контура и имеет площадь $a_1 l$. Второй, площадью $a_2 l$, создан заземленным проводом сигнального контура и землей. При $r_0 = 25$ м, $l = 20$ м, $a_1 = 0,4$ см, $a_2 = 60$ см и $\Delta i / \Delta t = 200$ кА/мкс из (3.20) вычислить напряжение u_{st1} .

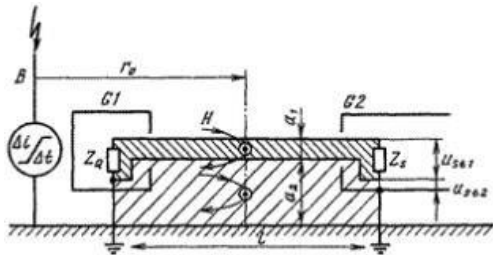


Рисунок 4

Задача 8.

Рисунок 5 дает представление о петле в здании G , образованной сетью питания и линией передачи данных. При $r_0 = 11$ м, $a = 15$ м, $l = 10$ м и $\Delta i / \Delta t = 200$ кА/мкс рассчитать индуцированное в петле напряжение.

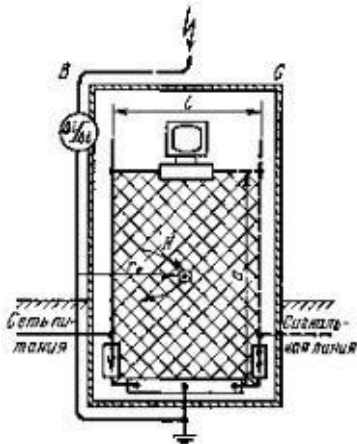


Рисунок 5

Задача 9.

Даны параметры плоского экрана: относительная электрическая ϵ и магнитная μ проницаемости, проводимость σ , толщина d . Известна частота излучения f , напряженности электрического E и магнитного H полей вне экрана. Требуется:

- а) рассчитать по методу полных сопротивлений коэффициенты затухания электромагнитного экрана в ближней зоне на расстоянии равном половине её максимального диаметра, в дальней зоне;
- б) определить величины напряженностей электрического и магнитного полей внутри экрана для ближней и дальней зон.

Задача 10.

Определить индуктивность фазы линии электропередачи участок воздушной линии электропередачи класса 110 кВ, длиной 120 километров. Провод неизолированный для воздушных линий электропередач марки АС.

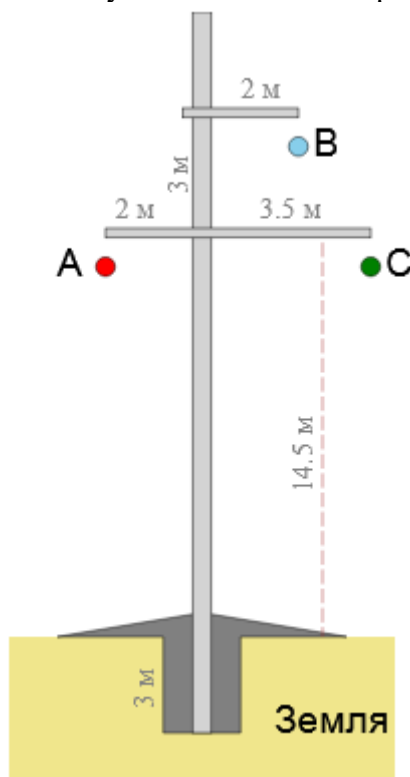


Рисунок 6.

Задача 11.

Рассчитать пиковое значение тока и механические напряжения в катушке.

Относительная магнитная проницаемость стального сердечника $\mu=2000$;

Электропроводность обмотки (медь) $g = 56 \text{ МСм/м}$;

Количество витков $w = 600$;

Величина приложенного напряжения (амплитуда) $U = 18\sqrt{2} \text{ В}$;

Частота $f = 60 \text{ Гц}$.

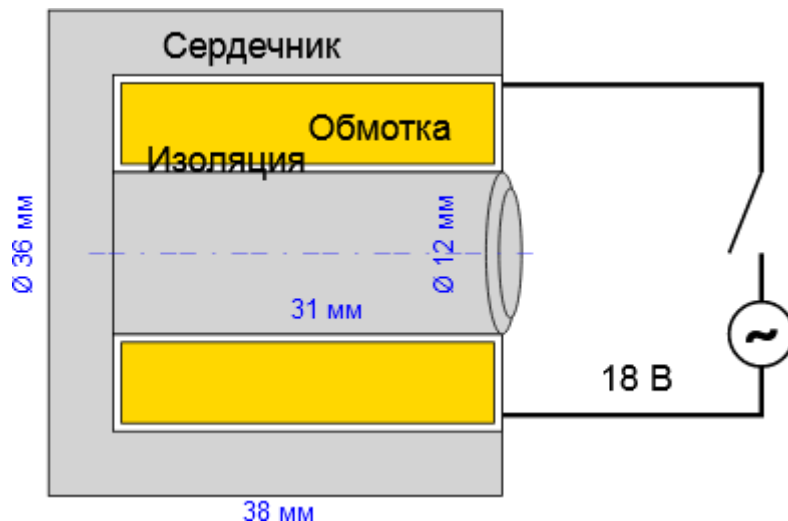


Рисунок 7.

Раздел 4. Обеспечение электромагнитной совместимости на объектах электроэнергетики.

Задача 1.

Качественный экран обычно имеет передаточное сопротивление на частоте 1 МГц на уровне 10 мОм/м. Это означает, что для кабеля длиной 20 м значение Z_t будет составлять менее 0,2 Ом. Допустим, что кабель по обоим концам заземлен проводниками длиной 20 см. Вследствие этого на частоте 1 МГц на обоих концах кабеля получим значение индуктивного сопротивления более 1 Ом (принимая $L_3 = 1$ мкГн/м). Таким образом, к передаточному сопротивлению кабеля, равному 0,2 Ом, необходимо добавить дополнительно около 2 Ом. Зная, что индуктивное сопротивление $j\omega L_3$ подобного кабеля на частоте 1 МГц составляет приблизительно 100 Ом (принимая $L_3 = 1$ мкГн/м), получим ухудшение коэффициента ослабления с 0,2/100 до 2,2/100 или увеличение амплитуды помехи на порядок.

Задача 2.

Рассчитать распределение напряженности электрического поля подвешенного изолятора в программе ELCUT. Принять относительную диэлектрическую проницаемость фарфора равной 6, а диэлектрическую проницаемость цемента 2. Оценить среднеквадратичное значение напряженности электрического поля воздуха, создаваемого в непосредственной близости поверхности изолятора.

Задача 3.

Рассчитать распределение электрического поля двух медных токоведущих шин. Одна шина прямая, другая изогнута под углом 90 градусов, и обе шины расположены в параллельных плоскостях. Принять относительную диэлектрическую проницаемость воздуха равной 1, напряжение шин ± 10 кВ.

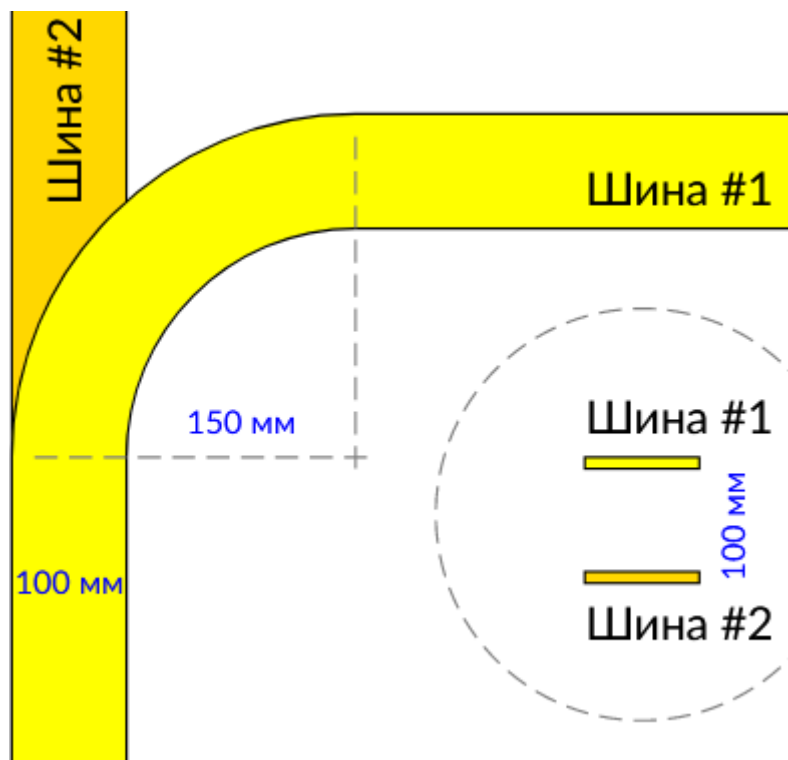
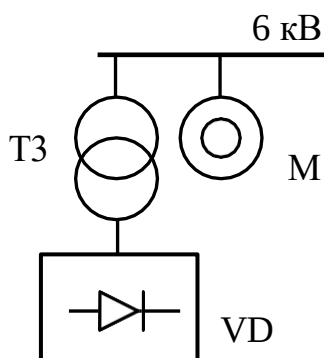


Рисунок 6 – Геометрические параметры задачи.

2 Задачи реконструктивного уровня

Раздел 4. Электромагнитная совместимость технических средств в узлах нагрузки электрических сетей.

Задача 1. Для вентильного выпрямителя рассчитать коэффициенты n -ой гармонической составляющей напряжения и коэффициент несинусоидальности на шинах 6 кВ.



Исходные данные:

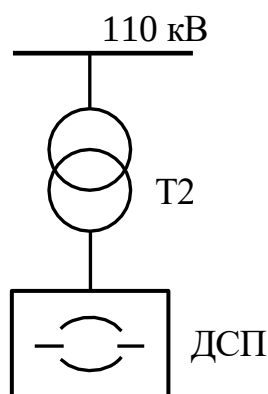
С: $S_{K3,6}=150$ МВА

T3: $S_{T3}=10$ МВА; $U_{ном}=6$ кВ; $u_k\%=10,5\%$

VD: $S_{пр}=10$ МВА; $\cos \varphi=0,8$; $m=6$

М: $P_M=220$ кВт; $\cos \varphi=0,9$; $K_M=1,2$; $K_I=5,1$

Задача 2. Для дуговой сталеплавильной печи рассчитать коэффициенты n -ой гармонической составляющей напряжения и коэффициент несинусоидальности на шинах 110 кВ.

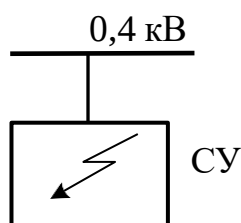


Исходные данные:

C: $S_{кз,110}=2300$ МВА

T2: $S_{T2}=60$ МВА; $U_{ном}=110$ кВ

Задача 3. Для группы сварочных установок переменного тока рассчитать коэффициенты n-ой гармонической составляющей напряжения и коэффициент несинусоидальности на шинах 0,4 кВ.



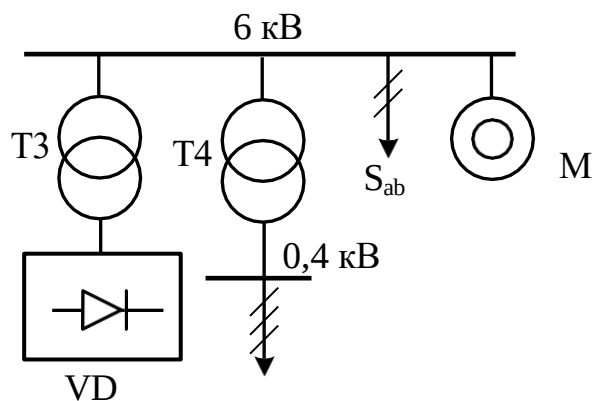
Исходные данные:

C: $S_{кз,0,4}=2$ МВА

СУ: $S_{ном}=30$ кВА; $U_{ном}=0,4$ кВ; ПВ=60%;

$\beta_{св}=0,5$; $N=6$

Задача 4. Для схемы на рисунке определить коэффициент несимметрии при подключении однофазной печи к фазам а и в.



Исходные данные:

C: $S_{кз,6}=150$ МВА

T4: $S_{T4}=1$ МВА; $U_{ном}=6$ кВ;

$u_{к,\%}=5,5\%$; $\Delta P_{кз}=10,5$ кВт;

$\Delta P_{xx}=1,9$ кВт

VD: $S_{пр}=10$ МВА; $\cos \varphi=0,8$; $m=6$

M: $P_M=220$ кВт; $\cos \varphi=0,9$

H: $S_{нагр}=1$ МВА; $S_{аб}=5,5$ МВА

Задача 5. Для схемы из примера 4 рассчитать дополнительные потери от токов высших гармоник и несимметрии напряжения в асинхронном двигателе и цеховом трансформаторе T4, а также снижение срока службы из-за перегрева токами высших гармоник и токами обратной последовательности. Нормальный срок службы принять 20 лет. Рабочая температура 75°C.

3 Задачи творческого уровня

Раздел 2. Каналы передачи электромагнитных помех и способы их ослабления

Задача 1

Паразитная емкость C_{12} между проводниками 1 и 2 составляет 50 пФ (рис. 21).

Емкость проводников относительно земли $C_{13} = C_{23} = 150$ пФ. По первому проводнику передается гармонический сигнал с частотой 100 кГц при ЭДС источника, равной 10 В.

Внутреннее сопротивление источника шумов r_{BH} равно нулю. Гармонический сигнал наводит на втором проводнике напряжение шумов.

Определить напряжение шумов, наводимых на входе измерительного устройства R_{BX} , подключенного к проводнику 2, если его входное сопротивление в первом варианте $R_{BX} \rightarrow \infty$; во втором варианте $R_{BX} = 1$ кОм и в третьем варианте $R_{BX} = 50$ Ом.

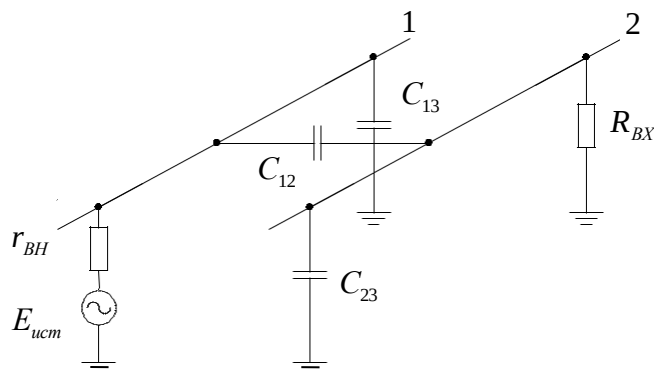


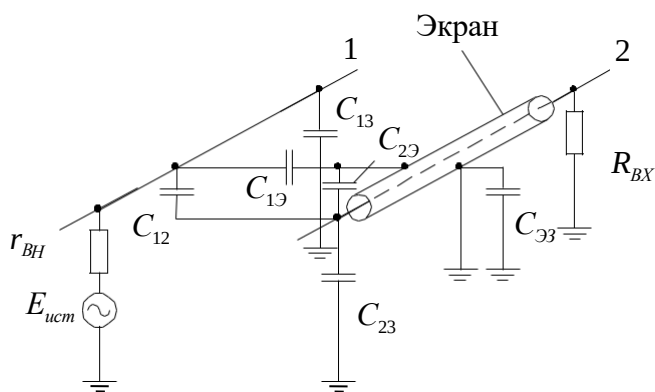
Рис. 21.

Задача 2

Емкость C_{12} между двумя проводниками (рис. 23), один из которых помещен в заземленный металлический экран из немагнитного материала, составляет 2 пФ, емкость между первым проводником и экраном $C_{1Э}$ равна 50 пФ, между первым проводником и «землей» C_{13} – 150 пФ. Емкость между вторым проводником и «землей» C_{23} равна 5 пФ, емкость между вторым проводником и экраном $C_{2Э}$ – 100 пФ, емкость между экраном и «землей» $C_{ЭЗ}$ – 300 пФ. К первому проводнику подключен источник гармонического сигнала, ЭДС которого равна 10 В, при частоте 100 кГц. Внутреннее сопротивление источника сигнала равно нулю. Этот гармонический сигнал наводит на втором проводнике напряжение шумов.

Определить напряжение шумов на входе измерительного устройства R_{BX} , соединенного со вторым проводником, если:

- 1) $R_{BX} \rightarrow \infty$; 2) $R_{BX} = 10$ кОм; 3) $R_{BX} = 1$ кОм; 4) $R_{BX} = 50$ Ом.



Элемент схемы		Номер варианта									
Обозначение	Размерность	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$E_{ист}$	В	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$f_{ист}$	Гц	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6
$r_{БН}$	Ом	25	10	45	20	55	10	50	15	20	35
R_{13}	Ом	10^6	-	10^7	10^6	10^7	10^5	10^6	10^7	-	10^5
$R_{1Э}$	Ом	-	-	-	-	-	-	-	10^8	10^7	-
$R_{ВХ}$	Ом	10^2	-	-	-	-	-	-	10^4	-	-
R_{23}	Ом	10^3	10^4	10^5	-	10^5	10^3	10^4	10^7	10^5	10^6
$R_{2Э}$	Ом	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10^5
R_{12}	Ом	-	-	-	-	-	10^4	-	-	-	10^5
C_{13}	Ф	-	-	-	-	-	-	10^{-10}	-	$2 \cdot 10^{-10}$	-
C_{12}	Ф	10^{-10}	$5 \cdot 10^{-12}$	10^{-11}	$3 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-12}$	$5 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-12}$	$3 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-12}$	10^{-11}
$C_{1Э}$	Ф	10^{-11}	$5 \cdot 10^{-11}$	10^{-11}	10^{-10}	$2 \cdot 10^{-12}$	$7 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-12}$	10^{-11}	$5 \cdot 10^{-11}$	10^{-10}
C_{23}	Ф	-	$2 \cdot 10^{-12}$	-	$3 \cdot 10^{-12}$	10^{-12}	-	$2 \cdot 10^{-12}$	-	10^{-12}	-
$C_{2Э}$	Ф	$5 \cdot 10^{-11}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$
$C_{3Э}$	Ф	$5 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-10}$

Раздел 3. Обеспечение электромагнитной совместимости на объектах электроэнергетики.

Задача 1.

Расчета заземляющего устройства подстанции.

Линейные размеры ЗУ 50х60 м.

№ варианта	Номинальное напряжение подстанции, кВ	Размер ячейки сетки ЗУ	Размер здания ОПУ, м	вертикальные заземлители длиной, м	сетка СУП с размерами ячейки	молниеотводные мачты высотой, м	Удельное сопротивление грунта, Ом*м
1	220	10х10 м.	7х23 м	5	3х3 м	15 м	100

1	220	10x10 м.	7x23 м	5,5		18 м	200
2	110	10x10 м.	7x23 м	6		16 м	50
3	330	10x10 м.	7x23 м	5		18 м	250

Задание:

1. Создать расчетную модель ЗУ в программе «Контур».
2. Расчет сопротивления растеканию заземляющего устройства объекта
3. Расчет сопротивления металлосвязи
4. Расчет разностей потенциалов при замыканиях в высоковольтной сети на частоте 50Гц
5. Расчет напряжения шага и прикосновения
6. Расчет величины постоянно действующего магнитного поля

Задача 2.

Вычислить значения напряжений и токов в элементах заземляющих устройств и других проводящих коммуникациях для импульсных режимов при ударах молнии и замыканиях в высоковольтной сети.

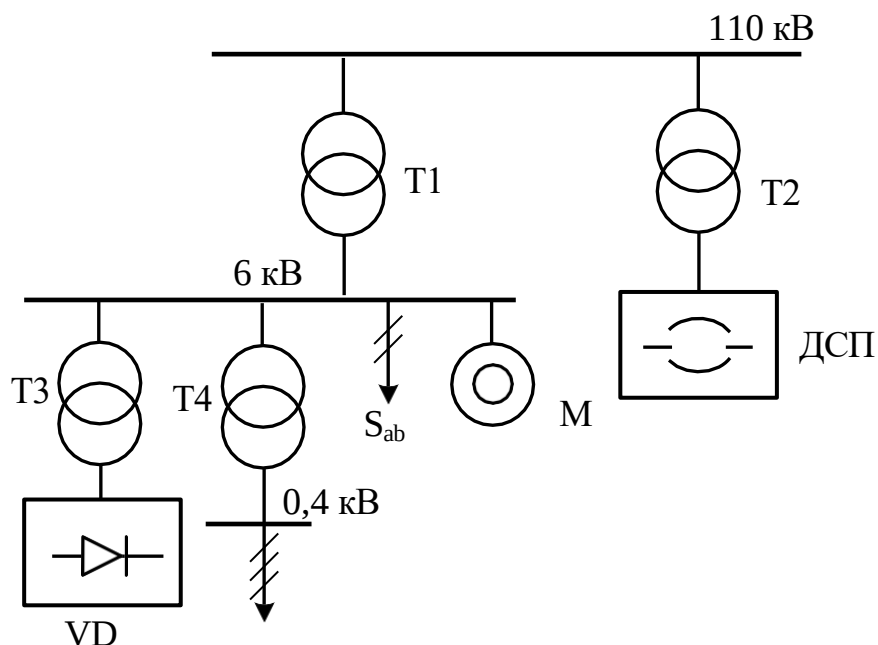
А) Расчет уровней воздействий импульсных помех при коммутациях силового оборудования и КЗ в первичных цепях.

Б) Расчет уровней воздействий импульсных помех от токов молнии.

Раздел 4. Электромагнитная совместимость технических средств в узлах нагрузки электрических сетей.

Задача 1.

Для заданной схемы рассчитать коэффициенты n -ой гармонической составляющей напряжения, коэффициент несинусоидальности на шинах 110 и 6 кВ, дополнительные потери мощности и снижение срока службы цехового трансформатора Т4 и асинхронного двигателя М из-за перегрева токами высших гармоник и несимметрии напряжения. Нормальный срок службы принять 20 лет. Рабочая температура 75°C.



Исходные данные:

С: $S_{кз,110}$ – по таблице; $S_{кз,6}=170$ МВА; $S_{кз,0,4}=3$ МВА

T2: $S_{T2}=50$ МВА; $U_{ном}=110$ кВ

T3: $S_{T3}=10$ МВА; $U_{ном}=6$ кВ; $u_k, \%=10,5\%$

T4: $S_{T4}=1$ МВА; $U_{ном}=6$ кВ; $u_k, \%=5,5\%$; $\Delta P_{кз}=10,5$ кВт; $\Delta P_{хх}=1,9$ кВт

M: P_M – по таблице; $\cos \varphi=0,9$; $K_M=1,2$; $K_I=5,1$

VD: $S_{пр}=8$ МВА; $\cos \varphi=0,8$; $m=6$

H: $S_{нагр}=2$ МВА; $S_{аб}=4$ МВА

Данные по шифру зачетной книжки

Предпоследняя цифра	$S_{кз, 110}$, МВА	Последняя цифра	P_M , кВт
0	1500	0	200
1	1600	1	210
2	1700	2	220
3	1800	3	230
4	1900	4	240
5	2000	5	250
6	2100	6	260
7	2200	7	270
8	2300	8	280
9	2400	9	290