

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования**

К Г Э У

**«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

Кафедра № ЭСиС

Только для преподавателей

Экз. № _____

УЧЕБНО - МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА

по учебной дисциплине

**Б.1.В.ДВ.13. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Практическое занятие:

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЭС.
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЛИНИИ В ВИДЕ СХЕМ
ЗАМЕЩЕНИЯ.**

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ЭСиС

Максимов В.В.

« » _____ 201_ г.

УЧЕБНО - МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА

**по учебной дисциплине «Физико-математическое моделирование
электроэнергетических систем»**

Практическое занятие:

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЭС.
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЛИНИИ В ВИДЕ СХЕМ
ЗАМЕЩЕНИЯ.**

Учебные и воспитательные цели:

1. Дать систематизированные знания о физико-математическом моделировании электроэнергетических систем.
2. Освоить приёмы основных вероятностных расчётов в электроэнергетических задачах

Вид занятия: Практическое занятие.

Продолжительность занятия: 2 часа.

Структура занятия и расчет времени.

№п/п	Структура занятия	Время, мин
1	Вводная часть	10-15
2	Основная часть 1. Решение задач.	70-75
3	Заключительная часть	3-5

Вводная часть занятия: проверить наличие и готовность обучающихся к занятию; провести опрос по пройденному материалу в соответствии с перечнем вопросов и подвести его итоги; объявить тему и

учебные цели занятия; обратить внимание обучающихся на важность изучения учебных вопросов занятия, так как знание их может быть востребовано при выполнении курсовой работы и выпускной квалификационной работы.

Основная часть занятия: учебные вопросы занятия изучаются в составе группы с применением диафильма, диапроектора, стендов, плакатов, классной доски, цветных мелков. Изучать материал занятия следует в строгом соответствии с учебной программой и тематическим планом изучения учебной дисциплины.

Наименование учебных вопросов преподаватель объявляет последовательно по мере изложения учебного материала и записывает их на классной доске.

На классной доске следует также записывать номер и название темы и занятия, учебные вопросы, цифровые характеристики, формулы, непонятные и сложные для обучающихся термины, чертить поясняющие схемы. Записи на классной доске вести последовательно и аккуратно.

В ходе изложения учебного материала необходимо контролировать степень усвоения учебного материала путем постановки контрольных и проблемных вопросов.

При изучении учебного материала обучающихся должны вести конспект. Контроль за качеством ведения конспектов преподаватель осуществляет в ходе проведения занятия.

Основная часть занятия:

Пример 1. Найдем распределение величины напряжения и тока вдоль ЛЭП 500 кВ длиной $L = 500$ км при холостом ходе и при передаче мощности нагрузки меньше и больше натуральной мощности линии. Конструкция фазы линии: 3хАС-400/51. Расчеты и графические построения выполним в системе Mathcad. Приведенные ниже значения параметров линии выражены в омах, сименсах и радианах. Параметры режима ЛЭП даны в киловольтах, килоамперах, мегаваттах и мегаварах.

Длина и погонные параметры линии:

$L := 500$	$r_0 := 0.025$	$g_0 := 0.023 \cdot 10^{-6}$	$x_0 := 0.306$	$b_0 := 3.62 \cdot 10^{-6}$
$z_0 := r_0 + j \cdot x_0$	$y_0 := g_0 + j \cdot b_0$			

Расчетные параметры линии – волновое сопротивление, коэффициент распространения волны и натуральная мощность:

$$Z_c := \sqrt{\frac{z_0}{y_0}} \quad \gamma_0 := \sqrt{z_0 \cdot y_0}$$

$$Z_c = 291.016 - 10.942i \quad \gamma_0 = 4.63 \times 10^{-5} + 1.053i \times 10^{-3}$$

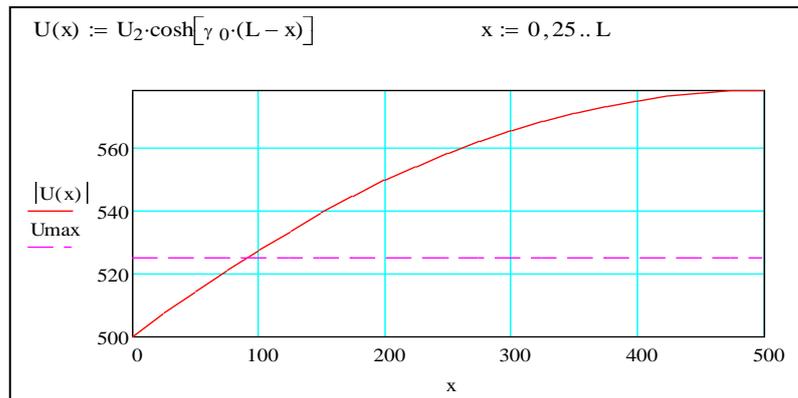
$$P_{\text{nat}} := \frac{U_1^2}{Z_c} \quad P_{\text{nat}} = 857.845 + 32.255i$$

1. Режим холостого хода

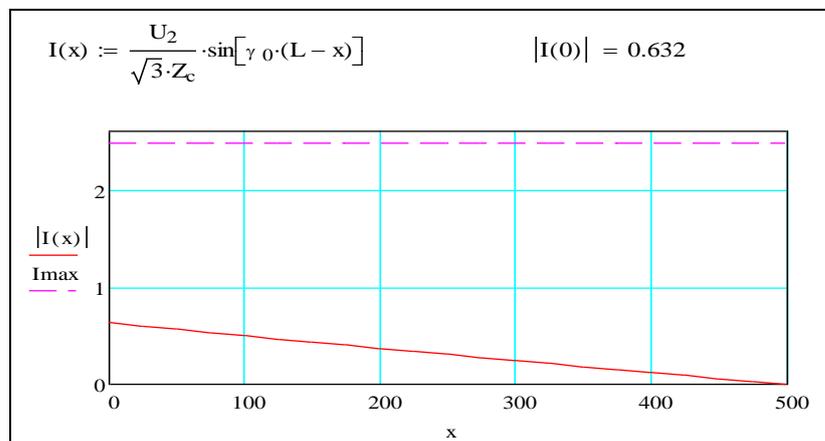
Напряжение в конце линии:

$$U_2 := \frac{U_1}{\cosh(\gamma_0 \cdot L)} \quad |U_2| = 578.152$$

Построение графика напряжения вдоль линии в режиме холостого хода:



Построение графика тока вдоль линии в режиме холостого хода:



Из полученных зависимостей видно, что напряжение вдоль ЛЭП начинает превышать предельно допустимое значение уже на расстоянии около 100 км от начала линии; такой режим в действительности неосуществим из-за перекрытия изоляции на линии.

Ток по линии имеет наибольшее значение в начале линии и не превышает допустимое значение, равное 2,475 кА.

2. Режим передачи мощности меньше натуральной

Натуральная мощность данной ЛЭП равна 859,9 МВт. Возьмем передаваемую мощность 700 МВт, реактивную мощность в конце линии примем равной нулю:

$$P_{21} := 700 \quad Q_{21} := 0 \quad S_{21} := P_{21} + i \cdot Q_{21}$$

Напряжение в конце ЛЭП найдем из решения системы уравнений.

Начальные приближения для неизвестных U_2, I_2 :

$$U_{21} := 500 - i \cdot 100 \quad I_{21} := \frac{\overline{S_{21}}}{U_{21}}$$

Решающий блок:

$$\begin{array}{l} \text{Given} \\ U_1 = U_{21} \cdot \cosh(\gamma_0 \cdot L) + I_{21} \cdot Z_c \cdot \sinh(\gamma_0 \cdot L) \\ I_{21} = \frac{\overline{S_{21}}}{U_{21}} \\ \left(\begin{array}{l} U_{21} \\ I_{21} \end{array} \right) := \text{Find}(U_{21}, I_{21}) \end{array}$$

Результаты решения системы уравнений (напряжение и ток в конце линии):

$$\begin{array}{ll} U_{21} = 462.558 - 210.534i & |U_{21}| = 508.217 \\ \text{angle}(\text{Re}(U_{21}), \text{Im}(U_{21})) - 2 \cdot \pi = -24.473 \cdot \text{deg} & \\ I_{21} = 1.254 - 0.571i & |I_{21}| = 1.377 \end{array}$$

Вектор напряжения в конце линии отстает от вектора напряжения в начале на 24,473 градуса.

3. Режим передачи мощности больше натуральной

Примем передаваемую активную мощность по линии 900 МВт. Можно убедиться, что при реактивной мощности в конце линии, равной нулю, режим напряжений по линии является неудовлетворительным. Для поддержания удовлетворительного напряжения требуется реактивная мощность емкостного характера. Пусть мощность компенсирующего устройства, включенного в конец линии, такова, что в конце линии реактивная мощность равна минус 100 Мвар (передается в линию).

$$P_{2g} := 900 \quad Q_{2g} := -100 \quad S_{2g} := P_{2g} + i \cdot Q_{2g}$$

Напряжение в конце ЛЭП найдем из решения системы уравнений.

Начальные приближения для неизвестных U_2, I_2 :

$$U_{2g} := 500 - i \cdot 100 \quad I_{2g} := \frac{\overline{S_{2g}}}{U_{2g}}$$

Решающий блок:

$$\begin{array}{l} \text{Given} \\ U_1 = U_{2g} \cdot \cosh(\gamma_0 \cdot L) + I_{2g} \cdot Z_c \cdot \sinh(\gamma_0 \cdot L) \\ I_{2g} = \frac{\overline{S_{2g}}}{U_{2g}} \\ \begin{pmatrix} U_{2g} \\ I_{2g} \end{pmatrix} := \text{Find}(U_{2g}, I_{2g}) \end{array}$$

Результаты решения системы уравнений (напряжение и ток в конце линии):

$$\begin{array}{ll} U_{2g} = 412.797 - 270.897i & |U_{2g}| = 493.748 \\ \text{angle}(\text{Re}(U_{2g}), \text{Im}(U_{2g})) - 2 \cdot \pi = -33.275 \cdot \text{deg} & \\ I_{2g} = 1.635 - 0.831i & |I_{2g}| = 1.834 \end{array}$$

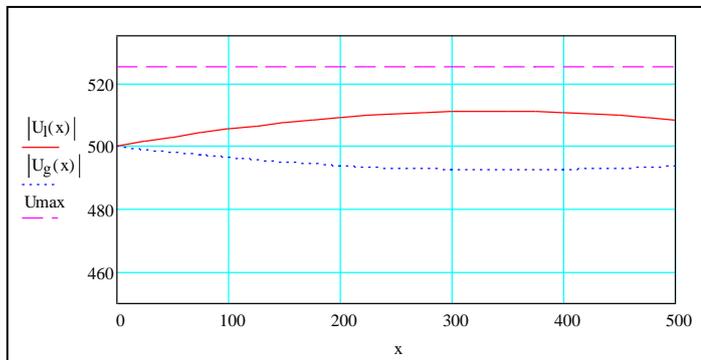
Построим графики напряжения и тока вдоль линии для обоих режимов передачи мощности.

Функция напряжения для $P_2 < P_{\text{нат}}$:

$$U_1(x) := U_{21} \cdot \cosh[\gamma_0 \cdot (L - x)] + I_{21} \cdot Z_c \cdot \sinh[\gamma_0 \cdot (L - x)]$$

Функция напряжения для $P_2 > P_{\text{нат}}$:

$$U_g(x) := U_{2g} \cdot \cosh[\gamma_0 \cdot (L - x)] + I_{2g} \cdot Z_c \cdot \sinh[\gamma_0 \cdot (L - x)]$$

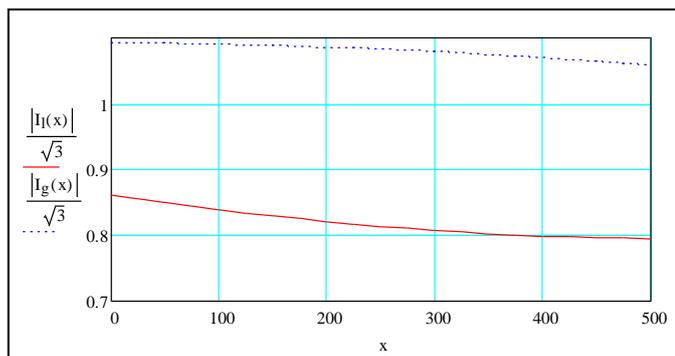


Функция тока для $P_2 < P_{\text{нат}}$:

$$I_1(x) := \frac{U_{2l}}{Z_c} \cdot \sinh[\gamma_0 \cdot (L - x)] + I_{2l} \cdot \cosh[\gamma_0 \cdot (L - x)]$$

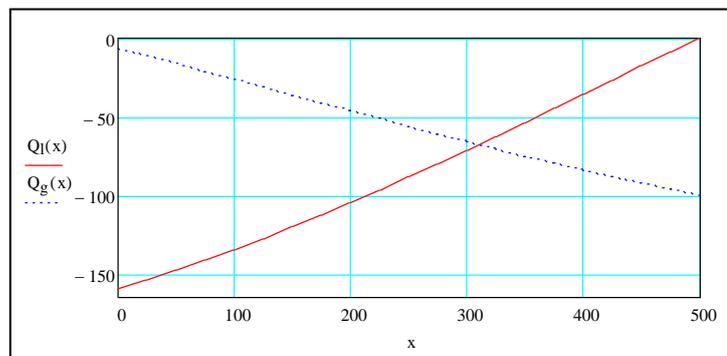
Функция тока для $P_2 > P_{\text{нат}}$:

$$I_g(x) := \frac{U_{2g}}{Z_c} \cdot \sinh[\gamma_0 \cdot (L - x)] + I_{2g} \cdot \cosh[\gamma_0 \cdot (L - x)]$$



Изменение активной и реактивной мощности вдоль ЛЭП для двух режимов:

$$\begin{aligned} P_1(x) &:= \operatorname{Re}(U_1(x) \cdot \overline{I_1(x)}) & Q_1(x) &:= \operatorname{Im}(U_1(x) \cdot \overline{I_1(x)}) \\ P_g(x) &:= \operatorname{Re}(U_g(x) \cdot \overline{I_g(x)}) & Q_g(x) &:= \operatorname{Im}(U_g(x) \cdot \overline{I_g(x)}) \end{aligned}$$



Значения активной мощности к началу линии возрастают в обоих случаях, так как вдоль линии имеют место потери активной мощности.

Реактивная мощность в первом случае, когда реактивной нагрузки в конце линии нет, передается к началу линии (отрицательные значения) из-за преобладания зарядной мощности над потерями реактивной мощности. Во втором случае имеет место обратная картина: потери реактивной мощности больше зарядной и потери компенсируются источником реактивной мощности в конце линии.

Заключительная часть занятия: Ответить на вопросы, обратить их внимание на необходимость знания изученного материала.

Проверить качество усвоения учебного материала занятия.

Подвести итог занятия, оценить знания и действия.

Выдать задание на самостоятельную работу.

Объявить тему и место проведения очередного занятия, дать команду о наведении порядка в классе и об окончании занятия.

Доцент кафедры к.т.н. доцент:

Максимов В.В

« ___ » _____ 201 г.

Обсуждено на заседании кафедры « ___ » _____ 201 г.,

протокол № ____