<u>Билет1</u>

Теория 1

В модели электрической цепи имеются следующие допущения: Длина и форма проводников не имеют значения; Проводники не имеют собственного сопротивления; Все элементы точечные, их размеры значения не имеют

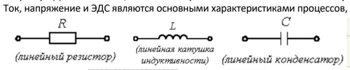
В схеме все идеализируется, например, отсутствием сопротивления катушки.

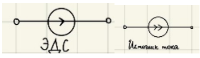
ЭДС - скалярная физическая величина, характеризующая работу сторонних сил, действующих в квазистационарных цепях постоянного или переменного тока.

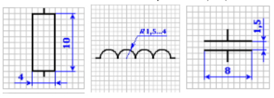
Квазистационарные системы. Если коэффициенты уравнения нестационарной системы изменяются медленно, то такую систему называют квазистационарной.

Элементы: Узлы – места соединения 3 и более проводников; Ветви – проводники, соединяющие 2 точки на схеме (полюсы или узлы); Многополюсники – источники или приёмники цепи. Элементы с зажимами. (Активные – содержат источник энергии. Генератор ЭДС E или тока J.; Пассивные – рассеивают или накапливают энергию. R, L, C.)

Ток, напряжение и ЭДС являются основными характеристиками процессов, протекающих в цепи.





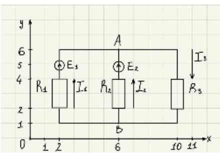


Теория 2

Метод узловых потенциалов – один из методов анализа электрической цепи, который целесообразно использовать, когда количество узлов в цепи меньше или равно числу независимых контуров. Данный метод основан на составлении уравнений по первому закону Кирхгофа.

Правила составления уравнений. Ток в каждой ветви выразить через потенциалы узлов на зажимах ветви, ЭДС и сопротивления данной ветви. Следует помнить, что ток течет от точки с более высоким потенциалом к точке с более низким потенциалом. Если направление ЭДС совпадает с направлением предполагаемого тока, то такая ЭДС записывается со знаком «+», а если противоположно, то со знаком (-). При этом, потенциал одного из узлов цепи принимается равным нулю, что позволяет сократить число уравнений до n-1.

Пример: Определить значения и направления токов в ветвях методом узловых потенциалов для цепи ниже, если E_1=108 В; E_2=90 В; R_1=30 Ом; R_2=40 Ом; R_3=60 Ом.



1) Обозначим на схеме узлы A; B;
2) Зададимся предполагаемым направлением токов в ветвях I1, I2, I3
3) Составим (n-1) уравнение по I закону Кирхгофа для узла A.

$$I_1 + I_2 = I_3 \ (1)$$

4) Выражаем токи через потенциалы, ЭДС и сопротивления.

$$I_1 = \frac{\varphi_B - \varphi_A + E_1}{R_1};\ I_2 = \frac{\varphi_B - \varphi_A + E_2}{R_2};\ I_3 = \frac{\varphi_B - \varphi_A}{R_3};$$

5) Примем $\varphi_A = 0$
6) Подставляем полученные выражения токов в уравнение 1.

$$\frac{\varphi_B - \varphi_A + E_1}{R_1} + \frac{\varphi_B - \varphi_A + E_2}{R_2} = \frac{\varphi_B - \varphi_A}{R_3}$$

7) Подставим числовые значения и решаем полученное уравнение.

$$\frac{\varphi_B + 108}{30} + \frac{\varphi_B + 90}{40} = -\frac{\varphi_B}{60};\ \Rightarrow 9\varphi_B = -702;\ \varphi_B = -78 \text{ В}$$

8) Определяем токи в ветвях.

$$I_1 = \frac{\varphi_B - \varphi_A + E_1}{R_1} = 1 \text{ А};\quad I_2 = \frac{\varphi_B - \varphi_A + E_2}{R_2} = 0.3 \text{ А};\quad I_3 = \frac{\varphi_B - \varphi_A}{R_3} = 1.3 \text{ А}$$

<u>Билет2</u>

Теория 1

Двухполюсник - часть электрической цепи любой сложности и произвольной конфигурации, выделенная относительно двух зажимов (двух полюсов).

Двухполюсник, не содержащий источников энергии или содержащий скомпенсированные источники (суммарное действие которых равно нулю), называется пассивным. Пассивный двухполюсник является потребителем энергии и может быть заменен эквивалентным сопротивлением, величина которого равна входному сопротивлению двухполюсника. Если в схеме двухполюсника имеются не скомпенсированные источники, он называется активным. Активный двухполюсник ведет себя как генератор. Находящиеся внутри него не скомпенсированные источники отдают энергию во внешнюю цепь.

Теорема об активном двухполюснике: Любой активный двухполюсник может быть заменен эквивалентным генератором, ЭДС которого $E_э$ равна напряжению холостого хода двухполюсника, а внутреннее сопротивление $R_э$ напряжению холостого хода, деленному на ток короткого замыкания.

Связь между токами и напряжениями реактивных двухполюсников: 1. Частоты резонансов напряжений и токов реактивного двухполюсника чередуются: между любыми двумя резонансами напряжений имеется один резонанс токов, и между любыми двумя резонансами токов находится резонанс напряжений; 2. Если в схеме двухполюсника есть путь для прохождения постоянного тока, то первым наступает резонанс токов, а если такого пути нет, первым наступает резонанс напряжений;

Закон Ома, выражаемый формулой: $I = \frac{U}{R}$ которая определяет зависимость между током и напряжением на пассивном участке электрической цепи.

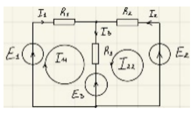
Обобщенный закон Ома определяет связь между основными электрическими величинами на участке цепи постоянного тока, содержащем резистор и идеальный источник ЭДС.

Пример: $I = \frac{U_{ab} + E}{R}$ (и картинка справа)

Теория 2

Этот метод заключается в том, что вместо токов в ветвях определяются на основании второго закона Кирхгофа так называемые контурные токи, замыкающиеся в контурах.

Токи в ветвях I_1 и I_2 равны контурным токам.



$$I_1 = I_{11};\ I_2 = I_{22};\ I_3 = I_{11} + I_{22}$$
$$I_1 * R_1 + I_3 * R_3 = E_1 - E_3$$
$$I_{11} * R_1 + (I_{11} + I_{22}) * R_3 = E_1 - E_3$$
$$I_{11} * (R_1 + R_3) + I_{22} * R_3 = E_1 - E_3$$

Аналогично для второго контура: $I_{22} * (R_2 + R_3) + I_{11} * R_3 = E_2 - E_3$

Уравнения, составленные по методу контурных токов, всегда записывают в виде системы $\begin{cases} I_{11} * (R_1 + R_3) + I_{22} * R_3 = E_1 - E_3 \\ I_{22} * (R_2 + R_3) + I_{11} * R_3 = E_2 - E_3 \end{cases}$, где E_1, E_2, E_3 – алгебраическая сумма ЭДС, содержащихся в 1,2,3-ом контуре соответственно.

Число уравнений, записываемых для контурных токов по второму закону Кирхгофа, равно числу независимых контуров, то есть для электрической схемы с числом узлов q и числом ветвей p задача нахождения контурных токов сведется к решению системы $p - q + 1$ уравнений. Положительные направления контурных токов задаются произвольно. Направление обхода каждого контура принимается обычно совпадающим с выбранным положительным направлением контурного тока.

<u>Билет3</u>

Теория 1

<u>Физическое обоснование</u>: Заданы схемы электрической цепи со значениями всех ее элементов, а также напряжения и токи источников, действующих в цепи, требуется найти токи в ветвях и напряжения на элементах цепи. Для определения искомых токов и напряжений необходимо составить уравнения цепи, которые определяются только геометрической конфигурацией и способами соединения элементов цепи. Эти уравнения составляются на основе двух законов Кирхгофа, которые связывают токи ветвей, сходящихся в узлах, и напряжения элементов, входящих в контуры.

<u>Первый закон Кирхгофа</u>, выражающий закон сохранения заряда, формулируется так: В любой момент алгебраическая сумма токов ветвей, сходящихся в узле электрической цепи, равна нулю: $\sum_{k=1}^{n} I_k = 0$

Знак тока при записи первого закона Кирхгофа определяется выбором положительных направлений токов ветвей: например, токам, входящим в узел, приписывают условно знак плюс, а токам, выходящим из узла - знак минус.

<u>Второй закон Кирхгофа</u>: Алгебраическая сумма э.д.с. источников, действующих в контуре, равна алгебраической сумме напряжений на элементах контура: $\sum_i E_i = \sum_j U_j$

При этом напряжения на элементах контура и э.д.с. источников входят в уравнение выше со знаком плюс, если их положительные направления совпадают с направлением обхода контура, в обратном случае слагаемые берутся со знаком минус.

<u>Пример</u>**:** Цепь содержит 3 ветви и два узла: «a» и «b», следовательно, по первому закону Кирхгофа составим одно уравнение, а остальные два – по второму закону Кирхгофа. Выбрав положительные направления токов I1, I2, I3 такими, как показано на рисунке, и обходя контур I и II по часовой стрелке, получим $\begin{cases} I_1 - I_2 - I_3 = 0 \\ E_1 = I_1 * r_1 + I_2 * r_2 \\ 0 = -I_2 * r_2 + U_3 + I_3 * r_3 \end{cases}$

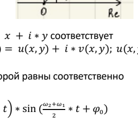
После решения и подстановки числовых значений, полученные результаты могут быть либо положительными, либо отрицательными. В случае отрицательного значения действительное направление тока будет противоположным указанному на рисунке.

Линейно-независимые уравнения**:** при записи линейно независимых уравнений по второму закону Кирхгофа стремятся, чтобы в каждый новый контур, для которого составляют уравнение, входила хотя бы одна новая ветвь, не вошедшая в предыдущие контуры, для которых уже записаны уравнения по второму закону Кирхгофа. Такие контуры условимся называть независимыми.

Теория 2

Гармонический сигнал – это гармонические колебания со временем распространяющейся в пространстве, которые несут в себе информацию или какие-то данные и описываются уравнением: $y = A * \cos(\omega t + \varphi_0)$, где A — длина вектора (амплитуда колебаний), φ_0 — начальный угол (фаза) вектора в нулевой момент времени, ω — угловая скорость вращения.

В комплексном виде: $S = A * e^{i(\omega t + \varphi_0)} = A * (\cos(\omega t + \varphi_0) + i * \sin(\omega t + \varphi_0))$, где $x = Re * S = A * \cos(\omega t + \varphi_0)$, а $y = i * \sin(\omega t + \varphi_0)$



Комплексное число — это выражение вида $a + bi$, где a, b — действительные числа, а i — так называемая мнимая единица, символ, квадрат которого равен –1, то есть $i^2 = -1$;

Операции: 1) Сложение: $x_1 + i * y_1 + x_2 + i * y_2 = (x_1 + x_2) + i * (y_1 + y_2)$
2) Вычитание: $x_1 + i * y_1 - (x_2 + i * y_2) = (x_1 - x_2) + i * (y_1 - y_2)$
3) Умножение : $(x_1 + i * y_1) * (x_2 + i * y_2) = (x_1 * x_2) + i^2 * (y_1 * y_2)$
4) Деление: $\frac{x_1 + i*y_1}{x_2 + i*y_2} = \frac{(x_1 + i*y_1)*(x_2 - i*y_2)}{(x_2 + i*y_2)*(x_2 - i*y_2)} = \frac{x_1*x_2 + y_1*y_2}{x_2^2 + y_2^2} + i * (\frac{x_2*y_1 - x_1*y_2}{x_2^2 + y_2^2})$

Функции комплексной переменной: каждому значению комплексной переменной $z = x + i * y$ соответствует определенное значение комплексной переменной $w = u + i * v$; а именно: $w = f(z) = u(x, y) + i * v(x, y)$; $u(x, y) = Re(w(z)), v(x, y) = Im(w(z))$

Комплексная амплитуда – величина, не зависящая от времени, модуль и аргумент, которой равны соответственно амплитуде и начальной фазе заданной гармонической функции.

Сложение колебаний равных частот: $\begin{cases} S_1 = A * \sin(\omega_1 t + \varphi_0) \\ S_2 = A * \sin(\omega_2 t + \varphi_0) \end{cases} \rightarrow S = 2 * A * cos\left(\frac{\omega_2 - \omega_1}{2} * t\right) * \sin(\frac{\omega_2 + \omega_1}{2} * t + \varphi_0)$

<u>Билет4</u>

Теория 1

Цепь линейная - если элемент, параметры которого (сопротивление R, индуктивность L и ёмкость C) не зависят от величины и направления токов и приложенных напряжений.

Цепи нелинейные - если в состав которых входит хотя бы один нелинейный элемент, то есть параметры которых зависят от величины и (или) направления связанных с этими элементами переменных (напряжения U, тока I)

Инерционными цепями содержат инерционные элементы (индуктивности, емкости), способные накапливать или отдавать накопленную электрическую энергию.

Цепи с безынерционными элементами нелинейность проявляется и в отношении мгновенных значений тока и напряжения. Поэтому при подаче на элемент, например, синусоидального напряжения, ток в нем будет иметь форму, отличную от синусоиды

Вольтамперная характеристика (ВАХ) - зависимость тока, протекающего через сопротивление, от напряжения на этом сопротивлении, выраженная графически. ВАХ могут быть линейными и нелинейными.

Аппроксимация - замена сложных функций приближенными аналитическими выражениями. Они бывают: 1) Полиномиальной (она выполняется с помощью формулы Тейлора данном случае должна быть непрерывной, однозначной и абсолютно гладкой); 2) Кусочно--линейная (совокупностью линейных участков вблизи возможных рабочих точек)

Двухполюсник – это часть цепи, имеющей по отношению к оставшейся схеме всего два вывода. При этом не имеет значение, какое электрическое соединение имеет эта схема. Он пассивный, если в заменяемой части цепи нет источника ЭДС.

Теория 2

$\dot{U}(t) = \dot{U}_m * e^{i\omega t}$ - общий вид комплексной гармонической функции. $\frac{d}{dt} * \dot{U}(t) = i\omega\dot{U}(t)$ – производная

$\int \dot{U}(t)\,dt = \frac{\dot{U}(t)}{i\omega}$ – интеграл $z_L = i\omega L$ – комплексное сопротивление индуктивности

$z_c = \frac{1}{i\omega c} = -\frac{i}{\omega c}$ – комплексное сопротивление конденсатора $z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}}$ – комплексное сопротивление

$Y = \frac{\dot{I}}{\dot{U}}$ – комплексная проводимость

Комплексная схема замещения цепи может быть получена из схемы замещения для мгновенных значений путем замены всех идеализированных пассивных двухполюсников их комплексными сопротивлениями (проводимостями) и всех токов и напряжений — их комплексными изображениями.

По внешнему виду комплексная схема замещения цепи подобна цепи постоянного тока, составленной только из сопротивлений и идеализированных источников энергии, причем, подобно цепи постоянного тока, компонентные уравнения всех ветвей в комплексной форме являются алгебраическими.

Метод компле́ксных амплитуд — метод расчета линейных электрических цепей, содержащих реактивные элементы, в установившемся режиме при гармонических входных сигналах.

Суть метода заключается в следующем: Для всех реактивных элементов определяется их комплексное сопротивление; Все токи и напряжения рассматриваются в виде комплексных амплитуд.После введения этих замен задача анализа цепи сводится к задаче анализа цепи на постоянном токе: Комплексные сопротивления трактуются как обычные сопротивления; Комплексные амплитуды токов и напряжений как обычные токи и напряжения

Таким образом, мы избавились от реактивности элементов и зависимости от времени сигналов. Эти факторы, затрудняющие математическое описание схемы, теперь перенесены в сигнал: все параметры зависят от частоты гармонического сигнала и являются комплекснозначными. $\dot{U}(t) = \dot{U}_m * e^{i\omega t}, \dot{U}_m = U_m * e^{i\varphi}$, где фи – фаза.

Применение – расчёт цепей с реактивными элементами методами контурных токов, узловых потенциалов.

<u>Билет6</u>

Теория 1

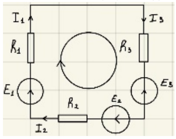
Двухполюсник - часть электрической цепи любой сложности и произвольной конфигурации, выделенная относительно двух зажимов (двух полюсов).

Если в схеме двухполюсника имеются не скомпенсированные источники, он называется активным. Активный двухполюсник ведет себя как генератор. Находящиеся внутри него не скомпенсированные источники отдают энергию во внешнюю цепь.

Теорема об активном двухполюснике: Любой активный двухполюсник может быть заменен эквивалентным генератором, ЭДС, которого $\mathrm{E}_э$ равна напряжению холостого хода двухполюсника, а внутреннее сопротивление $R_э$ напряжению холостого хода, деленному на ток короткого замыкания.

Теорема Тевенина (Эквивалентного источника напряжения). По отношению к выбранной ветви оставшаяся часть цепи может быть выбрана в виде эквивалентного источника напряжения с E_0 и внутренним сопротивлением R_0, причём E_0 равно E холостого хода.

Теорема Нортона (Эквивалентного источника тока). По отношению к зажимам произвольно выбранной ветви, вся остальная активная цепь может быть представлена в виде эквивалентного источника тока J_0 и входной проводимости G_0, при этом J_0 находят путём короткого замыкания.



Электрическая энергия — это способность электромагнитного поля производить работу, преобразовываясь в другие виды энергии. Электрическая мощность — это работа по перемещению электрических зарядов в единицу времени.

Пример: Уравнение энергетического баланса: $P_{расс} = P_{ист}$;

$P_{расс} = \sum U_i * R_i = \sum \frac{U_i^2}{R_i} \sum I_i^2 * R_i$

$P_{ист} = \sum U_i * I_i$; $P_{расс} = I_1^2 * R_1 + I_2^2 * R_2 + I_3^2 * R_3$

$P_{ист} = -U_{E_1} * I_1 - U_{E_2} * I_2 + U_{E_3} * I_3$

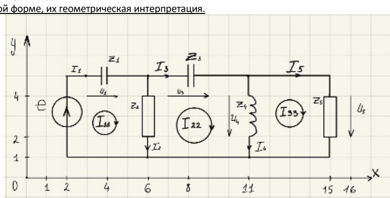
Теория 2

При гармоническом воздействии в основу всех методов расчета линейных цепей положен метод комплексных амплитуд.

Основными методы расчета цепей в установившемся режиме при гармоническом воздействии являются: Метод токов ветвей (МТВ); Метод контурных токов (МКТ); Метод узловых потенциалов (МУП); Метод наложения.

<u>Методы контурных токов и узловых потенциалов в комплексной форме, их геометрическая интерпретация.</u>

Метод контурных токов:



Метод контурных токов базируется на уравнениях второго закона Кирхгофа для $p - q + 1$ независимых контуров, где p - количество ветвей, а q - количество узлов в цепи. Для выбранных независимых контуров вводятся обозначения и задаются положительные направления $p - q + 1$ комплексных амплитуд кольцевых токов I_{kk}, k – номер контура.

Через контурные токи выражаются токи всех ветвей цепи и по закону Ома определяются напряжения ветвей, а затем записываются уравнения второго закона Кирхгофа для контуров, не содержащих идеальные источники тока. Для контуров с идеальными источниками тока записываются уравнения связи контурных токов и тока источника.

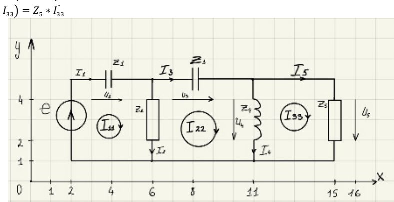
Система содержит $p - q + 1$ уравнений для комплексных амплитуд контурных токов. По найденным контурным токам определяются искомые токи или напряжения ветвей.

Проведем расчет выше показанной цепи. $\dot{U}_1 = Z_1 * \dot{I}_{11}$; $\dot{U}_3 = Z_3 * \dot{I}_{22}$; $\dot{U}_4 = Z_4 * (\dot{I}_{22} - I_{33})$; $\dot{U}_5 = Z_5 * \dot{I}_{33}$

По второму закону Кирхгофа необходимо записать три уравнения: $\begin{cases} \dot{U}_1 + \dot{U}_2 = \dot{E} \\ \dot{U}_2 = \dot{U}_3 + \dot{U}_4; \\ \dot{U}_4 = \dot{U}_5 \end{cases}$ Подставляя выражения для напряжений ветвей, получим систему

уравнений метода контурных токов в виде: $\begin{cases} Z_1 + \dot{I}_{11} + Z_2 * (\dot{I}_{11} - \dot{I}_{22}) = \dot{E} \\ Z_2 * (\dot{I}_{11} - \dot{I}_{22}) = Z_4 * (\dot{I}_{22} - \dot{I}_{33}) + Z_3 * \dot{I}_{22} \\ Z_4 * (\dot{I}_{22} - I_{33}) = Z_5 * \dot{I}_{33} \end{cases}$

<u>Метод узловых потенциалов:</u>



Метод узловых потенциалов базируется на первом законе Кирхгофа. В цепи выделяются $q - 1$ потенциальных узлов, последний q-й узел объявляется нулевым, а для остальных задаются узловые потенциалы с положительным направлением в нулевой узел.

Через узловые потенциалы с помощью закона Ома и второго закона Кирхгофа выражаются токи всех ветвей цепи, которые подставляются в $q - 1$ уравнений первого закона Кирхгофа, в результате получается система уравнений метода узловых потенциалов.

Схема цепи с обозначенными узловыми напряжениями $\dot{U}_{11}, \dot{U}_{22}$ для потенциальных узлов, обозначенных цифрами 1 и 2 в кружках.

Выразим комплексные амплитуды токов ветвей через узловые напряжения. Для контура e, Z_1, Z_2 по второму закону Кирхгофа $\dot{U}_1 = \dot{E} - \dot{U}_{11}$, тогда по закону Ома: $\dot{I}_1 = \frac{\dot{E} - \dot{U}_{11}}{Z_1}$; Для тока $\dot{I}_2$ получим: $\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{11}}{Z_2}$;

Для контура Z_2, Z_3, Z_4 по второму закону Кирхгофа и закону Ома получим: $\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{11} - \dot{U}_{22}}{Z_3}$

Для ветвей Z_4 и Z_5 из закона Ома следует: $\dot{I}_4 = \frac{\dot{U}_{22}}{Z_4}$; $\dot{I}_5 = \frac{\dot{U}_{22}}{Z_5}$; Уравнения первого закона Кирхгофа для цепи имею вид: $\dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_3$ $\dot{I}_3 = \dot{I}_4 + \dot{I}_5$

Подставляя в них найденные токи ветвей, получим систему уравнений метода узловых потенциалов: $\frac{\dot{E} - \dot{U}_{11}}{Z_1} = \frac{\dot{U}_{11}}{Z_2} + \frac{\dot{U}_{11} - \dot{U}_{22}}{Z_3}$; $\frac{\dot{U}_{11} - \dot{U}_{22}}{Z_3} = \frac{\dot{U}_{22}}{Z_4} + \frac{\dot{U}_{22}}{Z_5}$

Билет18

Теория 1

Применение преобразования Лапласа для анализа электрических цепей. Прямое и обратное преобразование Лапласа. Оригинал и изображение.

Анализ переходных процессов даже для относительно простых цепей зачастую представляет значительные сложности, т.к. требует решения дифференциальных уравнений. Задачу можно существенно упростить, если преобразовать уравнения, сделав их алгебраическими. Но в переходных процессах во всех функциях переменной величиной является время, поэтому для исключения производных требуется перейти к новой не зависящей от времени переменной. Такой переход для функции $f(t)$ можно осуществить, например, с помощью преобразования Лапласа:

Прямое преобразование Лапласа: $F(p) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-pt}dt$, где $p = a + jb$ – некоторое комплексное число, являющееся переменной функции $F(p)$

Функция времени $f(t)$ называется оригиналом, а функция комплексной переменной $F(p)$ – её изображением.

Обратный переход от изображения к оригиналу может быть осуществлен с помощью обратного преобразования Лапласа: $f(t) = \frac{1}{2\pi\tau}\int_{a-i\infty}^{a+i\infty} F(p)e^{pt}dp$

Нули, полюсы, карта нулей и полюсов двухполюсника. Связь между действительной и мнимой составляющими сопротивления и проводимости линейного двухполюсника.

Если представить входное сопротивление двухполюсника в виде отношения двух полиномов, расположенных по убывающим степеням оператора p, $Z(p) = \frac{N(p)}{M(p)} = \frac{a_n p^n + a_{n-1}p^{n-1} + \dots + a_1 p + a}{b_m p^m + b_{m-1}p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0}$

то должны выполняться следующие пять условий: 1) Все коэффициенты a и b в числителе и знаменателе должны быть неотрицательны; 2) Наивысшая (наименьшая) степень полинома числителя (n) не может отличаться от наивысшей (наименьшей) степени полинома знаменателя (m) более чем на единицу; 3) Если условиться значения p, при которых $Z(p) = 0$; называть **нулями** функциями $Z(p)$, а значения p, при которых $Z(p) = \infty$, - **полюсами** $Z(p)$, то нули и полюсы должны быть расположены только в левой части плоскости p; 4) Нули и полюсы, расположенные на мнимой оси плоскости p, должны быть только простые, не кратные; 5) Если вместо p в выражение $Z(p)$ подставить $j\omega$, то при любом значении ω должно быть $ReZ(j\omega) \geq 0$.

Теория 2

Цепи с распределенными параметрами — это такие электрические цепи, в которых напряжения и токи на различных участках даже неразветвленной цепи отличаются друг от друга, т.е. являются функциями двух независимых переменных: времени t и пространственной координаты x. У цепи данного класса каждый элемент их длины характеризуется сопротивлением, индуктивностью, а между проводами – соответственно емкостью и проводимостью.

Токи и напряжения в линии описываются системой телеграфных уравнений: $-\frac{\mathrm{du(x,t)}}{\mathrm{dx}} = \mathrm{R}_0 * i(x,t) + L_0 * \frac{di(x,t)}{dt}$

$-\frac{di(x,t)}{dx} = G_0 * u(x,t) + C_0 * \frac{du(x,t)}{dt}$

Бегущая волна - волна, которая при распространении в среде переносит энергию (в отличие от стоячей волны). Стоячие волны – волны, образованные при наложении двух бегущих волн, распространяющихся навстречу друг другу, с одинаковыми частотами и амплитудами. Падающей электромагнитной волной называют процесс перемещения электромагнитного состояния (электромагнитной волны) от источника энергии к приемнику, т.е. в направлении увеличения координаты x. Отраженной электромагнитной волной называют процесс перемещения электромагнитного состояния (электромагнитной волны) от приемника к источнику энергии, т.е. в сторону уменьшении координаты x.

При наличии потерь в линии амплитуды падающих волн уменьшаются по экспоненциальному закону с увеличением расстояния от начала линии, у отражённых амплитуда возрастает по экспоненциальному закону.

$U_{\text{пад}} = \frac{U_1 + I_1 * Z_0}{2}$; $U_{\text{отр}} = \frac{U_1 - I_1 Z_0}{2}$ $I_{\text{пад}} = \frac{U_1 + I_1 * Z_0}{2 * Z_0}$; $I_{\text{отр}} = \frac{U_1 - I_1 * Z_0}{2 * Z_0}$

Коэффициент отражения по напряжению определяется как отношение амплитуды напряжения отражённой волны к падающей в конце линии: $R_U = \frac{U_{\text{отр}}(a)}{U_{\text{пад}}(a)} = \frac{Z_2 - Z_0}{Z_2 + Z_0}$;

Аналогично и для коэффициента отражения по току. Важнейшие режимы работы длинной линии с распределёнными параметрами в случае линии без потерь.

1. При согласованном режиме $Z_2 = Z_0$; $R_U = 0$; $R_I = 0$;
есть только прямая волна, полностью поглощаемая нагрузкой – нет отражения, т.к. согласованная нагрузка. Энергия волны передаётся через линию без потерь. Уравнения для мгновенных значений напряжения и тока: $U(x,t) = U_2 * \sin(\omega t + kx)$; $I(x,t) = I_2 * \sin(\omega t + kx)$
Этот режим также называется режимом бегущей волны. Уравнения описывают падающие волны , распространяющиеся в линии слева направо.
2. В режиме короткого замыкания в линии без потерь, напряжение на конце линии равно 0, а ток удвоенный и имеет максимальное значение. Поглощение энергии в таком сопротивлении отсутствует, и падающая волна полностью отражается. Волна напряжения отражается с инверсией, тока без инверсии.
3. В режиме холостого хода в линии без потерь, ток на конце линии равен 0, а напряжение удвоенное и имеет максимальное значение. Поглощение энергии в таком сопротивлении отсутствует, и падающая волна полностью отражается. Волна напряжения отражается без инверсии, тока с инверсией.

Билет19

Теория 1

Машинные методы анализа цепей - базируются на использовании современных ЭВМ. Эти методы обеспечивают столь высокую точность, что делают излишней или редкой экспериментальную отладку рассчитанной цепи.

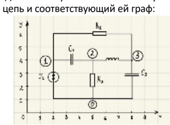
Машинные методы анализа нелинейных цепей позволяют рассчитывать:

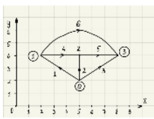
переходные процессы в тех же цепях (например, процесс установления синхронного режима в синхронизируемом автогенераторе).

Топологию схем удобно описывать на языке теории графов, имеющей множество инженерных приложений. Топология схемы несет информацию о соединении элементов. Топологические уравнения цепи являются формой записи основных топологических законов (первый и второй законы Кирхгофа). Компонентные уравнения представляют собой запись законов Ома для компонентов – элементов схемы.

Для описания топологии цепи каждый двухполюсный элемент замещается направленным отрезком линии, называемым ветвью графа. Соединение двух и более ветвей в точке называется узлом или вершиной графа. Пронумеруем ветви и узлы электрической схемы и соответствующего ей графа.

Матрица инциденций: Применение закона Кирхгофа для токов в узлах позволяет получить матрицу инциденций, отображающую топологические свойства цепи. Рассмотрим простую цепь и соответствующий ей граф:





Запишем закон Кирхгофа для токов в узлах:

1: $-I_1 + I_4 + I_6 = 0$
2: $-I_2 - I_4 + I_5 = 0$
3: $-I_3 - I_5 - I_6 = 0$

Эти уравнения можно записать в матричной форме: $A * I_b = 0$, где A – матрица инциденций. Для рассматриваемого примера матрица A имеет вид:

$$A = \begin{array}{c|cccccc} & \multicolumn{6}{c}{\text{Ветви}} \\ \text{Узлы} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ \hline 1 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 0 & -1 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & -1 \end{array}$$

Матрица содержит n строк и b столбцов, где n - число независимых (незаземленных) узлов; b - число ветвей графа. Строки матрицы указывают ветви, инцидентные соответствующему узлу, и их направленность. Столбцы матрицы указывают узлы, инцидентные соответствующей ветви и порядок обхода.

Матричная форма законов Кирхгофа.

$AI = 0$ — это первый закон Кирхгофа в матричной форме для схемы и графа.

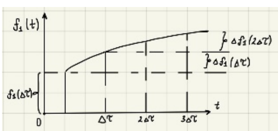
$I = |I_1 I_2 I_3 I_4 I_5 I_6|^T$

$B\dot{U} = 0$ – это второй закон Кирхгофа в матричной форме для схемы и графа.

Теория 2

Пусть имеется цепь с переходной характеристикой $g(t)$. На входе сигнал: $f_1(t)$

1. Представим входной сигнал в виде сумм сигналов сдвинутых на $\Delta\tau$: $f_1(n\Delta\tau) = f_1(0) * 1(t) + \sum_{k=1}^{n} \Delta f_1(k\Delta\tau) * 1(t - k\Delta\tau)$
2. Зная входной сигнал и переходную характеристику, найдем реакцию цепи: $f_2(n\Delta\tau) = f_1(0) * g(t) + \sum_{k=1}^{n} \Delta f_1(k\Delta\tau) * g(t - k\Delta\tau)$
3. Умножим и разделим на $\Delta\tau$, и переходим к



$\mathrm{Lim}\,\Delta\tau \to 0$: $\lim_{\Delta\tau\to 0} f_2(n\Delta\tau) = f_1(0)g(t) + \lim_{\Delta\tau\to 0} \sum \Delta f_1(k\Delta\tau) * g(t - k\Delta\tau)\frac{\Delta\tau}{\Delta t}$

Пусть $n\Delta\tau \to t$; $k\Delta\tau \to \tau$ и $\frac{\Delta f_1(k\Delta\tau)}{\Delta\tau}\Delta\tau \to \dot{f}_1(\tau)$

Итог: $f_2(t) = f_1(0) * g(t) + \int_0^t \dot{f}_1(\tau) * g(t - \tau)d\tau$

Если есть разрывы, то применяется принцип суперпозиции.

Билет20

Теория 1

Машинные методы анализа цепей - базируются на использовании современных ЭВМ. Эти методы обеспечивают столь высокую точность, что делают излишней или редкой экспериментальную отладку рассчитанной цепи.

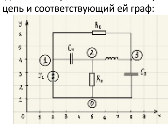
Машинные методы анализа нелинейных цепей позволяют рассчитывать:

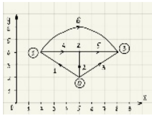
переходные процессы в тех же цепях (например, процесс установления синхронного режима в синхронизируемом автогенераторе).

Топологию схем удобно описывать на языке теории графов, имеющей множество инженерных приложений. Топология схемы несет информацию о соединении элементов. Топологические уравнения цепи являются формой записи основных топологических законов (первый и второй законы Кирхгофа). Компонентные уравнения представляют собой запись законов Ома для компонентов – элементов схемы.

Для описания топологии цепи каждый двухполюсный элемент замещается направленным отрезком линии, называемым ветвью графа. Соединение двух и более ветвей в точке называется узлом или вершиной графа. Пронумеруем ветви и узлы электрической схемы и соответствующего ей графа.

Матрица инциденций**:** Применение закона Кирхгофа для токов в узлах позволяет получить матрицу инциденций, отображающую топологические свойства цепи. Рассмотрим простую цепь и соответствующий ей граф:





Запишем закон Кирхгофа для токов в узлах:

1: $-I_1 + I_4 + I_6 = 0$

2: $-I_2 - I_4 + I_5 = 0$

3: $-I_3 - I_5 - I_6 = 0$

Эти уравнения можно записать в матричной форме: $A * I_b = 0$, где A – матрица инциденций.

Для рассматриваемого примера матрица A имеет вид:

$$A = \begin{array}{c|cccccc} \text{Узлы} \backslash \text{Ветви} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ \hline 1 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 0 & -1 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & -1 \end{array}$$

Матрица содержит n строк и b столбцов, где n - число независимых (незаземленных) узлов; b - число ветвей графа. Строки матрицы указывают ветви, инцидентные соответствующему узлу, и их направленность. Столбцы матрицы указывают узлы, инцидентные соответствующей ветви и порядок обхода.

Матричная форма законов Кирхгофа.

$AI = 0$ — это первый закон Кирхгофа в матричной форме для схемы и графа.

$I = |I_1 I_2 I_3 I_4 I_5 I_6|^T$

$B\dot{U} = 0$ – это второй закон Кирхгофа в матричной форме для схемы и графа.

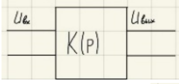
Теория 2

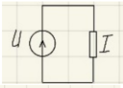
Прямое преобразование Лапласа: $F(p) = \int_0^\infty f(t)e^{-pt}dt$, где $p = a + jb$ – некоторое комплексное число, являющееся переменной функции $F(p)$

Функция времени $f(t)$ называется **оригиналом,** а функция комплексной переменной $F(p)$ – её **изображением**.

Обратный переход от изображения к оригиналу может быть осуществлен с помощью обратного преобразования Лапласа: $f(t) = \frac{1}{2\pi\tau}\int_{a-i\infty}^{a+i\infty} F(p)e^{pt}dp$

Применение: $U_{\text{вых}} = K(p) * U_{\text{вх}}$





$U_{\text{вых}} = R(p) * U_{\text{вх}}$

$(p + a) * U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}}$

$\left(\frac{d}{dt} + a\right) * U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}}$

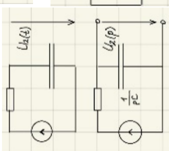
$U_{\text{вх}}(p) = p * U_{\text{вых}}(p) - U_{\text{вых}}(0) + a * U_{\text{вых}}(p)$

$K = \frac{R(p)}{Q(p)};$ $p = \frac{d}{dt}$ $U_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вых}}(p) * U_{\text{вх}}(0)}{p+a}$

Пример: $F(p) = \int_0^\infty f(t)e^{-pt}dt$

$H(p) = \frac{U_2(p)}{E} = \frac{1}{p*R*C+1}$

$U_2(p) = \frac{E}{R*C*p*(1+\frac{1}{R*C})}$ $U_2(t) = E * (1 - e^{-\frac{1}{R*C}*t})$



Билет22

Теория 1

В модели длинной линии при рассчёте нельзя не учитывать длину этой линии.

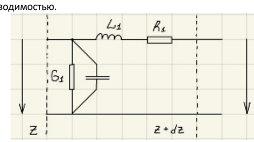
Цепи с распределенными параметрами — это такие электрические цепи, в которых напряжения и токи на различных участках даже неразветвленной цепи отличаются друг от друга, т.е. являются функциями двух независимых переменных: времени t и пространственной координаты x. У цепи данного класса каждый элемент их длины характеризуется сопротивлением, индуктивностью, а между проводами – соответственно емкостью и проводимостью.

$U(z,t) = U(z + dz) + R_1\,dz \cdot i(z + dz) + L_1 d_z \frac{\partial I(z+dz)}{\partial t}$

$I(z,t) = I(z + dz, t) + G_1 dz U(z,t) + C_1 dz \frac{\partial U(z,t)}{\partial t}$

$$\begin{cases} \frac{U(z+dz,t)-U(z,t)}{dz} = -R_1 I(z + dz, t) - L_1 \frac{\partial I(z+dz,t)}{\partial t} \\ \frac{I(z+dz,t)-I(z,t)}{dz} = -G_1 U(z,t) - C_1 \frac{\partial U(zt)}{\partial t} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial z} = -R_1 I - L_1 \frac{\partial I}{\partial t} \\ \frac{\partial I}{\partial z} = -G_1 U - C_1 \frac{\partial U}{\partial t} \end{cases}$$



Из можно легко получить уравнение Гельмгольца относительно U или I , если обе части одного из уравнений продифференцировать по z, а потом второе уравнение подставить в полученное выражение. Тогда получим:

$\frac{d^2U}{dz^2} - R_1 G_1 U = 0$ $C_1 = \frac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0}{\ln(b/a)}$ – погонная ёмкость

$L_1 = \frac{\mu_0}{2\pi} ln\left(b/a\right)$ –погонная индуктивность

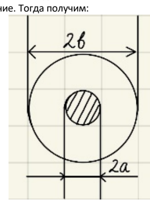
$z_B = \sqrt{L_1/C_1}$ – волновое сопротивление

Коэффициент пропорциональности между напряжением и током в бегущей волне.

$z_B = \frac{120\pi}{\sqrt{\varepsilon}}\frac{h}{b}$

где b – ширина дорожки, h – толщина диэлектрика

$$\begin{cases} \frac{\partial \dot{U}}{\partial z} = z_1 \dot{U}, z_1 = R + i\omega L_1 \\ \frac{\partial \dot{I}}{\partial z} = -Y_1 \dot{I}, Y_1 = G_1 + i\omega C_1 \end{cases}$$ –погонное сопротивление –погонная проводимость



Теория 2

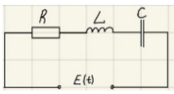
Операторный метод - это метод расчёта переходных процессов в электрических цепях, основанный на переносе расчёта переходного процесса из области функций действительной переменной (времени t) в область функций комплексной переменной (либо операторной переменной), в которой дифференциальные уравнения преобразуются в алгебраические.

Расчет переходных процессов в сложных цепях классическим методом очень часто затруднен нахождением постоянных интегрирования. В связи с этим был разработан операторный метод расчета, основанный на понятии изображения функций времени. Операторный метод расчета сводится к четырем последовательным этапам: 1.От искомой функции $f(t)$, называемой оригиналом, переходят с помощью преобразования Лапласа к функции комплексного переменного р. Новую функцию обозначают через $F(p)$ и называют изображением функции $f(t)$. 2.Систему уравнений Кирхгофа для оригиналов, согласно правилам преобразования функций, их производных и интегралов преобразуют в операторные алгебраические уравнения для изображений. 3.Полученные операторные уравнения решают относительно $F(p)$. 4.От найденного изображения $F(p)$ переходят к оригиналу $f(t)$, который и является искомой функцией.

Элементарными цепями будем называть цепи, состоящие из одного источника питания и одного пассивного элемента (параметра) r, или L, или C.

$\frac{d^2}{dt^2} * U_c + \frac{R}{L} * \frac{d}{dt} * U_c + \frac{1}{L*C}$

По Хэвисайду: $p^{-1} * p * f(t) = f(t)$ $U_c = \frac{A_1}{p-p_1} + \frac{A_2}{p-p_1}$



$U_{\text{вых}} = \frac{1}{p-a} * U_{\text{вх}}$

Билет23

Теория 1

Цепи с распределенными параметрами — это такие электрические цепи, в которых напряжения и токи на различных участках даже неразветвленной цепи отличаются друг от друга, т.е. являются функциями двух независимых переменных: времени t и пространственной координаты x. У цепи данного класса каждый элемент их длины характеризуется сопротивлением, индуктивностью, а между проводами – соответственно емкостью и проводимостью.

Вывод волновых уравнений линии без потерь: Рассмотрим бесконечно малый отрезок dx длинной линии без потерь.

Приращение напряжения и тока на отрезке dx можно представить в виде дифференциалов: $\begin{matrix} du = -(L_0 dx)\frac{di}{dt} \\ di = -(C_0 dx)\frac{du}{dt} \end{matrix}$ разделим на dx

$$\frac{\partial u}{\partial x} = -L_0 \frac{\partial i}{\partial t}$$
$$\frac{\partial i}{\partial x} = -C_0 \frac{\partial u}{\partial t}$$

Решения волновых уравнений зависят от начальных и граничных условий. Решением волнового уравнения является любая функция вида: $u = F(t \pm \frac{x}{v})$, где F – дважды дифференцируемая функция. Возьмем первую и вторую производные от F по x и по t: $\begin{matrix} \frac{\partial u}{\partial x} = \pm\frac{1}{v}\mathrm{F}'(\mathrm{t} \pm \frac{x}{\mathrm{v}}) \\ \frac{\partial^2 u}{\partial \mathrm{x}^2} = \frac{1}{\mathrm{v}^2}\mathrm{F}''(\mathrm{t} \pm \frac{x}{\mathrm{v}}) \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} \frac{\partial u}{\partial t} = \mathrm{F}'(\mathrm{t} \pm \frac{x}{\mathrm{v}}) \\ \frac{\partial^2 u}{\partial \mathrm{x}^2} = \mathrm{F}''(\mathrm{t} \pm \frac{x}{\mathrm{v}}) \end{matrix}$

Подставим производные в волновое уравнение для напряжения: $\frac{1}{\mathrm{v}^2}\mathrm{F}''\left(\mathrm{t} \pm \frac{x}{\mathrm{v}}\right) = \mathrm{F}''(\mathrm{t} \pm \frac{x}{\mathrm{v}})$

Уравнение обращается в тождество. Значит функция F(t ± $\frac{x}{\mathrm{v}}$), является решением волнового уравнения для напряжения.

Решением волнового уравнения для тока будет функция $i = \Phi(t \pm x/v)$

Полные решения волновых уравнений имеют вид: $\begin{matrix} \mathrm{u} = F_1(\mathrm{t} - \frac{x}{\mathrm{v}}) + F_2(\mathrm{t} + \frac{x}{\mathrm{v}}) \\ \mathrm{i} = \Phi_1(\mathrm{t} - \frac{x}{\mathrm{v}}) + \Phi_2(\mathrm{t} + \frac{x}{\mathrm{v}}) \end{matrix}$

Функции Φ_1 связана с функцией F_1 следующим соотношением: $\Phi_1\left(\mathrm{t} - \frac{x}{\mathrm{v}}\right) = \frac{x}{Z_0}F_1(\mathrm{t} - \frac{x}{\mathrm{v}})$, где $Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$ – волновое сопротивление линии. Для линии без потерь волновое сопротивление равно отношению $\frac{u}{\mathrm{i}} = Z_0$

Коэффициент фазы: $\beta = \omega * \sqrt{L * C}$, где $\omega = 2 * \pi * f$ Фазовая скорость: $v = \frac{c}{\sqrt{1 - \frac{\omega_{ED}^2}{\omega^2}}}$, где ω_{ED} – критическая частота

Групповая скорость или скорость распространения энергии волны ни при каких обстоятельствах не может превзойти скорость света. Время задержки – называют время меду перепадом цифрового сигнала на входе элемента/схемы и вызванным им перепадом сигнала на выход. Гармонические колебания: $s(t, x) = A * \cos(\omega t \pm \beta x + \varphi_0)$

где A – амплитуда, ω – круговая частота, β – волновое число, φ_0 – постоянный сдвиг фазы, $v = \omega / \beta$ – скорость распространения

Теория 2

Операторный метод - это метод расчёта переходных процессов в электрических цепях, основанный на переносе расчёта переходного процесса из области функций действительной переменной (времени t) в область функций комплексной переменной (либо операторной переменной), в которой дифференциальные уравнения преобразуются в алгебраические. $\frac{d}{dt} = p \int dt = \frac{1}{p}$

$$k(p) = \frac{Q(p)}{R(p)} = \frac{a_n p^n + a_{n-1}p^{n-1} + \cdots + a_0}{b_m p^m + b_{m-1}p^{m-1} + \cdots + b_0} \qquad k(p) = \frac{A_1}{p-\alpha_1} + \frac{A_2}{p-\alpha_1} + \cdots + \frac{Am}{p-\alpha_m}$$

Связь передаточной функции и дифференциального уравнения обеспечивают преобразования Лапласа. Готовые преобразования:

Оригинал	Изображение
1	$\frac{1}{p}$
t	$\frac{1}{p^2}$

Заменив в передаточной функции оператор p на jω , вновь получим комплексную передаточную функцию цепи: $H(j\omega) = H(\omega) * e^{j\varphi(\omega)}$

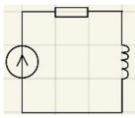
где АЧХ цепи: $H(\omega) = \sqrt{\frac{(a_0 - a_2^2\omega + \cdots)^2 + (a_1\omega - a_3\omega^3 + \cdots)^2}{(b_0 - b_2^2\omega + \cdots)^2 + (b_1\omega - b_3\omega^3 + \cdots)^2}}$

ФЧХ цепи: $\varphi(\omega) = arctg\left(\frac{a_1\omega - a_3\omega^3 + \cdots}{a_0 - a_2\omega^2 + \cdots}\right) - arctg(\frac{b_1\omega - b_3\omega^3 + \cdots}{b_0 - b_2\omega^2 + \cdots})$

Первый закон Кирхгофа в операторной форме: $I_1(p) + I_2(p) + \cdots + I_n(p) = \sum_{k=1}^n I_k(p) = 0$

Второй закон Кирхгофа: $\sum_{k=1}^n Z_k(p) * I_k(p) = \sum_{k=1}^n [E_k(p) + L_k * i_k(0) - \frac{u_{ck}(0)}{p}]$

Закон Ома: $I(p) = \frac{U_{mn}(p) + Li(0) - \frac{u_C(0)}{p} + E(p)}{Z(p)}$



Пример:

Найдем изображения: $i \rightarrow I; U \rightarrow \frac{U}{p}; i * R \rightarrow I * R \qquad L * \frac{di}{dt} = p * L * I$, т.е

$I = \frac{U}{p*(R+p*L)}$ – изображение тока

$\frac{U}{p*(R+p*L)} = \frac{A}{p} + \frac{B}{R+p*L}; A * R = U$

$AE + B = 0 \qquad I = \frac{U}{R} * \left(\frac{1}{p} - \frac{1}{R/L+p}\right)$ – оригинал изображения

Билет24

Теория 1

Цепи с распределенными параметрами — это такие электрические цепи, в которых напряжения и токи на различных участках даже неразветвленной цепи отличаются друг от друга, т.е. являются функциями двух независимых переменных: времени t и пространственной координаты x. У цепи данного класса каждый элемент их длины характеризуется сопротивлением, индуктивностью, а между проводами – соответственно емкостью и проводимостью.

Токи и напряжения в линии описываются системой телеграфных уравнений: $-\frac{\mathrm{du(x,t)}}{\mathrm{dx}} = \mathrm{R}_0 * i(x,t) + L_0 * \frac{di(x,t)}{dt}$

$-\frac{di(x,t)}{dx} = G_0 * u(x,t) + C_0 * \frac{du(x,t)}{dt}$

Бегущая волна - волна, которая при распространении в среде переносит энергию (в отличие от стоячей волны). Стоячие волны – волны, образованные при наложении двух бегущих волн, распространяющихся навстречу друг другу, с одинаковыми частотами и амплитудами. Падающей электромагнитной волной называют процесс перемещения электромагнитного состояния (электромагнитной волны) от источника энергии к приемнику, т.е. в направлении увеличения координаты x. Отраженной электромагнитной волной называют процесс перемещения электромагнитного состояния (электромагнитной волны) от приемника к источнику энергии, т.е. в сторону уменьшении координаты x.

При наличии потерь в линии амплитуды падающих волн уменьшаются по экспоненциальному закону с увеличением расстояния от начала линии, у отражённых амплитуда возрастает по экспоненциальному закону.

$$U_{пад} = \frac{U_1 + I_1 * Z_0}{2};\ U_{отр} = \frac{U_1 - I_1 Z_0}{2} \qquad I_{пад} = \frac{U_1 + I_1 * Z_0}{2 * Z_0};\ I_{отр} = \frac{U_1 - I_1 * Z_0}{2 * Z_0}$$

Коэффициент отражения по напряжению определяется как отношение амплитуды напряжения отражённой волны к падающей в конце линии: $R_U = \frac{U_{отр}(a)}{U_{пад}(a)} = \frac{Z_2 - Z_0}{Z_2 + Z_0}$;

Аналогично и для коэффициента отражения по току. Важнейшие режимы работы длинной линии с распределёнными параметрами в случае линии без потерь.

1. При согласованном режиме $Z_2 = Z_0;\ R_U = 0;\ R_I = 0;$

есть только прямая волна, полностью поглощаемая нагрузкой – нет отражения, т.к. согласованная нагрузка. Энергия волны передаётся через линию без потерь. Уравнения для мгновенных значений напряжения и тока: $U(x,t) = U_2 * \sin(\omega t + kx);\ I(x,t) = I_2 * \sin(\omega t + kx)$ Этот режим также называется режимом бегущей волны. Уравнения описывают падающие волны , распространяющиеся в линии слева направо.

2. В режиме короткого замыкания в линии без потерь, напряжение на конце линии равно 0, а ток удвоенный и имеет максимальное значение. Поглощение энергии в таком сопротивлении отсутствует, и падающая волна полностью отражается. Волна напряжения отражается с инверсией, тока без инверсии.

3. В режиме холостого хода в линии без потерь, ток на конце линии равен 0, а напряжение удвоенное и имеет максимальное значение. Поглощение энергии в таком сопротивлении отсутствует, и падающая волна полностью отражается. Волна напряжения отражается без инверсии, тока с инверсией.

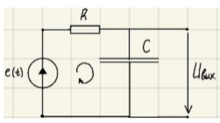
Теория 2

Классический метод расчета переходных процессов заключается в непосредственном интегрировании дифференциальных уравнений, описывающих изменения токов и напряжений на участках цепи в переходном процессе.

В общем случае при использовании классического метода расчета составляются уравнения электромагнитного состояния цепи по законам Ома и Кирхгофа для мгновенных значений напряжений и токов.

Свободные колебания - колебания, происходящие под действием внутренних сил (затухающие).

Вынужденные колебания - колебания в цепи под действием внешней периодически изменяющейся электродвижущей силы (не затухающие).



Пример: $\frac{dU_{емк.}}{dt} = \frac{I}{C} \rightarrow I = C * \frac{dU_{емк.}}{dt} \qquad R * I + U_c = e(t)$

$R * C\frac{dU_C}{dt} + U_c = e(t) \qquad \frac{dU_C}{dt} + \frac{U_c}{R*C} = \frac{e(t)}{R*C};\ \tau = R * C$

$\frac{dU_C}{dt} + \frac{1}{\tau} * U_c = \frac{e(t)}{\tau} \qquad U_{c\ он} = U_{c\ оо} + U_{c\ чн}$

$U_{c\ оо} = A * e^{-t/\tau} \qquad U_{c\ чн} = E_0 \qquad U_{c\ он} = A * e^{-\frac{t}{\tau}} + E_0$

$U_{c\ он}(t) = U_0 * e^{-\frac{t}{\tau}} + E_0 * (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$